

СТРОИТЕЛЬСТВО: НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ

Construction: Science and Education

DOI: 10.22227/2305-5502

ТОМ 15 ВЫПУСК 2 (56)

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ СЕТЕВОЙ ЖУРНАЛ

Учредитель и издатель журнала — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)

RESEARCH AND PRACTICE ONLINE JOURNAL

Founder and publisher of the journal — Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)” (MGSU)

Свидетельство о регистрации СМИ Эл № ФС77-63118 от 18 сентября 2015 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

До 27 июля 2012 г. журнал назывался «Научно-практический Интернет-журнал «Наука. Строительство. Образование».

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, корп. 8
Издательство МИСИ – МГСУ
(«Строительство: наука и образование»)

Основан в марте 2011 г.
Первый номер вышел в июле 2011 г.
Периодичность выхода — ежеквартальная

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА:

Выпускающий редактор *А.Р. Табекова*
редактор *Т.В. Бердникова*
администратор сайта журнала *Н.А. Милованова*
корректор выпусков журнала *О.В. Ермихина*
дизайнер-верстальщик журнала *А.Ю. Байкова*
переводчик *О.В. Юденкова*

EDITORIAL OFFICE MAILING ADDRESS:

MISI – MGSU Publishing house
(Construction: Science and Education)
26 Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation

Founded in March, 2011.
The first issue was released in July, 2011.
Periodicity of publication — quarterly

EDITORIAL STAFF:

A.R. Tabekova Executive editor
T.V. Berdnikova Editor
N.A. Milovanova Journal Website Manager
O.V. Ermikhina Corrector of Journal Issues
A.Y. Baykova Layout Designer
O.V. Yudenkova Translator

129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, НИУ МГСУ,
Издательство МИСИ – МГСУ («Строительство: наука и образование»),
e-mail: nso-journal@mgsu.ru (для официальной переписки), <http://www.nso-journal.ru>

Подписано в свет 21.06.2025.

Гарнитура Таймс.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)
Издательство МИСИ – МГСУ.

129337, Москва, Ярославское шоссе, 26
www.mgsu.ru, editorial_office@mgsu.ru, Тел. (495) 287-49-14, доб. 2476

ИНДЕКСИРОВАНИЕ

Журнал включен и индексируется в базе данных РИНЦ (Российский индекс научного цитирования, www.elibrary.ru) на условиях полнотекстового размещения, архивирования и депозитного хранения.

Directory of Open Access Journals — DOAJ (<http://www.doaj.org>).

Научная библиотека открытого доступа «Кибер-Ленинка». НИУ МГСУ предоставил лицензию на размещение материалов журнала «Строительство: наука и образование» EBSCO Information Services (<http://www.ebsco.com/>) — крупнейшему в мире агрегатору полнотекстовых журналов и других источников научной информации. Полные тексты выпусков журнала можно будет найти в обновленной базе данных EBSCO Applied Sciences («Прикладные науки»), как только коллекция будет укомплектована и размещена на сайте агрегатора. Распространяется через электронные библиотеки «Лань», «Руконт», «IPRbooks», входит в каталог компании East View Information Services, Inc. Статьям присваивается цифровой идентификатор DOI.

INDEXING

The journal is included (digital archiving, deposit and delivery to users on an agreement for a MGSU) in the database of Russian Science Citation Index (RSCI), supported by the Scientific Electronic Library www.elibrary.ru on terms of full text placement.

Indexed by Directory of Open Access Journals — DOAJ (<http://www.doaj.org>).

Russian open access scientific library **CyberLeninka**. Moscow State University of Civil Engineering has entered into an electronic licensing relationship with EBSCO Information Services (<http://www.ebsco.com/>), the world's most prolific aggregator of full text journals, magazines and other sources. The full text of Construction: Science and Education will be found on EBSCO's upgraded Applied Sciences database once the collection is complete.

Distributed through electronic libraries “Lan”, “Rukont”, “IP Rbooks”, journal is included to the catalog of company **East View Information Services, Inc.**

The articles are assigned a digital identifier DOI.

РЕДКОЛЛЕГИЯ

Туснин Александр Романович, гл. редактор, д-р техн. наук, проф., зав. каф. металлических и деревянных конструкций, НИУ МГСУ, Москва, Россия

Королев Евгений Валерьевич, зам. главного редактора, д-р техн. наук, проф., проректор, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия

Сидоров Владимир Николаевич, зам. гл. редактора, д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РААСН, зав. каф. информатики и прикладной математики, НИУ МГСУ, Москва, Россия

Алексеев Юрий Владимирович, д-р архитектуры, проф., проф. каф. градостроительства, НИУ МГСУ, Москва, Россия

Анискин Николай Алексеевич, д-р техн. наук, проф., директор Института гидротехнического и энергетического строительства, НИУ МГСУ, Москва, Россия

Гагарин Владимир Геннадьевич, чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник, Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, Москва, Россия

Евтушенко Сергей Иванович, д-р техн. наук, проф., проф. каф. информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве НИУ МГСУ, Москва, Россия

Кантаржи Измаил Григорьевич, д-р техн. наук, проф., проф. каф. гидравлики и гидротехнического строительства, НИУ МГСУ, Москва, Россия

Маилян Левон Рафаэлович, академик РААСН, д-р техн. наук, проф., проф. каф. автомобильных дорог, Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Орлов Владимир Александрович, д-р техн. наук, проф., проф. водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ, Москва, Россия

Пустовгар Андрей Петрович, канд. техн. наук, доц., научный руководитель НИИ строительных материалов и технологий, НИУ МГСУ, Москва, Россия

Соловьев Алексей Кириллович, д-р техн. наук, проф., проф. каф. проектирования зданий и сооружений, НИУ МГСУ, Москва, Россия

EDITORIAL BOARD

Alexander R. Tusnin, Editor-in-Chief, DSc in engineering, Professor, Head of the Department of Metal and Timber Structures, MGSU, Moscow, Russian Federation

Evgeniy V. Korolev, Deputy Editor-in-Chief, DSc in engineering, Professor, Vice-Rector, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russian Federation

Vladimir N. Sidorov, Deputy Editor-in-Chief, Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the RAASN, Head of the Department of Computer Science and Applied Mathematics, MGSU Moscow, Russian Federation

Yuri V. Alekseev, Doctor of Architecture, Professor, Department of Urban Development, MGSU, Moscow, Russian Federation

Nikolay A. Aniskin, DSc in engineering, Professor, Director of the Institute of Hydrotechnical and Power Engineering Construction, MGSU, Moscow, Russian Federation

Vladimir G. Gagarin, Corresponding Member of RAACS, DSc in engineering, Professor, Chief Research Associate; Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russian Federation

Sergey I. Evtushenko, DSc in engineering, Professor, Professor of the Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction, MGSU, Moscow, Russian Federation

Ismail G. Kantarzi, DSc in engineering, Professor, Professor of the Department of Hydraulics and Hydrotechnical Engineering, MGSU, Moscow, Russian Federation

Levon R. Mailyan, Academician of RAACS, DSc in engineering, Professor, Professor of the Department of Highways, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Vladimir A. Orlov, DSc in engineering, Professor, Professor of the Department of Water Supply and Sewage, MGSU, Moscow, Russian Federation

Andrei P. Pustovgar, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Scientific Supervisor of the Research Institute of Building Materials and Technologies, MGSU, Moscow, Russian Federation

Alexey K. Solovyov, DSc in engineering, Professor, Professor of the Department of Design of Buildings and Structures, MGSU, Moscow, Russian Federation

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Теличенко Валерий Иванович, председатель, академик РААСН, первый вице-президент РААСН, д-р техн. наук, проф., проф. каф. строительства объектов тепловой и атомной энергетики, советник, НИУ МГСУ, Москва, Россия

Акинтола Акинтоэ, д-р, проф., декан Школы строительства и окружающей природной среды, проф. каф. экономики и управления строительством; член Центра по устойчивому развитию строительства, Университет Центрального Ланкашира, Престон, Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии

Беликов Виталий Васильевич, д-р техн. наук, главный научный сотрудник лаборатории гидрологии речных бассейнов, Институт водных проблем Российской академии наук, Москва, Россия

Белостоцкий Александр Михайлович, д-р техн. наук, проф., академик РААСН, научный руководитель Научно-образовательного центра компьютерного моделирования уникальных зданий, сооружений и комплексов им. А.Б. Золотова, НИУ МГСУ, Москва, Россия

Ватин Николай Иванович, д-р техн. наук, проф., проф. каф. строительства уникальных зданий и сооружений, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

Вернер Игорь М., д-р, Ph.D., Технион — Израильский институт технологий, Хайфа, Израиль

Власов Денис Николаевич, д-р техн. наук, начальник мастерской транспортного обслуживания Научно-проектного объединения транспорта и дорог, Научно-исследовательский и проектный институт Генерального плана города Москвы, Москва, Россия

Графкина Марина Владимировна, д-р техн. наук, проф., зав. каф. экологической безопасности технических систем, Московский политехнический университет, Москва, Россия

Ерофеев Владимир Трофимович, академик РААСН, д-р техн. наук, проф., декан архитектурно-строительного факультета, зав. каф. строительных материалов и технологий, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск, Россия

Ильичев Вячеслав Александрович, академик РААСН, вице-президент РААСН, академик РИА, д-р техн. наук, проф., научный руководитель, ООО «Подземпроект», Москва, Россия

Карпенко Николай Иванович, академик РААСН, д-р техн. наук, проф., зав. лабораторией проблем прочности и качества в строительстве, Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, Москва, Россия

Ковлер Константин, д-р техн. наук, доц., Технион — Израильский институт технологий, Хайфа, Израиль

Колчунов Виталий Иванович, академик РААСН, д-р техн. наук, проф., зав. каф. уникальных зданий и сооружений, Юго-Западный государственный университет, Курск, Россия

Косицын Сергей Борисович, д-р техн. наук, проф., зав. каф. теоретической механики, Российский университет транспорта, Москва, Россия

Куприянов Валерий Николаевич, чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф., проф. каф. проектирования зданий, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань, Россия

Лесовик Валерий Станиславович, чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф., зав. каф. строительного материаловедения, изделий и конструкций, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия

Мещерин Виктор, доктор-инженер, проф., проф. каф. строительных материалов строительного института, Технический университет Дрездена, Германия

Орельская Ольга Владимировна, чл.-корр. РААСН, д-р арх., проф., проф. каф. архитектурного проектирования, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, Россия

Первов Алексей Германович, д-р техн. наук, проф., проф. каф. водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ, Москва, Россия

Пономарев Андрей Будимирович, д-р техн. наук, проф., зав. каф. строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

Сколубович Юрий Леонидович, чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф., ректор, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), Новосибирск, Россия

Ткачев Валентин Никитович, д-р арх., проф., проф. каф. архитектуры, НИУ МГСУ, Москва, Россия

Травуш Владимир Ильич, академик РААСН, д-р техн. наук, проф., заместитель генерального директора по научной работе, главный конструктор, ЗАО «Горпроект», Москва, Россия

Фардис Михаэль Н., д-р, проф., проф. и директор лаборатории конструкций строительного факультета, Университет Патраса, Патрас, Греция

Черный Роберт, д-р, проф., проф. каф. строительных материалов и химии, Чешский технический университет в Праге, Чешская Республика

EDITORIAL COUNCIL

Valery I. Telichenko, Chairman of Editorial Council, Academician of RAACS, First Vice-President of RAACS, DSc in engineering, Professor, Professor of the Department of Construction of Thermal and Nuclear Power Facilities, Advisor, MGSU, Moscow, Russian Federation

Akintola Akintoye, Dr. Eng., Professor, Dean of the School of Built and Natural Environment, Department of Construction Economics and Management; Member of the Center of Sustainable Development in Construction, University of Central Lancashire, Preston, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland

Vilatiy V. Belikov, DSc in engineering, Chief Researcher of the Laboratory of Water Basin Hydrology, Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Aleksandr M. Belostotskiy, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director of the Scientific and Educational Center for Computer Modeling of Unique Buildings, Structures and Complexes named after A.B. Zolotov, MGSU, Moscow, Russian Federation

Robert Cerny, Doctor, Professor, Department of Building Materials and Chemistry, Czech Technical University in Prague, Czech Republic

Vladimir T. Erofeev, Academician of RAACS, DSc in engineering, Professor, Dean of the Faculty of Architecture and Civil Engineering, Head of the Department of Building Materials and Technologies, National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russian Federation

Michael N. Fardis, Doctor (Design of Buildings and Structures), Professor, Director of the Structures Laboratory of the Civil Engineering Faculty, University of Patras, Patras, Greece

Marina V. Graffkina, DSc in engineering, Professor, Head of the Department of Ecology and Safety of Engineering Systems, Moscow Polytechnic Institute, Moscow, Russian Federation

Vyacheslav A. Ilichev, Academician of RAACS, Vice-President of RAACS, Academician of Russian Engineering Academy, DSc in engineering, Professor, Scientific Director, LLC "Podzemproekt", Moscow, Russian Federation

Nikolay I. Karpenko, Academician of RAACS, Dr. Sc. Engineering, Professor, Head of the Laboratory for Problems of Strength and Quality in Construction, Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russian Federation

Vitaliy I. Kolchunov, Academician of RAACS, DSc in engineering, Professor, Head of the Department of Unique Buildings and Structures, Southwest State University, Kursk, Russian Federation

Sergey B. Kositsin, DSc in engineering, Professor, Head of the Department of Theoretical Mechanics, Russian University of Transport, Moscow, Russian Federation

Konstantin Kovler, DSc, Associate Professor, Technion — Israel Institute of technology, Haifa, Israel

Valery N. Kupriyanov, Corresponding Member of RAACS, DSc in engineering, Professor, Department of Design of Buildings, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Valery S. Lesovik, Corresponding Member of RAACS, DSc in engineering, Professor, Head of the Department of Building Materials Science, Products and Structures, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation

Viktor Mescherin, Doctor-Engineer (Construction Materials), Professor, Department of Construction Materials of Construction Institute, Technical University of Dresden, Dresden, Germany

Olga V. Orelskaya, Corresponding Member of RAACS, Doctor of Architecture, Professor, Department of Architectural Design, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Alexey G. Pervov, DSc in engineering, Professor of the Department of Water Supply and Sewage, MGSU, Moscow, Russian Federation

Andrey B. Ponomarev, DSc in engineering, Professor, Head of the Department of Construction Production and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

Yuri L. Skolubovich, Corresponding Member of RAACS, DSc in engineering, Professor, Rector, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russian Federation

Valentin N. Tkachev, DSc Architecture, Professor, Department of Architecture, Moscow, Russian Federation

Vladimir I. Travush, Academician of RAACS, DSc in engineering, Professor, Deputy Director General on Research Work, Chief Designer, "Gorproekt" CJSC, Moscow, Russian Federation

Nikolay I. Vatin, DSc in engineering, Professor, Professor of the Construction of Unique Buildings and Structures, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russian Federation

Igor' M. Verner, Ph.D. (Design Automation Systems (branch-wise)), Technion — Israel Institute of technology, Haifa, Israel

Denis N. Vlasov, DSc in engineering, Head of the Transport Service Workroom of Scientific and Design Association of Transport and Roads, Research and Project Institute of General Planning for the city of Moscow, Moscow, Russian Federation

Edmundas K. Zavadskas, International Member of RAACS, Dr. Sc. Engineering, Professor, Head of the Department of Construction Technologies and Management, Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania

СТРОИТЕЛЬСТВО: НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ

Том 15 Выпуск 2 (56)

Москва

НИУ МГСУ

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENT

<p>СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ</p> <p>В.И. Римшин, А.В. Шевченко, Э.Р. Кужахметова, А.Н. Выдрин Определение степени воздействия для сжато-изгибаемых элементов с учетом физической и геометрической нелинейности от обычных средств поражения 6</p> <p>А.В. Танасогло, И.М. Гаранжа, А.Н. Оржеховский, М.М. Писарева Совершенствование конструктивной формы стальных узкобазисных решетчатых опор воздушных линий электропередачи повышенной надежности 20</p> <p>В.С. Скворцова, А.Ю. Ушаков Конструктивные решения, применимые для реставрации деревянных хозяйственных построек, на примере лавки купцов Глухаревых в г. Переславле-Залесском 40</p> <p>АРХИТЕКТУРА. РЕКОНСТРУКЦИЯ. РЕСТАВРАЦИЯ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ. АРХИТЕКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ. ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ГРАДОРЕГУЛИРОВАНИЕ</p> <p>А.Р. Клочко Эволюция архитектуры прототипов паллиативных учреждений до XX века 53</p> <p>Н.А. Самойлова, И.В. Москаленко Формирование градостроительного информационно-коммуникационного портала 71</p> <p>И.С. Когутяк, Н.В. Бакаева Обеспеченность объектами образования при комплексном развитии жилой застройки в г. Москве 90</p> <p>ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗДАНИЙ. ПРОБЛЕМЫ ЖКК. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЯ</p> <p>Т.В. Иванкова, Л.Н. Фесенко, В.С. Рожков Состояние природно-технической системы бассейна реки Грузской Еланчик Донецкой Народной Республики .. 112</p> <p>П.П. Олейник, Д.А. Матвеев Влияние технологий информационного моделирования зданий на эффективность оперативной работы управляющих организаций 141</p> <p>ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЛОГИСТИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ</p> <p>Н.М. Рашевский, К.Р. Назаров, В.А. Джагаев, А.Г. Щербakov, А.Д. Чикин Генеративный дизайн и онтологический инжиниринг в градостроительстве 158</p> <p>СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОВОСТИ: ОБЗОРЫ СОБЫТИЙ, КОНФЕРЕНЦИЙ, ВЫСТАВОК, КНИЖНЫХ НОВИНОК. КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ. ДИСКУССИИ И РЕЦЕНЗИИ</p> <p>Л.И. Садыкова Новые возможности сохранения объектов архитектурного наследия в цифровой среде метавселенной 179</p>	<p>BUILDING STRUCTURES. SOILS AND FOUNDATIONS. TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION. DESIGNING OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS. ENGINEERING SURVEY AND INSPECTION OF BUILDINGS</p> <p>Vladimir I. Rimshin, Andrey V. Shevchenko, Elvira R. Kuzhakhmetova, Alexey N. Vydrin Determination of the degree of impact for compressed-bending elements taking into account physical and geometric nonlinearity from conventional means of destruction 6</p> <p>Anton V. Tanasoglo, Igor M. Garanzha, Anatoliy N. Orzhekhovskiy, Milena M. Pisareva Structural form improvement of steel narrow-based lattice supports for high-reliability overhead lines 20</p> <p>Vitalina S. Skvortsova, Andrey Yu. Ushakov Constructive solutions applicable for restoration of wooden household buildings on the example of the shop of the Glukharev merchants in Pereslavl-Zalesky 40</p> <p>ARCHITECTURE. RECONSTRUCTION. RESTORATION. CREATIVE CONCEPTS OF ARCHITECTURAL ACTIVITY. ARCHITECTURAL DESIGN. URBAN DEVELOPMENT. URBAN MANAGEMENT</p> <p>Asmik R. Klochko Evolution of prototype architecture of palliative institutions before the XX century 53</p> <p>Nadezhda A. Samoylova, Igor V. Moskalenko Formation of urban information and communication portal 71</p> <p>Ion S. Cogutiac, Natalia V. Bakaeva Provision of educational facilities in the integrated development of residential buildings in the Moscow city 90</p> <p>ENGINEERING SYSTEMS. EXPLOITATION OF BUILDINGS. PROBLEMS OF HOUSING AND COMMUNAL COMPLEX. ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING. SAFETY OF BUILDINGS AND STRUCTURES. ECOLOGY</p> <p>Tat'yana V. Ivankova, Lev N. Fesenko, Vitalii S. Rozhkov State of natural and technical system of the Gruzskoy Elanchik River basin of the Donetsk People's Republic 112</p> <p>Pavel P. Oleynik, Dmitry A. Matveev The impact of building information modelling (BIM) technologies on the efficiency of operational management of property management organizations 141</p> <p>INFORMATION SYSTEMS AND LOGISTICS IN CONSTRUCTION</p> <p>Nikolay M. Rashevsky, Konstantin R. Nazarov, Vyacheslav A. Dzhagaev, Artem G. Shcherbakov, Artyom D. Chikin Generative design and ontological engineering in urban planning 158</p> <p>CONSTRUCTION NEWS: REVIEWS OF EVENTS, CONFERENCES, EXHIBITIONS, BOOK NOVELTIES. BRIEF MESSAGES. DISCUSSIONS AND REVIEWS</p> <p>Leysan I. Sadykova New opportunities for the preservation of architectural heritage in the digital environment of the metaverse 179</p>
--	--

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 624.02

DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.1

Определение степени воздействия для сжато-изгибаемых элементов с учетом физической и геометрической нелинейности от обычных средств поражения

Владимир Иванович Римшин^{1,3}, Андрей Викторович Шевченко²,
Эльвира Рафаэльевна Кужахметова², Алексей Николаевич Выдрин³

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия;

² Конструкторско-технологическое бюро Железобетон (КТБ Железобетон); г. Москва, Россия;

³ Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время различные виды обычных средств поражения (ОСП) атакуют существующие здания и сооружения разного назначения: гражданские и промышленные. Зачастую ОСП повреждают отдельные строительные конструкции, такие как плиты, колонны, балки и прочее. Отсюда оценка категории технического состояния строительных конструкций является актуальной задачей для инженеров-обследователей. Указанная проблема решается введением полученных данных по результатам обследования в поверочный расчет. Предмет исследования — методика статического расчета по прочности поврежденных строительных конструкций от ОСП на примере стержневого элемента с сжато-изгибаемым напряженно-деформированным состоянием. Цель исследования — определение степени воздействия ОСП указанного элемента с учетом физической и геометрической нелинейности материала.

Материалы и методы. Рассмотрена методика численного расчета на запроектное воздействие от ОСП, которая учитывает не только особенности физико-механических характеристик строительных материалов, а также физическую и геометрическую нелинейную работу обследуемой строительной конструкции здания (сооружения). Физическая нелинейность железобетона учитывается на основе требований отечественных норм, таких как СП 63.13330 и Пособие к СП 63.13330. В ходе численного расчета применяются метод начальных параметров (МНП) и метод простых итераций (или численный метод итераций). Метод начальных параметров устанавливает линейные и угловые перемещения стержневого элемента. Метод итераций используется для решения системы уравнений, который с заданной точностью выявляет по приближенному значению величины следующего приближения.

Результаты. Предложенная методика по определению усилий в сечении стержневого сжато-изгибаемого элемента и МНП позволяют получить обоснованные результаты численного расчета с учетом остаточных деформаций и деформированной модели бетона и стали.

Выводы. Разработанная методика прочностного расчета является поверочным расчетом существующих строительных конструкций. Для простоты и удобства выполнения поверочного расчета алгоритм данной методики автоматизирован на языке VBA (Visual Basic for Applications).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железобетон, физическая нелинейность, геометрическая нелинейность, метод итерации, метод начальных параметров, обычные средства поражения, стержень, угол поворота, линейные перемещения, угловые перемещения

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Римшин В.И., Шевченко А.В., Кужахметова Э.Р., Выдрин А.Н. Определение степени воздействия для сжато-изгибаемых элементов с учетом физической и геометрической нелинейности от обычных средств поражения // Строительство: наука и образование. 2025. Т. 15. Вып. 2. Ст. 1. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.1

Автор, ответственный за переписку: Эльвира Рафаэльевна Кужахметова, e.kuzhahmetova@ktbbeton.com.

Determination of the degree of impact for compressed-bending elements taking into account physical and geometric nonlinearity from conventional means of destruction

Vladimir I. Rimshin^{1,3}, Andrey V. Shevchenko², Elvira R. Kuzhakhmetova², Alexey N. Vydrin³

¹ *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation;*

² *Design and technology bureau Reinforced concrete; Moscow, Russian Federation;*

³ *Scientific Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN); Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. Currently, various types of conventional means of destruction (CMD) attack buildings and lead to varying uses: civil and industrial. CMD often damages individual building structures, such as slabs, columns, beams, etc. Hence, assessing the category of technical condition (TC) of building structures is an urgent task for survey engineers. This problem is solved by introducing the data obtained from the survey results into the verification calculation. The subject of the study is the method of strength calculation of damaged building structures from CMD using the example of a rod element with a compressive-bending stress-strain state (SSS). The purpose of the study is to determine the degree of impact of the CMD of the specified element, taking into account the various nonlinearities of the material.

Materials and methods. The paper discusses a method of numerical calculation for beyond design impact from conventional means of destruction, which takes into account not only the features of the physical and mechanical characteristics of building materials, but also the physical and geometric nonlinear work of the building structure being examined. The physical nonlinearity of reinforced concrete is considered in this article on the basis of the requirements of building codes of the Russian Federation, such as CP 63.13330 and the Manual for CP 63.13330. During the numerical calculation, the following methods are used: the method of initial parameters and the method of simple iterations (or the numerical iteration method). The initial parameters method determines the linear and angular displacements of the rod. The iteration method is used to solve a system of equations, which, with a given accuracy, determines the value of the next approximation based on the approximate value.

Results. The proposed method for determining the forces in the cross-section of a bar compression-flexural element and the method of initial parameters make it possible to obtain reasonable results of numerical calculations taking into account residual deformations and the deformed model of concrete and steel.

Conclusions. The developed method of strength calculation is a verification calculation of existing building structures. For simplicity and convenience of performing verification calculations, the algorithm of this technique is automated in the language VBA (Visual Basic for Applications).

KEYWORDS: reinforced concrete, physical nonlinearity, geometric nonlinearity, numerical methods, conventional weapons

FOR CITATION: Rimshin V.I., Shevchenko A.V., Kuzhakhmetova E.R., Vydrin A.N. Determination of the degree of impact for compressed-bending elements taking into account physical and geometric nonlinearity from conventional means of destruction. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2025; 15(2):1. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.1

Corresponding author: Elvira R. Kuzhakhmetova, e.kuzhahmetova@ktbbeton.com.

ВВЕДЕНИЕ

В ходе последних событий различные виды обычных средств поражения (далее — ОСП) атакуют существующие здания и сооружения различного назначения: гражданские (жилые дома, общественные сооружения и прочее) и промышленные (заводы, фабрики) на территории Российской Федерации. Указанные эксплуатируемые здания и сооружения после повреждения ОСП представляют собой объект с разной степенью разрушения, которая классифицируется по ГОСТ Р 42.2.01¹: слабая,

средняя, сильная степени и полное разрушение. Зачастую разрушения зданий (сооружений) характеризуются слабой или средней степенью разрушения, т.е. повреждена часть несущих строительных конструкций, таких как плиты, балки, ригели, колонны, стены и прочее, при этом опасность их обрушения отсутствует. В этом случае экономически целесообразным считается полное восстановление частично разрушенных строительных конструкций зданий после основных средств поражения с минимальными затратами. Отсюда необходимо оценить и присвоить категорию технического состояния (ТС) несущих строительных конструкций здания (сооружения) согласно ГОСТ 31937².

¹ ГОСТ Р 42.2.01–2014. Гражданская оборона. Оценка состояния потенциально опасных объектов, объектов обороны и безопасности в условиях воздействия поражающих факторов обычных средств поражения. Методы расчета. М. : Стандартинформ, 2019.

² ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М. : Стандартинформ, 2014.

Поврежденные строительные конструкции незамедлительно обследуют по общим правилам проведения обследования и мониторинга ТС конструкций и сооружений по указанному нормативному документу ГОСТ 31937. В результате обследования определяют объемно-планировочные решения здания (сооружения), анализируют соединительные узлы несущих строительных конструкций, фактическую прочность строительных материалов, реальные эксплуатируемые нагрузки и воздействия с учетом фактической картины дефектов и повреждений строительных конструкций.

В ходе обследования все полученные результаты фиксируют в техническом отчете для дальнейшего выполнения поверочного расчета, который является одним из основополагающих факторов для присвоения категории технического состояния несущих строительных конструкций (см. СП 13-102–2003³). Для точного и правильного поверочного расчета по установлению прочности поврежденных конструкций от ОСП необходимо разработать методику расчета на примере стержневого элемента с сжато-изгибаемым напряженно-деформированным состоянием (НДС). Необходимо выявить степени воздействия ОСП указанного элемента с учетом различной нелинейности материала.

Физическая нелинейность (ФН) железобетона характеризуется неупругими деформациями бетона и арматуры в стержневых элементах и их узловых сопряжениях, а также возникновением и развитием в них трещин. Учитывается и принимается ФН по строительным нормам: СП 63.13330⁴ и Пособие к СП 63.13330⁵. Геометрическая нелинейность (ГН) — это нелинейная зависимость между внешним воздействием и перемещением, которое вызвано дополнительным усилием при деформировании несущих строительных конструкций.

Цель исследования — определение степени воздействия от обычных средств поражения сжато-изгибаемого элемента с учетом физической и геометрической нелинейности материала.

В настоящее время вопросами динамики сооружений при аварийных воздействиях, связанных с воздействиями взрывов и распространением воздушных ударных волн на здания, в том числе с использованием нелинейных подходов, занимаются: П.А. Акимов [1], В.И. Римшин [2], В.И. Колчунов [3], О.В. Ка-

банцев [4], Э.Н. Кодыш [5], О.В. Мкртычев [6], В.Л. Мондрус [7], А.Г. Тамразян [8], Н.Н. Трекин [9], Г.П. Тонких [10], В.И. Травуш [1] и др. Следует отметить значительные сложности в моделировании взрывного воздействия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве материалов для исследования используются нормативно-технические документы РФ, научные книги и статьи. Для определения деформаций железобетонных элементов принят метод начальных параметров (МНП) как альтернативный вариант расчета вертикального сжато-изгибаемого стержневого элемента методом интегрирования дифференциального уравнения изогнутой оси стержневого элемента по определению деформации, указанного в Пособии к СП 63.13330.

Приведенные методы имеют свои достоинства и недостатки, подробно рассмотренные в научных книгах «Сопrotивление материалов». Однако для применения указанных методов имеются схожие ограничения:

- рассматриваемая конструкция — стержневой элемент;
- материал конструкции однородный по всей ее длине (высоте);
- стержень является прямолинейным;
- поперечное сечение конструкции имеет постоянную форму.
- справедлива гипотеза плоских решений, т.е. сечения плоские до деформации остаются плоскими после деформации, а напряжения распределяются равномерно в пределах сечений.

Инженер-расчетчик использует метод интегрирования и метод начальных параметров исходя из исходных данных задачи (проекта), продолжительности времени численного расчета, сроков проектирования и прочего. Оба метода расчета по установлению второй группы предельных состояний (по деформациям) можно применять в качестве поверочного расчета. Известно, что метод начальных параметров является одним из относительно простых способов расчета угловых и линейных перемещений при изгибе, сжатии стержневых элементов с любым количеством принятых участков по его длине. Изначально в МНП необходимо определиться с выбором начала координат в расчетной схеме, условий закрепления рассматриваемого стержневого элемента.

В статье приведена методика численного расчета по определению деформаций для сжато-изгибаемых элементов с учетом физической и геометрической нелинейности от ОСП. Алгоритм расчета указанной задачи проводится в несколько этапов. В качестве граничных условий для сжато-изгибаемого стержня примем шарнирные закрепления, внизу — шарнирно-неподвижная опора, сверху — шар-

³ СП 13-102–2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. М. : Госстрой России, ГУП ЦПП, 2004.

⁴ СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01–2003. М. : АО «НИЦ «Строительство», 2019. 124 с.

⁵ Пособие к СП 63.13330. Методическое пособие. Расчет железобетонных конструкций без предварительного напряжения арматуры.

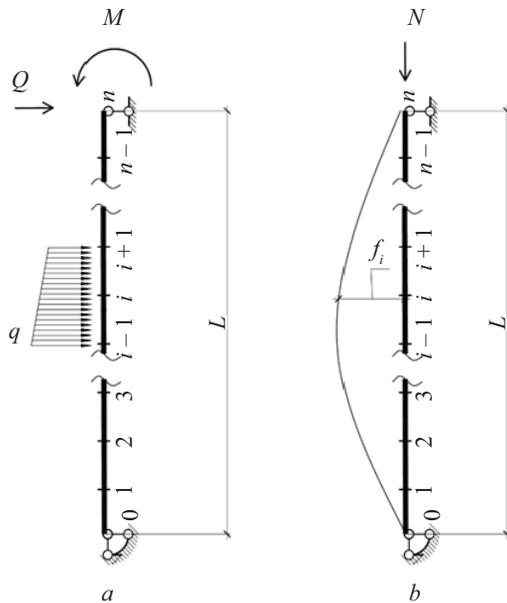


Рис. 1. Расчетные схемы вертикального стержневого элемента: *a* — изогнутый стержень; *b* — сжатый стержень; *M* — изгибающий момент; *Q* — поперечная сила; *N* — продольная сила; *q* — изгибающий момент; *L* — общая длина стержня; *f_i* — прогиб стержня

нирно-подвижная опора с концами и нагруженными усилиями (рис. 1).

Разобьем железобетонный вертикальный стержневой элемент длиной *L* на отдельные *n* участки равной длины *l_n*. Коэффициенты жесткости каждого *n* участка, сжатого в плоскости симметрии поперечного сечения железобетонного элемента и расположения оси *X* в этой плоскости, находим из общей системы уравнений (1) и (2):

$$D_{11} \cdot 1/\rho_x + D_{13} \cdot \varepsilon_0 = M_x; \quad (1)$$

$$D_{31} \cdot 1/\rho_x + D_{33} \cdot \varepsilon_0 = N, \quad (2)$$

где $1/\rho_x$ — кривизна сжато-изгибаемого элемента; $D_{11}, D_{13} = D_{13}, D_{33}$ — жесткостные характеристики участка поперечного сечения железобетонного вертикального элемента.

В общем виде решение на каждом *k* шаге можно записать в виде последующих итераций (загрузений) [11–13]:

$$\begin{aligned} (1/\rho_x)_j^{(k)} &= \\ &= \frac{M_{x,j}}{D_{11,j}^{(k-1)}} - \left(\frac{D_{13,j}^{(k-1)}}{D_{11,j}^{(k-1)}} \right) (\varepsilon_0)_j^{(k-1)}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} (\varepsilon_0)_j^{(k)} &= \\ &= \frac{N}{D_{33,j}^{(k-1)}} - \left(\frac{D_{31,j}^{(k-1)}}{D_{33,j}^{(k-1)}} \right) (1/\rho_x)_j^{(k-1)}, \end{aligned} \quad (4)$$

где (*k*) — номер итерации; *j* — шаг загрузки.

Уравнения (1)–(4) решаются шагово-итерационным методом [14–19] с корректировкой жесткостных характеристик *D* и учетом дополнительных моментов *M* при продольном изгибе.

Линейные и угловые перемещения складываются из прогибов от действия изгибающих моментов и прогибов стержня от сжимающей нагрузки *N*. В общем виде вычисление линейных *y* и угловых Θ перемещений на каждом *k* шаге можно решить методом начальных параметров:

$$y_n^{(k)} = A_{y,n}^{(k)} \cdot y_0^{(k)} + B_{y,n}^{(k)} \cdot \theta_0^{(k)} + C_{y,n}^{(k)}; \quad (5)$$

$$\theta_i^{(k)} = A_{\theta,i}^{(k)} \cdot y_0^{(k)} + B_{\theta,i}^{(k)} \cdot \theta_0^{(k)} + C_{\theta,i}^{(k)}. \quad (6)$$

Коэффициенты уравнений (5) и (6) выражаются следующими зависимостями:

- для линейных перемещений *y*:

$$A_{y,i}^{(k)} = A_{y,i-1}^{(k)} + A_{\theta,i-1}^{(k)} \cdot L_{i-1}^{(k)}; \quad (7)$$

$$B_{y,i}^{(k)} = B_{y,i-1}^{(k)} + B_{\theta,i-1}^{(k)} \cdot L_{i-1}^{(k)}; \quad (8)$$

$$C_{y,i}^{(k)} = C_{y,i-1}^{(k)} + C_{\theta,i-1}^{(k)} \cdot L_{i-1}^{(k)}; \quad (9)$$

- для углов поворота Θ :

$$A_{\theta,i}^{(k)} = A_{\theta,i-1}^{(k)}; \quad (10)$$

$$B_{\theta,i}^{(k)} = B_{\theta,i-1}^{(k)}; \quad (11)$$

$$C_{\theta,i}^{(k)} = C_{\theta,i-1}^{(k)}; \quad (12)$$

где $A_{y,i}^{(k)} - C_{\theta,i}^{(k)}$ — индексы метода перемещений (МП), описывающие линейные перемещения и углы поворота в рекуррентной форме.

Для продольного изгиба величину перемещений выпучивания находим из следующих зависимостей:

$$\begin{aligned} \left(\frac{f_0}{L} \right)^2 &= \\ &= -\frac{9}{2} \frac{\cos\left(\frac{\chi L}{2}\right)}{\chi^2 L^2 \left(2 - 3 \cos\left(\frac{\chi L}{2}\right) + \left(\cos\left(\frac{\chi L}{2}\right) \right)^3 \right)}; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\chi^2 = \frac{N_{cr}}{D_i}; \quad (14)$$

где f_0 — максимальный прогиб в середине пролета при действии критической силы N_{cr} ; L — общая длина рассматриваемого элемента.

Тогда распределение прогибов при начале координат на одном из концов стержня найдем по формуле:

$$f_i = \frac{N}{N_{cr}} \sin\left(\frac{\pi x_i}{L}\right), \quad (15)$$

где x_i — координата сечения, в котором определяются прогибы.

Расчет сжато-изгибаемого вертикального стержневого элемента производим в следующем порядке:

1) разбиваем стержневой элемент на равные участки, четное количество;

2) определяем внутренние усилия от действия поперечной нагрузки;

3) вычисляем дополнительный изгибающий момент от сжимающей силы;

4) определяем прогибы по формулам (5)–(15);

5) корректируем коэффициенты жесткости поперечного сечения стержневого элемента по следующим формулам (1)–(4);

6) весь процесс повторяется до сходимости принятой величины, например по максимальному значению изгибающего момента, при контроле предельных деформаций бетона и арматуры.

Величину нагрузки от воздействия ОСП находим по остаточным деформациям [12], считая нагрузку конструкции упругой.

Для удобства поверочного расчета описанный алгоритм методики автоматизирован в VBA (Visual Basic for Applications) [13, 20].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве примера численного расчета рассмотрим сжато-изгибаемый стержень с поперечным сечением квадратной формы и размерами 400×400 мм. Длина стержня составляет 6 м. Материалом железобетонного стержня принят тяжелый бетон класса В25, продольная арматура класса (4Ø18) А400 по ГОСТ 34028–2016⁶. Продольная сила Q и изгибающий момент M от постоянных и длительных нагрузок (продолжительное действие нагрузок) приняты $N_l = 1700$ кН, $M_l = 0,0$ кН. По результатам обследования выявлен остаточный прогиб (или выгиб), который составил 52 мм. Необходимо определить величину внешнего воздействия от ОСП.

На стадии воздействия обычными средствами поражения значение предельных относительных деформаций стали ϵ_{s2} принимаем 0,033 с коэффициентом упрочнения 1,3.

Для сжатой зоны бетона класса В25 принимаем коэффициент упрочнения 1,4, а для растянутой зоны бетона — коэффициент упрочнения 1,1.

Значения предельных относительных деформации тяжелого бетона В25 при непродолжительном действии внешней нагрузки (т.е. кратковременном режи-

⁶ ГОСТ 34028–2016. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия (с Поправкой). М. : Стандартинформ, 2019.

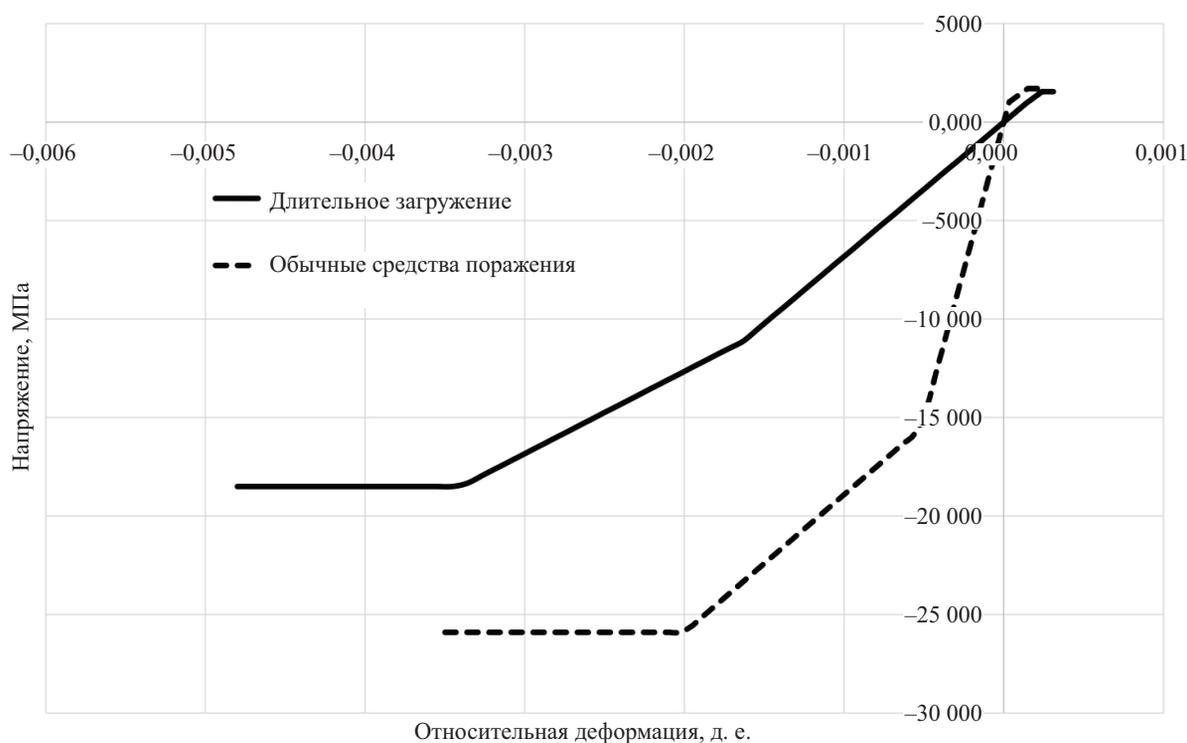


Рис. 2. Диаграмма работы бетона В25

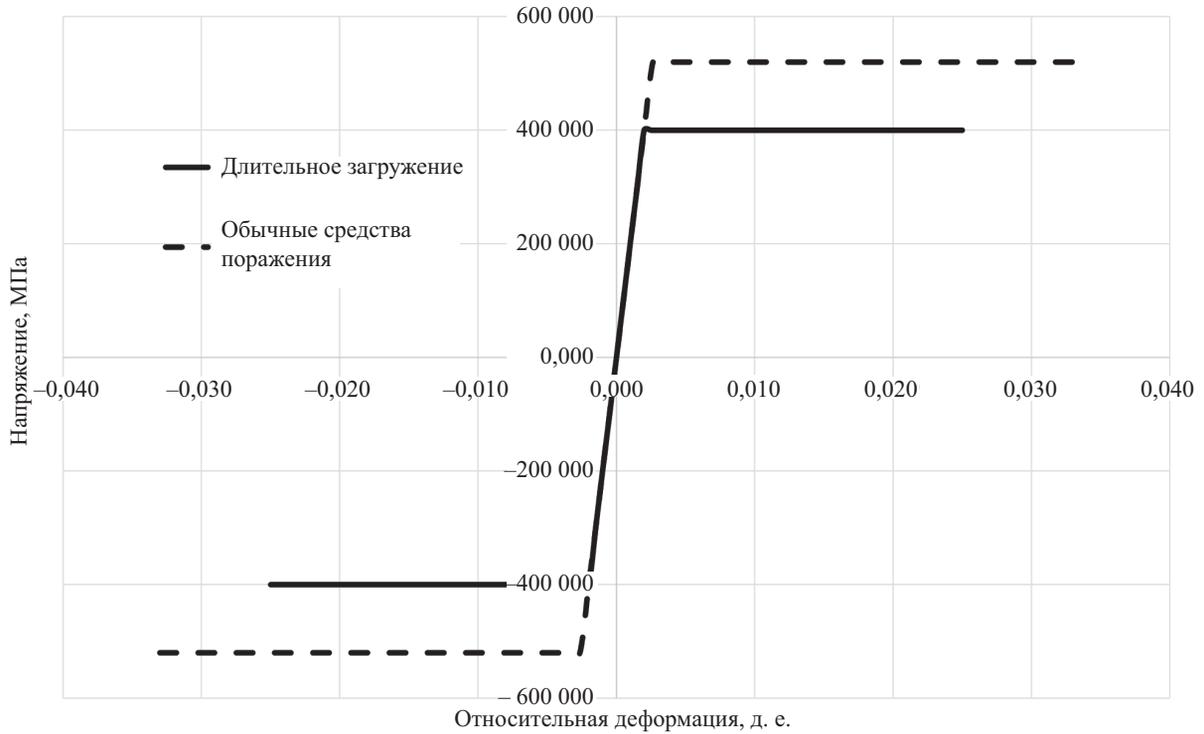


Рис. 3. Диаграмма работы стали класса А400

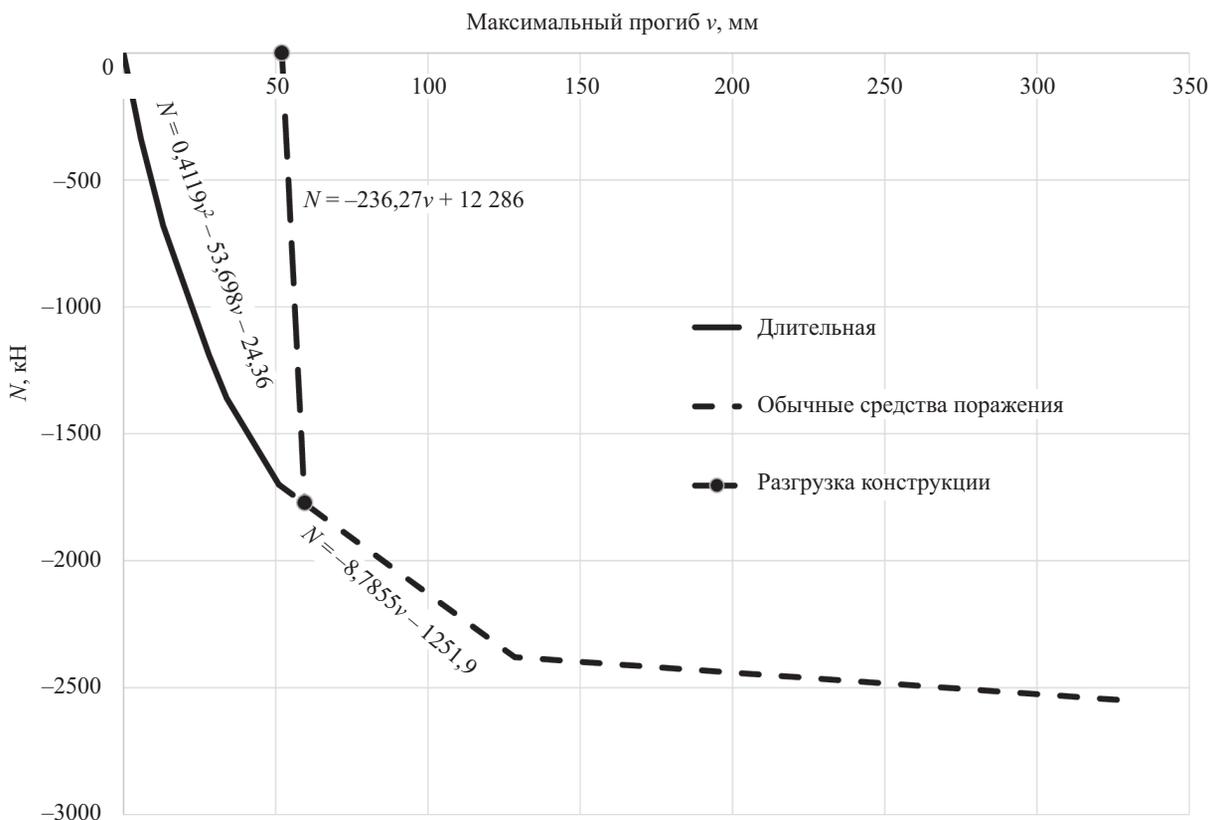


Рис. 4. График взаимодействия внешнего воздействия N , кН, с максимальным прогибом v , мм

ме загрузки) принимаем по п. 6.1.14 СП 63.13330: $\varepsilon_{b0} = 0,002$ при осевом сжатии и $\varepsilon_{b0} = 0,0001$ при осевом растяжении.

Принятые для расчета диаграммы показаны на рис. 2, 3.

Результаты численного расчета по приведенной ранее методике представлены на рис. 4.

Для участка с режимом воздействия ОСП из рис. 4 можно записать:

$$N = -8,7855v - 1251,9. \quad (16)$$

Линия разгрузки будет иметь вид:

$$N = -236,27v - 12,286. \quad (17)$$

Решив уравнения (16) и (17), находим, что при остаточном прогибе 52 мм величина воздействия составила 1703 кН.

Результаты расчета выполнены в VBA и показаны на рис. 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика расчета позволяет определить несущую способность и устойчивость сжато-изгибаемых элементов в физически и геометрически нелинейной постановке при воздействии обычных средств поражения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Travush V.I., Belostosky A.M., Akimov P.A.* Contemporary Digital Technologies in Construction Part 1: About Mathematical (Numerical) Modelling // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 456. P. 012029. DOI: 10.1088/1757-899X/456/1/012029
2. *Римшин В.И., Амелин П.А.* Численный расчет изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного сечения в программной среде ABAQUS // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2022. Т. 18. № 6. С. 552–563. DOI: 10.22363/1815-5235-2022-18-6-552-563. EDN WCRNSY.
3. *Kolchunov V.I., Tuyen V.N., Korenkov P.A.* Deformation and failure of a monolithic reinforced concrete frame under accidental actions // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 753. Issue 3. P. 032037. DOI: 10.1088/1757-899X/753/3/032037
4. *Кабанцев О.В., Тонких Г.П.* О деформативности и сейсмостойкости конструкций из каменной кладки // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 9. С. 51–58. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.09.51-58. EDN ZFCOVN.
5. *Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н.* Особое предельное состояние железобетонных конструкций при аварийных воздействиях // Вестник НИЦ Строительство. 2018. № 1 (16). С. 120–125. EDN YNSGFA.
6. *Мкртычев О.В., Дорожнинский В.Б.* Анализ подходов к определению параметров взрывного воздействия // Вестник МГСУ. 2012. № 5. С. 45–49. EDN PDBNCF.
7. *Mondrus V., Kulikov V.* An algorithm for analyzing the reactive behavior of structural elements of panel buildings // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 410. P. 03031. DOI: 10.1051/e3sconf/202341003031
8. *Tamrazyan A.G., Zubareva S.* Optimal design of reinforced concrete structures taking into account the particular calculation for progressive destruction // MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 117. P. 00163. DOI: 10.1051/matecconf/201711700163
9. *Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н.* Особое предельное состояние железобетонных конструкций и его нормирование // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 5. С. 4–9. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.05.04-09. EDN LMCXHX.
10. *Тонких Г.П., Белов Н.Н., Югов Н.Т., Пляскин А.С., Бабарыкина А.И.* Экспериментальные исследования защитных свойств композитных бетонов при действии обычных средств поражения // Технологии гражданской безопасности. 2024. Т. 21. № 1 (79). С. 34–44. EDN SHCIEG.
11. *Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Петров А.Н.* Малоитерационный подход к физически нелинейному расчету железобетона с трещинами // Строительные материалы. 2012. № 6. С. 7–9. EDN PCFXUF.
12. *Шевченко А.В., Давидюк А.А., Баглаев Н.Н.* Метод итераций для расчета железобетонных элементов на основе нелинейной деформационной модели // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 3. С. 13–18. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.03.13-18. EDN PJZDHL.
13. *McCracken D.D., Dorn W.S.* Numerical methods and FORTRAN programming: with applications in engineering and science. Wiley, 1965. 457 p.
14. *Бондаренко В.М., Римшин В.И.* Квазилинейные уравнения силового сопротивления и диаграмма σ - ε бетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014. № 6. С. 40–44. EDN SYZJHL.
15. *Бондаренко В.М., Римшин В.И.* Диссипативная теория силового сопротивления железобетона. М. : ООО «ТИД «Студент», 2015. 111 с. EDN VSMWDX.
16. *Fedorova N.V., Phan D.Q., Korenkov P.A.* Indirect Reinforcement of Reinforced Concrete Elements as a Means of Protecting a Constructive System from a Progressive Collapse // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 753. Issue 3. P. 032032. DOI: 10.1088/1757-899X/753/3/032032

17. Halahla A. Study the Behavior of Reinforced Concrete Beam Using Finite Element Analysis // World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering. 2018. DOI: 10.11159/icsenm18.103

18. De Santana Gomes W.J. Reliability analysis of reinforced concrete beams using finite element models // Proceedings of The XXXVIII Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering. 2017. DOI: 10.20906/CPS/CILAMCE2017-0145

19. Ribeiro R.R.J., Diógenes H.J.F., Nóbrega M.V., El Debs A.L.H.C. A survey of the mechanical properties of concrete for structural purposes prepared on construction sites // Revista IBRACON de Estruturas e Materiais. 2016. Vol. 9. Issue 5. Pp. 722–744. DOI: 10.1590/S1983-41952016000500005

20. Pangaribuan G. An Introduction to Excel for Civil Engineers: From Engineering Theory to Excel Practice. 2016. 387 p.

Поступила в редакцию 28 августа 2024 г.

Принята в доработанном виде 25 декабря 2024 г.

Одобрена для публикации 25 января 2025 г.

ОБ АВТОРАХ: Владимир Иванович Римшин — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры жилищно-коммунального комплекса; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; заведующий лабораторией мониторинга жилищно-коммунального хозяйства и радиационной безопасности в строительстве; Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН); 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21; РИНЦ ID: 420903, Scopus: 56258934600, ResearcherID: P-4928-2015, ORCID: 0000-0002-9084-4105; v.rimshin@niisf.ru;

Андрей Викторович Шевченко — кандидат технических наук, главный инженер; Конструкторско-технологическое бюро Железобетон (КТБ Железобетон); 109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, д. 6, стр. 64; SPIN-код: 9509-5666, РИНЦ ID: 712777; shevchenko@ktbbeton.com;

Эльвира Рафаэлевна Кузяхметова — главный специалист; Конструкторско-технологическое бюро Железобетон (КТБ Железобетон); 109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, д. 6, стр. 64; SPIN-код: 1949-1140, РИНЦ ID: 934567, Scopus: 57920114400, ResearcherID: HJI-1854-2023, ORCID: 0000-0002-0907-786X; e.kuzhahmetova@ktbbeton.com;

Алексей Николаевич Выдрин — аспирант лаборатории мониторинга жилищно-коммунального хозяйства и радиационной безопасности в строительстве; Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН); 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21; aleksey-vydrin@yandex.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

In the course of recent events, various types of conventional means of destruction (hereinafter — CMD) attack existing buildings and structures of different purposes: civilian (residential buildings, public buildings and other) and industrial (plants, factories) on the territory of the Russian Federation. The mentioned operating buildings and structures after CMD damage represent an object with different degree of destruction, which is classified according to GOST R 42.2.01¹: weak, medium, strong degree and complete destruction. Often the destruction of buildings (structures) is characterized by a weak or medium degree of destruction, i.e. a part of load-bearing building struc-

tures such as slabs, beams, transoms, columns, walls, etc. is damaged, and there is no danger of their collapse. In this case, it is considered economically feasible to fully restore partially destroyed building structures of buildings after the main means of defeat with minimum costs. Hence it is necessary to assess and assign the category of technical condition (TC) of load-bearing building structures (structures) according to GOST 31937².

Damaged building structures are immediately inspected according to the general rules for inspection and monitoring of TC of structures and facilities in accordance with the specified normative document GOST 31937. As a result of the survey, volume-planning solutions of the building (structure) are determined, connecting nodes of load-bearing building structures, actual strength of building materials, real operating loads

¹ GOST R 42.2.01–2014. Civil defence. Assessment of the condition of potentially hazardous facilities, defence and security facilities under the impact of defeat factors of conventional means of defeat. Calculation methods. Moscow, Standardinform, 2019.

² GOST 31937–2011. Buildings and structures. Rules for inspection and monitoring of technical condition. Moscow, Standardinform, 2014.

and impacts are analyzed, taking into account the actual picture of defects and damages of building structures.

During the survey, all the results obtained are recorded in a technical report for further verification calculation, which is one of the fundamental factors for assigning the category of technical condition of load-bearing building structures (see CP 13-102–2003³). For accurate and correct verification calculation for establishing the strength of damaged structures from CMD it is necessary to develop a calculation methodology on the example of a rod element with a compression-bending stress-strain state (SSS). It is necessary to identify the degree of impact of the CMD of the specified element taking into account the different nonlinearity of the material.

Physical nonlinearity (PN) of reinforced concrete is characterized by inelastic deformations of concrete and reinforcement in bar elements and their nodal junctions, as well as the occurrence and development of cracks in them. PN is taken into account and accepted according to construction norms: CP 63.13330⁴ and Manual to CP 63.13330⁵. Geometric nonlinearity (GN) is a nonlinear relationship between the external influence and displacement, which is caused by additional force during deformation of load-bearing building structures.

The aim of the study is to determine the degree of impact from conventional means of impact of a compression-bending element taking into account the physical and geometrical nonlinearity of the material.

At present, the issues of the dynamics of structures under emergency impacts related to the effects of explosions and propagation of air shock waves on buildings, including the use of nonlinear approaches, are dealt with: P.A. Akimov [1], V.I. Rimshin [2], V.I. Kolchunov [3], O.V. Kabantsev [4], E.N. Kodysh [5], O.V. Mkrtychev [6], V.L. Mondrus [7], A.G. Tamrazyan [8], N.N. Trekin [9], G.P. Tonkikh [10], V.I. Travush [1] and others. Significant difficulties in modelling the explosive impact should be noted.

MATERIALS AND METHODS

The materials used for the study are normative and technical documents of the Russian Federation, scientific books and articles. To determine the deformations of reinforced concrete elements, the method of initial parameters (MIP) is adopted as an alternative variant of calculation of vertical compression-bending rod element by the method of integration of the differential equation

³ CP 13-102–2003. Rules for inspection of load-bearing building structures of buildings and structures. Moscow, Gosstroy of Russia, GUP CPP, 2004.

⁴ CP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions. Updated edition of SNiP 52-01–2003. Moscow, JSC “SIC “Construction”, 2019; 124.

⁵ Manual to CP 63.13330. Methodological manual. Calculation of reinforced concrete structures without reinforcement prestressing.

of the curved axis of the rod element to determine the deformation specified in the Manual to CP 63.13330.

The above methods have their advantages and disadvantages, which are discussed in detail in scientific books “Resistance of Materials”. However, there are similar limitations to the application of the above methods:

- the structure under consideration is a rod element;
- the material of the structure is homogeneous over its entire length (height);
- the rod is straight;
- the cross-section of the structure has a constant shape;
- the hypothesis of flat solutions is valid, i.e. sections flat before deformation remain flat after deformation, and stresses are distributed uniformly within the sections.

The calculation engineer uses the integration method and the initial parameter method based on the initial data of the problem (project), the duration of the numerical calculation time, the design time and other factors. Both methods of calculation for the establishment of the second group of limit states (deformation) can be used as a verification calculation. It is known that the method of initial parameters is one of the relatively simple ways to calculate angular and linear displacements in bending, compression of rod elements with any number of accepted sections along its length. Initially, in the MIP it is necessary to determine the choice of the origin of coordinates in the calculation scheme, the conditions of fixation of the considered rod element.

The paper presents a numerical calculation methodology for determining the deformations for compression-bending elements taking into account the physical and geometrical nonlinearity from the CMD. The algorithm of calculation of the specified problem is carried out in several stages. As boundary conditions for a compression-bending rod, we assume hinge fixings, a hinge-unmovable support at the bottom, and a hinge-movable support with ends and loaded forces at the top (Fig. 1).

Let us divide the reinforced concrete vertical rod element of length L into separate n sections of equal length l_n . The stiffness coefficients of each n section compressed in the plane of symmetry of the cross-section of the reinforced concrete element and the location of the axis X in this plane, we find from the general system of equations (1) and (2):

$$D_{11} \cdot 1/\rho_x + D_{13} \cdot \varepsilon_0 = M_x; \quad (1)$$

$$D_{31} \cdot 1/\rho_x + D_{33} \cdot \varepsilon_0 = N, \quad (2)$$

where $1/\rho_x$ is the curvature of the compression-bending element; D_{11} , $D_{13} = D_{13}$, D_{33} are the stiffness characteristics of the cross-sectional area of the reinforced concrete vertical element.

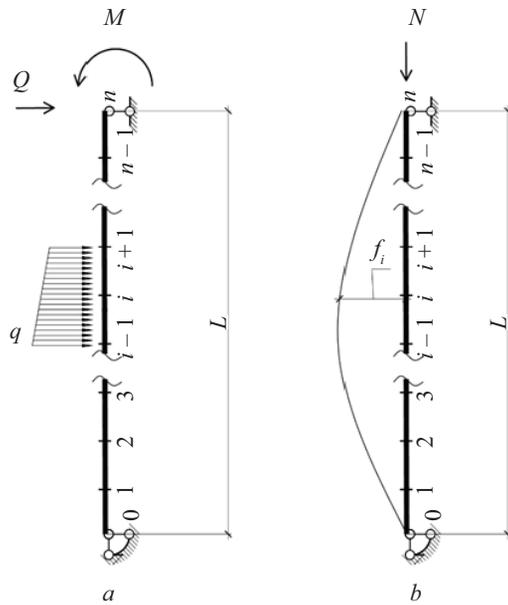


Fig. 1. Calculation diagrams of vertical rod element: *a* — bent rod; *b* — compressed rod; *M* — bending moment; *Q* — transverse force; *N* — longitudinal force; *q* — bending moment; *L* — total rod length; *f_i* — rod deflection

In general, the solution at each *k* step can be written in terms of subsequent iterations (loadings) [11–13]:

$$\begin{aligned} (1/\rho_x)_j^{(k)} &= \\ &= \frac{M_{x,j}}{D_{11,j}^{(k-1)}} - \left(\frac{D_{13,j}^{(k-1)}}{D_{11,j}^{(k-1)}} \right) (\varepsilon_0)_j^{(k-1)}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} (\varepsilon_0)_j^{(k)} &= \\ &= \frac{N}{D_{33,j}^{(k-1)}} - \left(\frac{D_{31,j}^{(k-1)}}{D_{33,j}^{(k-1)}} \right) (1/\rho_x)_j^{(k-1)}, \end{aligned} \quad (4)$$

where (*k*) is the iteration number; *j* is the loading step.

Equations (1)–(4) are solved by the stepwise iterative method [14–19] with correction of stiffness characteristics *D* and consideration of additional moments *M* in longitudinal bending.

The linear and angular displacements are the sum of the deflections due to bending moments and the deflections of the rod due to the compressive load *N*. In general, the calculation of linear *y* and angular Θ displacements at each *k* steps can be solved by the method of initial parameters:

$$y_n^{(k)} = A_{y,n}^{(k)} \cdot y_0^{(k)} + B_{y,n}^{(k)} \cdot \theta_0^{(k)} + C_{y,n}^{(k)}; \quad (5)$$

$$\theta_i^{(k)} = A_{\theta,i}^{(k)} \cdot y_0^{(k)} + B_{\theta,i}^{(k)} \cdot \theta_0^{(k)} + C_{\theta,i}^{(k)}. \quad (6)$$

The coefficients of equations (5) and (6) are expressed by the following relationships:

- for linear displacements *y*:

$$A_{y,i}^{(k)} = A_{y,i-1}^{(k)} + A_{\theta,i-1}^{(k)} \cdot L_{i-1}^{(k)}; \quad (7)$$

$$B_{y,i}^{(k)} = B_{y,i-1}^{(k)} + B_{\theta,i-1}^{(k)} \cdot L_{i-1}^{(k)}; \quad (8)$$

$$C_{y,i}^{(k)} = C_{y,i-1}^{(k)} + C_{\theta,i-1}^{(k)} \cdot L_{i-1}^{(k)}; \quad (9)$$

- for rotation angles Θ :

$$A_{\theta,i}^{(k)} = A_{\theta,i-1}^{(k)}; \quad (10)$$

$$B_{\theta,i}^{(k)} = B_{\theta,i-1}^{(k)}; \quad (11)$$

$$C_{\theta,i}^{(k)} = C_{\theta,i-1}^{(k)}; \quad (12)$$

where $A_{y,i}^{(k)}$ – $C_{\theta,i}^{(k)}$ are indices of the method of displacement (MD) describing linear displacements and rotation angles in recurrence form.

For longitudinal bending, the value of the bulge displacements can be found from the following relationships:

$$\begin{aligned} \left(\frac{f_0}{L} \right)^2 &= \\ &= -\frac{9}{2} \frac{\cos\left(\frac{\chi L}{2}\right)}{\frac{\chi^2 L^2}{4} \left(2 - 3 \cos\left(\frac{\chi L}{2}\right) + \left(\cos\left(\frac{\chi L}{2}\right) \right)^3 \right)}; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\chi^2 = \frac{N_{cr}}{D_i}, \quad (14)$$

where f_0 is the maximum deflection in the middle of the span under the action of the critical force N_{cr} ; *L* is the total length of the considered element.

Then the distribution of deflections at the origin of coordinates at one of the ends of the rod is found by the formula:

$$f_i = \frac{N}{N_{cr}} \sin\left(\frac{\pi x_i}{L}\right), \quad (15)$$

where x_i is the coordinate of the section where deflections are determined.

The compression-bending vertical rod element is calculated in the following order:

- 1) divide the rod element into equal sections, an even number;
- 2) determine the internal forces from the action of transverse load;
- 3) calculate the additional bending moment from the compressive force;
- 4) determine deflections according to formulas (5)–(15);

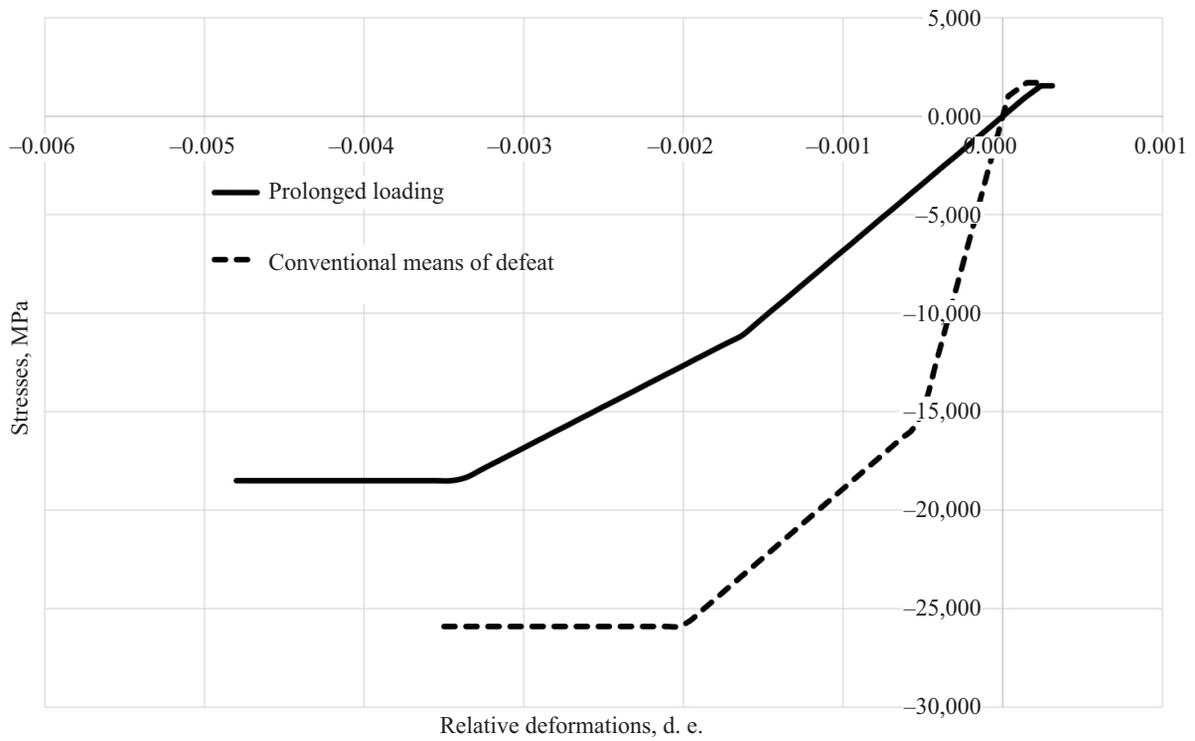


Fig. 2. Performance diagram of concrete B25

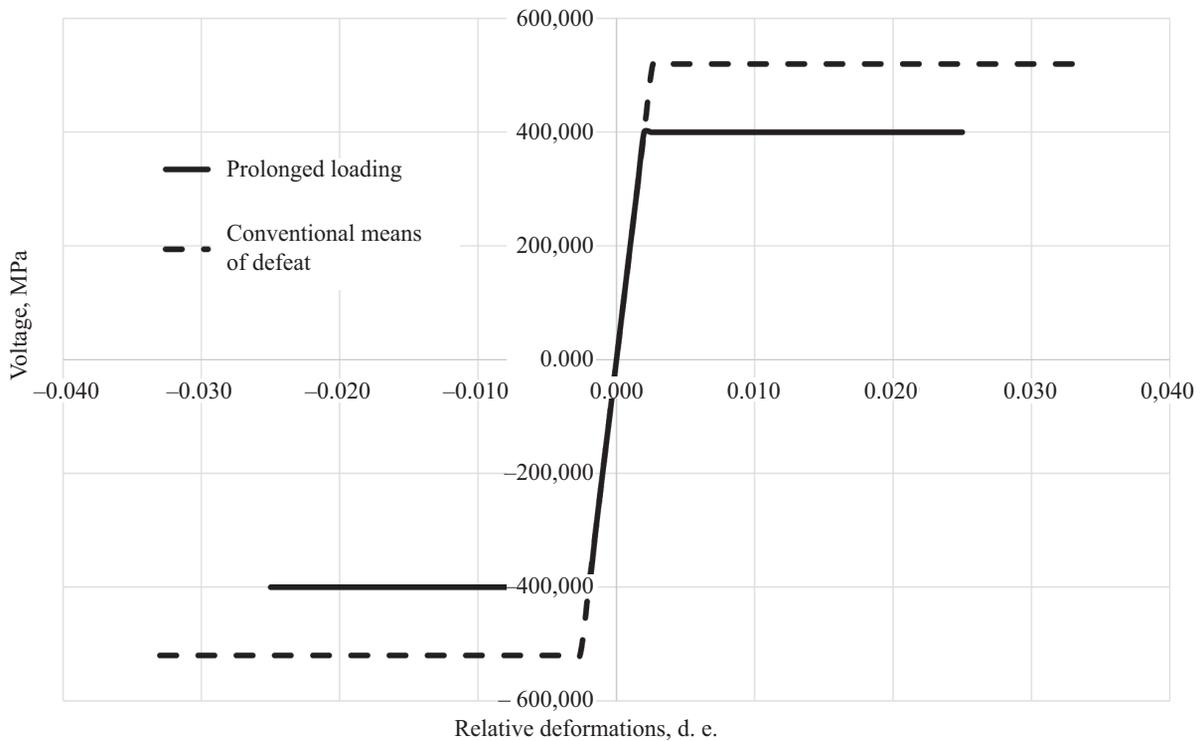


Fig. 3. Performance diagram of A400 grade steel

5) we correct the stiffness coefficients of the cross-sectional stiffness of the rod element by the following formulas (1)–(4);

6) the whole process is repeated until the accepted value converges, e.g. the maximum value of the bend-

ing moment, when checking the ultimate deformations of concrete and reinforcement.

The magnitude of the load from the impact of CMD is found by residual deformations [12], considering the unloading of the structure as elastic.

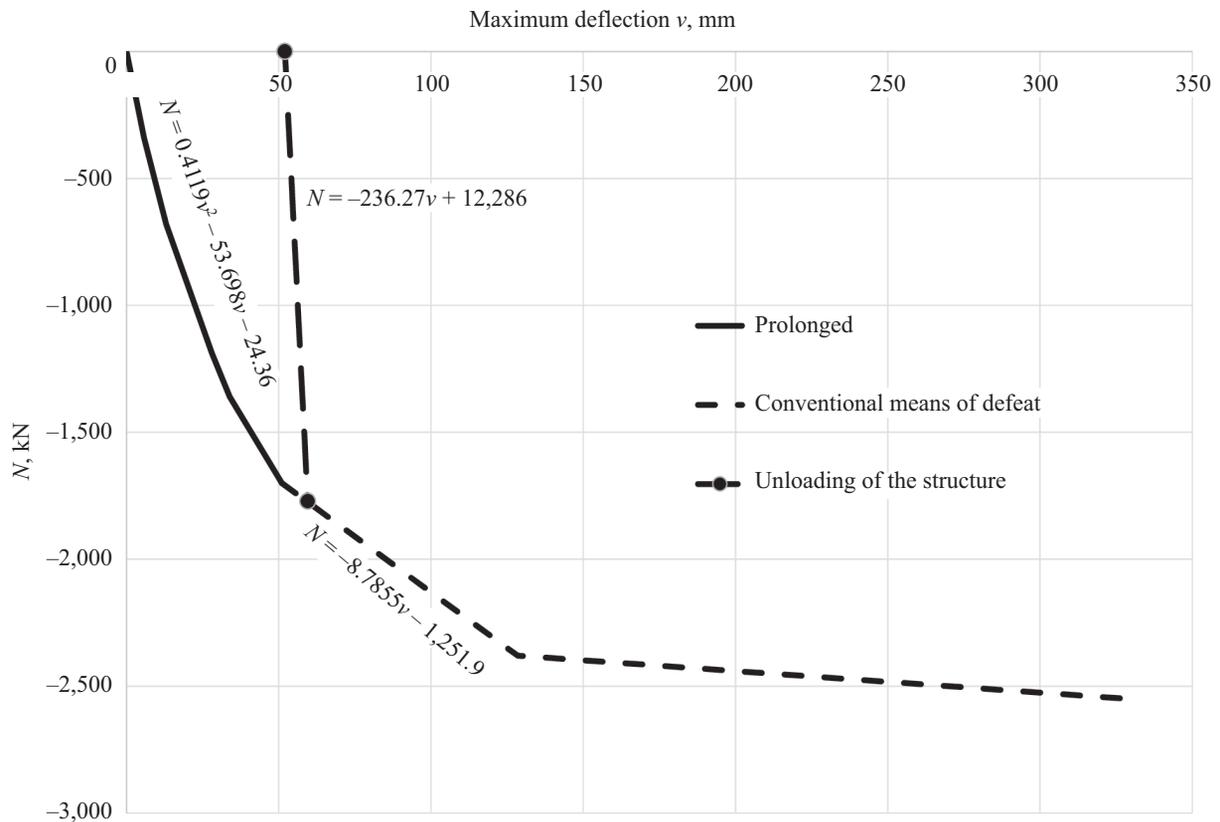


Fig. 4. Graph of interaction of external impact N , kN, with maximum deflection v , mm

For the convenience of verification calculation, the described algorithm of the methodology is automated in VBA (Visual Basic for Applications) [13, 20].

RESEARCH RESULTS

As an example of numerical calculation, consider a compression-bending rod with a square cross-section and dimensions 400×400 mm. The length of the rod is 6 m. The material of the reinforced concrete rod is heavy concrete of class B25, longitudinal reinforcement of class (4 \varnothing 18) A400 according to GOST 34028–2016⁶. Longitudinal force Q and bending moment M from permanent and long-term loads (continuous action of loads) are accepted $N_l = 1,700$ kN, $M_l = 0.0$ kN. According to the results of the examination, the residual deflection (or camber) was found to be 52 mm. It is necessary to determine the magnitude of external impact from the CMD.

At the stage of impact by conventional means of defeat the value of limiting relative deformations of steel ϵ_{s2} we take 0.033 with hardening factor 1.3.

For the compressed zone of concrete of class B25 we assume a hardening factor of 1.4, and for the tensile zone of concrete we assume a hardening factor of 1.1.

⁶ GOST 34028–2016. Rolled reinforcing steel for reinforced concrete structures. Technical conditions (with Amendment). Moscow, Standardinform, 2019.

Values of limiting relative deformations of heavy concrete B25 under short-term action of external load (i.e. short-term loading mode) are taken according to p. 6.1.14 of CP 63.13330: $\epsilon_{b0} = 0.002$ in axial compression and $\epsilon_{bt0} = 0.0001$ in axial tension.

The diagrams adopted for the calculation are shown in Fig. 2, 3.

The results of numerical calculation according to the method given earlier are presented in Fig. 4.

For the site with the CMD exposure mode from Fig. 4 can be written:

$$N = -8.7855v - 1251.9. \quad (16)$$

The unloading line will be of the form:

$$N = -236.27v + 12,286. \quad (17)$$

Solving equations (16) and (17), we find that at a residual deflection of 52 mm, the magnitude of the impact was 1,703 kN.

The calculation results were performed in VBA and are shown in Fig. 4.

CONCLUSION

The developed calculation procedure allows to determine the load-bearing capacity and stability of compression-bending elements in physically and geometrically nonlinear formulation under the impact of conventional means of defeat.

REFERENCES

1. Travush V.I., Belostosky A.M., Akimov P.A. Contemporary Digital Technologies in Construction Part 1: About Mathematical (Numerical) Modelling. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*. 2018; 456:012029. DOI: 10.1088/1757-899X/456/1/012029
2. Rimshin V.I., Amelin P.A. Numerical calculation of bent reinforced concrete elements of rectangular section in the ABAQUS software. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2022; 18(6):552-563. DOI: 10.22363/1815-5235-2022-18-6-552-563. EDN WCRNSY. (rus.).
3. Kolchunov V.I., Tuyen V.N., Korenkov P.A. Deformation and failure of a monolithic reinforced concrete frame under accidental actions. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*. 2020; 753(3):032037. DOI: 10.1088/1757-899X/753/3/032037
4. Kabantsev O.V., Tonkikh G.P. Deformability and seismic resistance of masonry constructions. *Industrial and Civil Engineering*. 2019; 9:51-58. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.09.51-58. EDN ZFCOVN. (rus.).
5. Kodysh E., Trekin N. Particular limit state of reinforced concrete structures under emergency exposure. *Bulletin of the Scientific Research Center Construction*. 2018; 1(16):120-125. EDN YNSGFA. (rus.).
6. Mkrtychev O.V., Dorozhinskiy V.B. Analysis of Approaches to Identification of Parameters of Blast Effects. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2012; 5:45-49. EDN PDBNCF. (rus.).
7. Mondrus V., Kulikov V. An algorithm for analyzing the reactive behavior of structural elements of panel buildings. *E3S Web of Conferences*. 2023; 410:03031. DOI: 10.1051/e3sconf/202341003031
8. Tamrazyan A.G., Zubareva S. Optimal design of reinforced concrete structures taking into account the particular calculation for progressive destruction. *MATEC Web of Conferences*. 2017; 117:00163. DOI: 10.1051/mateconf/201711700163
9. Trekin N.N., Kodysh E.N. Special limit condition of reinforced concrete structures and its normalization. *Industrial and Civil Engineering*. 2020; 5:4-9. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.05.04-09. EDN LMCXHX. (rus.).
10. Tonkikh G.P., Belov N.N., Yugov N.T., Plyaskin A.S., Babarykina A.I. Experimental studies of the composite concretes protective properties under the action of conventional means of destruction. *Civil Security Technology*. 2024; 21(1):(79):34-44. EDN SHCIEG. (rus.).
11. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Petrov A.N. A low-iterative approach to the physically nonlinear calculation of reinforced concrete with cracks. *Construction Materials*. 2012; 6:7-9. EDN PCFXFY. (rus.).
12. Shevchenko A.V., Davidyuk A.A., Baglaev N.N. Iteration method for the calculation of reinforced concrete elements based on a nonlinear deformation model. *Industrial and Civil Engineering*. 2022; 3:13-18. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.03.13-18. EDN PJZDHL. (rus.).
13. McCracken D.D., Dorn W.S. *Numerical methods and FORTRAN programming: with applications in engineering and science*. Wiley, 1965; 457.
14. Bondarenko V.M., Rimshin V.I. Linear equations of force resistance and diagram σ - ϵ of concrete. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2014; 6:40-44. EDN SYZJHL. (rus.).
15. Bondarenko V.M., Rimshin V.I. *Dissipative theory of the force resistance of reinforced concrete*. Moscow, OOO TID Student, 2015; 111. EDN VSMWDX. (rus.).
16. Fedorova N.V., Phan D.Q., Korenkov P.A. Indirect Reinforcement of Reinforced Concrete Elements as a Means of Protecting a Constructive System from a Progressive Collapse. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*. 2020; 753(3):032032. DOI: 10.1088/1757-899X/753/3/032032
17. Halahla A. Study the Behavior of Reinforced Concrete Beam Using Finite Element Analysis. *World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering*. 2018. DOI: 10.11159/icseem18.103
18. De Santana Gomes W.J. Reliability analysis of reinforced concrete beams using finite element models. *Proceedings of The XXXVIII Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering*. 2017. DOI: 10.20906/CPS/CILAMCE2017-0145
19. Ribeiro R.R.J., Diógenes H.J.F., Nóbrega M.V., El Debs A.L.H.C. A survey of the mechanical properties of concrete for structural purposes prepared on construction sites. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*. 2016; 9(5):722-744. DOI: 10.1590/S1983-41952016000500005
20. Pangaribuan G. *An Introduction to Excel for Civil Engineers: From Engineering Theory to Excel Practice*. 2016; 387.

Received August 28, 2024.

Adopted in revised form on December 25, 2024.

Approved for publication on January 25, 2025.

BIONOTES: Vladimir I. Rimshin — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Housing and Communal Services; Moscow State University of Civil Engineering (National Research Univer-

sity) (MGSU); 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Head of the Laboratory for Monitoring Housing and Public Utilities and Radiation Safety in Construction; **Scientific Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Lokomotivny proezd, Moscow, 127238, Russian Federation; ID RSCI: 420903, Scopus: 56258934600, ResearcherID: P-4928-2015, ORCID: 0000-0002-9084-4105; v.rimshin@niisf.ru;

Andrey V. Shevchenko — Candidate of Technical Sciences, chief engineer; **Design and Technology Bureau Reinforced Concrete**; build. 64, 6 2nd Institutskaya st., Moscow, 109428, Russian Federation; SPIN-code: 9509-5666, ID RSCI: 712777; shevchenko@ktbbeton.com;

Elvira R. Kuzhakhmetova — chief specialist; **Design and Technology Bureau Reinforced Concrete**; build. 64, 6 2nd Institutskaya st., Moscow, 109428, Russian Federation; SPIN-code: 1949-1140, ID RSCI: 934567, Scopus: 57920114400, ResearcherID: HJI-1854-2023, ORCID: 0000-0002-0907-786X; e.kuzhahmetova@ktbbeton.com;

Alexey N. Vydrin — postgraduate student of the Laboratory for Monitoring Housing and Public Utilities and Radiation Safety in Construction; **Scientific Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Lokomotivny proezd, Moscow, 127238, Russian Federation; aleksey-vydrin@yandex.ru.

Contribution of the authors: the authors have made an equivalent contribution to the manuscript.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Совершенствование конструктивной формы стальных узкобазых решетчатых опор воздушных линий электропередачи повышенной надежности

Антон Владимирович Танасогло¹, Игорь Михайлович Гаранжа¹,
Анатолий Николаевич Оржеховский², Милена Михайловна Писарева¹

¹ *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия;*

² *Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (ДОННАСА); г. Макеевка, ДНР, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Развитие электрических сетей напрямую зависит от стоимости и надежности конструкций воздушных линий электропередачи (ВЛ), для чего необходимо, прежде всего, уточнение статических и динамических нагрузок и воздействий с целью оценки несущей способности при проектировании и эксплуатации; поиск, разработка и апробация новых оптимальных решений опор ВЛ, а также комплексный подход к проектированию сети как единой конструктивной системы на основе учета требований изготовления, монтажа и эксплуатации. Цель исследования — поиск оптимальной конструктивной формы стальных узкобазых башенных и порталных опор ВЛ напряжением 35 и 110 кВ.

Материалы и методы. При исследовании башенных одноствоечных и порталных опор ВЛ 35 и 110 кВ с диагоналями и распорками по массе учитывались нормальные, аварийные и монтажные режимы работы для анкерowanych участков с углами поворота воздушной линии от 0 до 60°. Линия рассматривалась как единая система. При изучении анкерно-угловых опор по массе учитывались возможные режимы работы: нормальные, аварийные и монтажные для различных углов поворота трассы линии.

Результаты. Разработан алгоритм определения напряжений для всех регламентируемых нормативными документами режимов работы токоведущих проводов и необходимого количества пролетов ВЛ. Впервые решена задача расчета напряженно-деформированного состояния ВЛ как единой системы с учетом совместной работы токоведущих проводов, грозотросов, гирлянд изоляторов, опор и фундаментов. На основе предложенного численного метода оптимизации дополнительно снижены показатели массы и стоимости узкобазых опор до 20 %.

Выводы. Предложенные узкобазые опоры технологичны в изготовлении, монтаже и эксплуатации. Портальные опоры с подкрепляющими диагоналями и без них рациональны в анкерно-угловых вариантах 110 кВ, особенно при больших нагрузках из плоскости и значительных перепадах рельефа местности, а также в промежуточных вариантах 110 кВ при высоте опор до 27 м. На ВЛ напряжением 35 кВ применение порталных свободностоящих опор дает положительный эффект только для промежуточных вариантов высотой до 20 м.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: воздушная линия электропередачи, узкобазая опора, напряженно-деформированное состояние, расчетная модель, автоматизированный расчет

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Танасогло А.В., Гаранжа И.М., Оржеховский А.Н., Писарева М.М. Совершенствование конструктивной формы стальных узкобазых решетчатых опор воздушных линий электропередачи повышенной надежности // Строительство: наука и образование. 2025. Т. 15. Вып. 2. Ст. 2. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.2

Автор, ответственный за переписку: Игорь Михайлович Гаранжа, garigo@mail.ru.

Structural form improvement of steel narrow-based lattice supports for high-reliability overhead lines

Anton V. Tanasoglo¹, Igor M. Garanzha¹, Anatoliy N. Orzhekhovskiy²,
Milena M. Pisareva¹

¹ *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation;*

² *Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture; Makeevka, DPR, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The development of electric networks directly depends on cost and reliability of overhead line structures, which requires, first of all, clarification of static and dynamic loads and impacts in order to assess the bearing capacity during

design and operation; search, development and testing of new optimal solutions for overhead line supports, as well as well as an integrated approach to network design as single structural system based on requirements for manufacturing, installation and operation. The purpose of work is to find the optimal structural form of steel narrow-base tower and portal supports for 35 and 110 kV overhead lines.

Materials and methods. When studying tower single and portal supports of 35 and 110 kV overhead power lines with diagonals and spacers by weight, normal, emergency and installation modes of operation were taken into account for anchored sections with overhead line rotation angles from 0 to 60°. The line was considered as single system. When studying anchor-angle supports by weight, possible operating modes were taken into account: normal, emergency and installation for different rotation angles of line route.

Results. Has been developed an algorithm for determining voltages for all operating modes of current-carrying wires and required number of overhead power line spans regulated by regulatory documents. For the first time has been solved the problem of calculating the stress-strain state for overhead power line as single system, taking into account the joint operation of current-carrying wires, ground wires, insulator strings, supports and foundations. Based on proposed numerical optimization method mass and cost of narrow-base supports have been further reduced by up to 20 %.

Conclusions. Proposed narrow-base supports are technologically advanced in manufacturing, installation and operation. Portal supports with and without reinforcing diagonals are rational in anchor-angle versions of 110 kV, especially with large loads from plane and significant differences in terrain, as well as in intermediate versions of 110 kV with support height of up to 27 m. On 35 kV overhead lines the use of portal free-standing supports gives a positive effect only for intermediate versions up to 20 m high.

KEYWORDS: overhead power line, narrow-base support, stress-strain state, design model, automated analysis

FOR CITATION: Tanasoglo A.V., Garanzha I.M., Orzhekhovskiy A.N., Pisareva M.M. Structural form improvement of steel narrow-based lattice supports for high-reliability overhead lines. *Construction: Science and Education*. 2025; 15(2):2. URL: <http://inso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.2

Corresponding author: Igor M. Garanzha, garigo@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом количество электроэнергии, передаваемой в электрических сетях высокого напряжения, возрастает. Это требует вовлечения огромных материальных и трудовых ресурсов не только в сфере энергетики, но и в других отраслях промышленности [1–3].

Развитие электрических сетей напрямую зависит от стоимости конструкций воздушных линий электропередачи (ВЛ). Поэтому следует реализовать все возможные пути снижения металлоемкости и повышения эффективности электросетевого строительства за счет совершенствования технических решений [2, 4, 5].

Для получения гарантии бесперебойной и эффективной работы воздушной линии как единой системы необходимо, прежде всего, уточнение статических и динамических нагрузок и воздействий с целью оценки несущей способности при проектировании и эксплуатации; поиск, разработка и апробация новых оптимальных решений опор ВЛ с использованием твердотельного моделирования; комплексный подход к проектированию сети как единой конструкционной системы на основе учета требований изготовления, монтажа и эксплуатации; реконструкция действующих высоковольтных линий электропередачи [6, 7].

До настоящего времени проектирование ВЛ сводилось в основном к изысканиям и расстановке типовых опор. Последние разработки новых унифицированных опор институт «Энергосетьпроект» закончил в 1980-х гг., и то в крайне ограниченном ассортименте. Вместе с тем, как показывает опыт, время действия унификации составляет порядка 20 лет, после чего принятые технические решения мораль-

но устаревают. Для преодоления этих проблем необходим пересмотр многих подходов и взглядов.

Цель исследования — поиск оптимальной конструктивной формы стальных узкобазых башенных и порталных опор воздушных линий электропередачи напряжением 35 и 110 кВ.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- проанализировано напряженно-деформированное состояние (НДС) воздушной линии в виде целостной системы, где совместно работают все ключевые элементы — токоведущие провода, грозотросы, гирлянды изоляторов, опоры, фундаменты и грунтовое основание;

- разработаны новые оптимальные конструктивные формы стальных узкобазых опор повышенной надежности взамен железобетонных для воздушных линий по области определения;

- установлены рациональные области применения узкобазых башенных и порталных опор в качестве анкерно-угловых и промежуточных опор для воздушных линий напряжением 35 и 110 кВ.

Предметом исследования в данной работе приняты параметры НДС элементов стальных узкобазых решетчатых опор, конструктивное решение которых получено путем оптимизации типовых решений.

В качестве объекта исследования рассмотрены конструкции стальных одноствоечных узкобазых и порталных опор для ВЛ класса напряжения 35 и 110 кВ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оценки эксплуатационного состояния электросетевых конструкций выполнена статистическая

обработка информации по эксплуатации, авариям и отказам опор ВЛ и порталов открытых распределительных устройств (ОРУ) в энергосистемах РФ. Источником информации служили карты отказов ВЛ за 1991–2021 гг., содержащиеся в картотеке фирмы ОРГРЭС (г. Москва). Результаты статистического анализа отказов приведены на рис. 1.

Более половины отказов опор вызваны действием гололедно-ветровых нагрузок на провода, грозозащитные тросы и конструкции. Во многом это является следствием отсутствия достоверной информации о характере и величинах динамических нагрузок на элементы воздушных линий [8, 9].

Таким образом, создание новых решений опор ВЛ с узкой базой обусловлено необходимостью разработки рациональных по критерию стоимости

форм стальных башенных опор с повышенными показателями надежности (безотказности) взамен железобетонных в связи с периодическими авариями на электрических сетях.

Положительный многолетний опыт эксплуатации узкобазных опор на одноцепных ВЛ 35 кВ и двухцепных ВЛ 110 кВ на территории Республики Крым с характерными сложными условиями рельефа подтверждает потребность и обоснованность рассмотрения возможностей разработки типовой серии промежуточных и анкерно-угловых одноцепных и двухцепных узкобазных стальных опор для линий 35 и 110 кВ взамен применяющихся железобетонных унифицированных, плохо работающих на аварийные нагрузки и приведших к массовым авариям в 2009–2010 гг. [10–12].

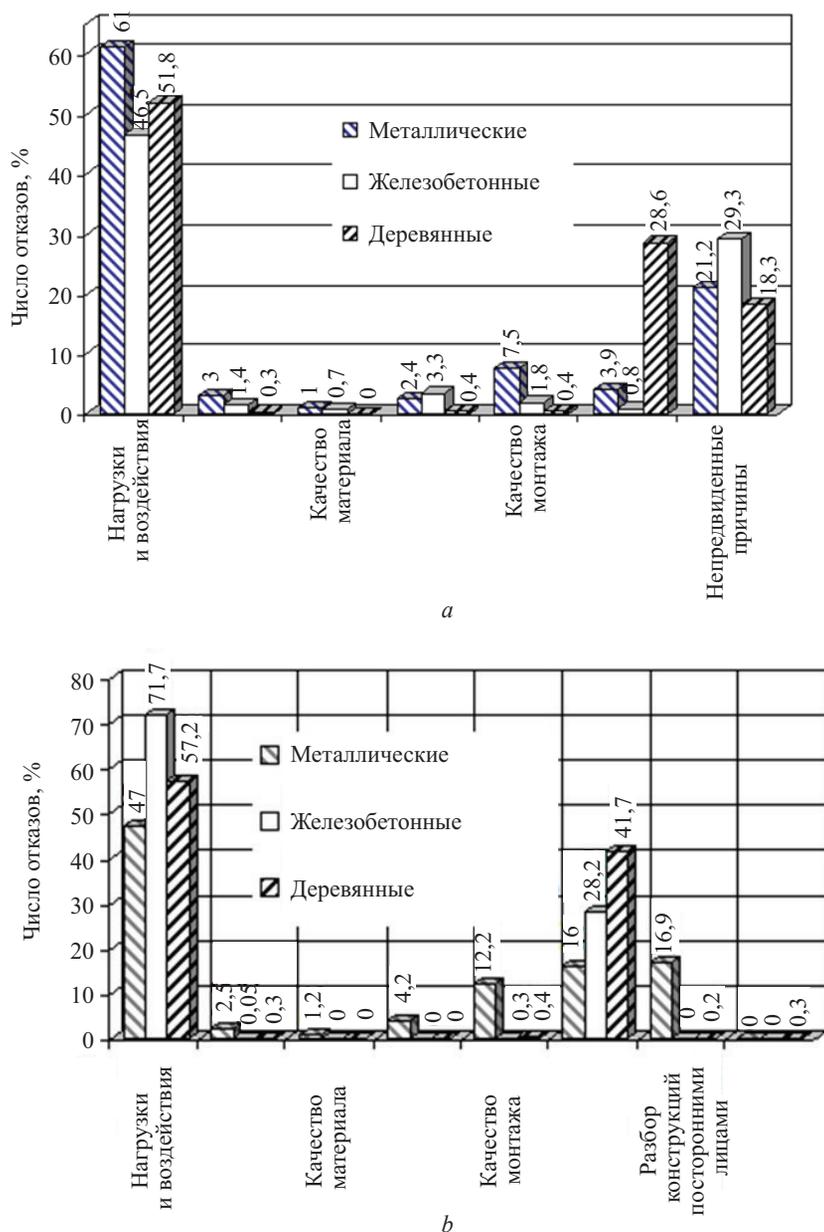


Рис. 1. Структура отказов опор ВЛ в РФ: а — за период 1991–2021 гг.; б — за период 2001–2021 гг.

В работе представлены результаты теоретического анализа возможности использования новых решений (типов) одноцепных и двухцепных опор для ВЛ напряжением 35 и 110 кВ. В процессе исследований рассмотрено шесть типов одностоечных опор башенного типа: П-35-1, АУ-35-1, П-35-2, АУ-35-2, П-110-1, АУ-110-1 и пять типов порталных опор: ПАУ-35-1, ПП-35-2, ПАУ-35-2, ПП-110-1, ПАУ-110-1. Схемы решетчатых одностоечных и порталных опор приведены на рис. 2, 3.

Исследованы одностольные башенные опоры постоянного квадратного поперечного сечения и двухстольные порталные опоры со стволами постоянного квадратного поперечного сечения с подкрепляющими диагоналями и распорками и без них. Анализ результатов расчетов подтвердил предположение о том, что появление дополнительных элементов в конструктивной системе опоры (в виде диагоналей и распорок) оправданно: значительно снижаются усилия от изгиба элементов порталной опоры.

При изучении башенных одностоечных и порталных опор с диагоналями и распорками по массе учитывались нормальные, аварийные и монтажные режимы работы для анкерных участков с углами поворота воздушной линии от 0 до 60°.

Ключевым требованием при создании новых решений опор ВЛ с учетом обеспечения надежности эксплуатации линии является строгое соблюдение не только ключевых технологических требований, а также аспектов проектирования и строительства.

При проектировании для исследуемых типов опор приняты следующие допущения: материал работает упруго; грозозащитные тросы крепятся к вершинам опор неподвижно, а гирлянды изоляторов, на которых подвешены токоведущие провода, отклоняясь, остаются прямолинейными; работа проводов и тросов при нахождении напряжений в них отождествляется с работой пологих нитей; при определении изгибных деформаций ствол опоры представляется как упруго заземленная консоль.

В аварийном режиме на опоры действует сосредоточенная сила, образовавшаяся при обрыве провода, и равномерно распределенная нагрузка от веса проводов и тросов. После загрузки системы в деформированном состоянии наступит, когда деформации проводов и тросов будут равны деформациям конструкций опор¹ [11, 13, 14].

Определение напряжений и несущая способность элементов опоры устанавливались в подсистеме расчета и оптимизации несущих металлоконструкций опор в составе единой сети [15–17].

Для определения нагрузок на анкерно-угловые опоры рассматривались нормальные и аварийные режимы работы ВЛ согласно гл. 2.5 ПУЭ 7. В расчетах принималось девять загрузений:

1) нормальный режим — провода и тросы не оборваны и свободны от гололеда; ветер направлен вдоль осей траверс слева направо;

¹ IEC 60826. Design criteria of overhead transmission lines (international standard). Geneva : IEC, 2022. 87 p.

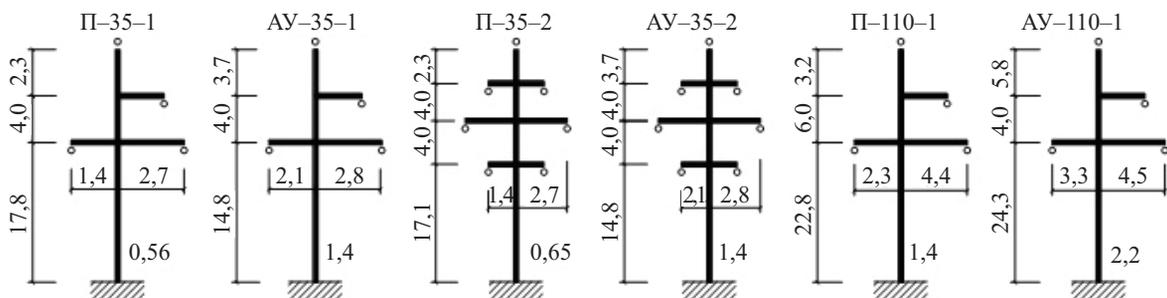


Рис. 2. Схемы стальных одностоечных опор ВЛ 35 и 110 кВ

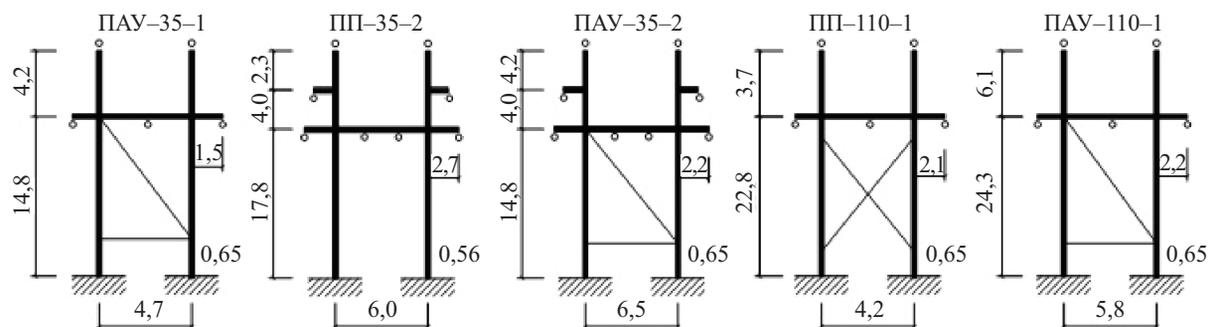


Рис. 3. Схемы стальных порталных опор ВЛ 35 и 110 кВ

2) нормальный режим — провода и тросы не оборваны и покрыты гололедом; ветер направлен вдоль осей траверс слева направо;

3) нормальный режим — опора концевая: провода и тросы не оборваны и свободны от гололеда; ветер направлен вдоль осей траверс слева направо;

4) аварийный режим — оборван провод в правой нижней фазе; гололед без ветра; тяжение слева направо;

5) аварийный режим — оборван провод в правой средней фазе; гололед без ветра; тяжение слева направо;

6) аварийный режим — оборван провод в правой верхней фазе; гололед без ветра; тяжение слева направо;

7) аварийный режим — опора концевая: оборван провод в правой нижней фазе; гололед без ветра;

8) аварийный режим — опора концевая: оборван провод в правой средней фазе; гололед без ветра;

9) аварийный режим — опора концевая: оборван провод в правой верхней фазе; гололед без ветра.

Расчетные режимы работы принимались для прямолинейных участков трассы ВЛ и при углах поворота линии до 60° с разностью тяжений в проводах и тросах в смежных пролетах.

Для определения нагрузок на промежуточные опоры также рассматривались нормальные и аварийные режимы. Опоры промежуточного типа рассчитывались при пяти загрузках согласно гл. 2.5 ПУЭ 7:

1) нормальный ветровой режим — ветер поперек ВЛ;

2) нормальный ветровой режим — ветер под углом 45° к ВЛ;

3) нормальный гололедный режим — ветер при гололеде;

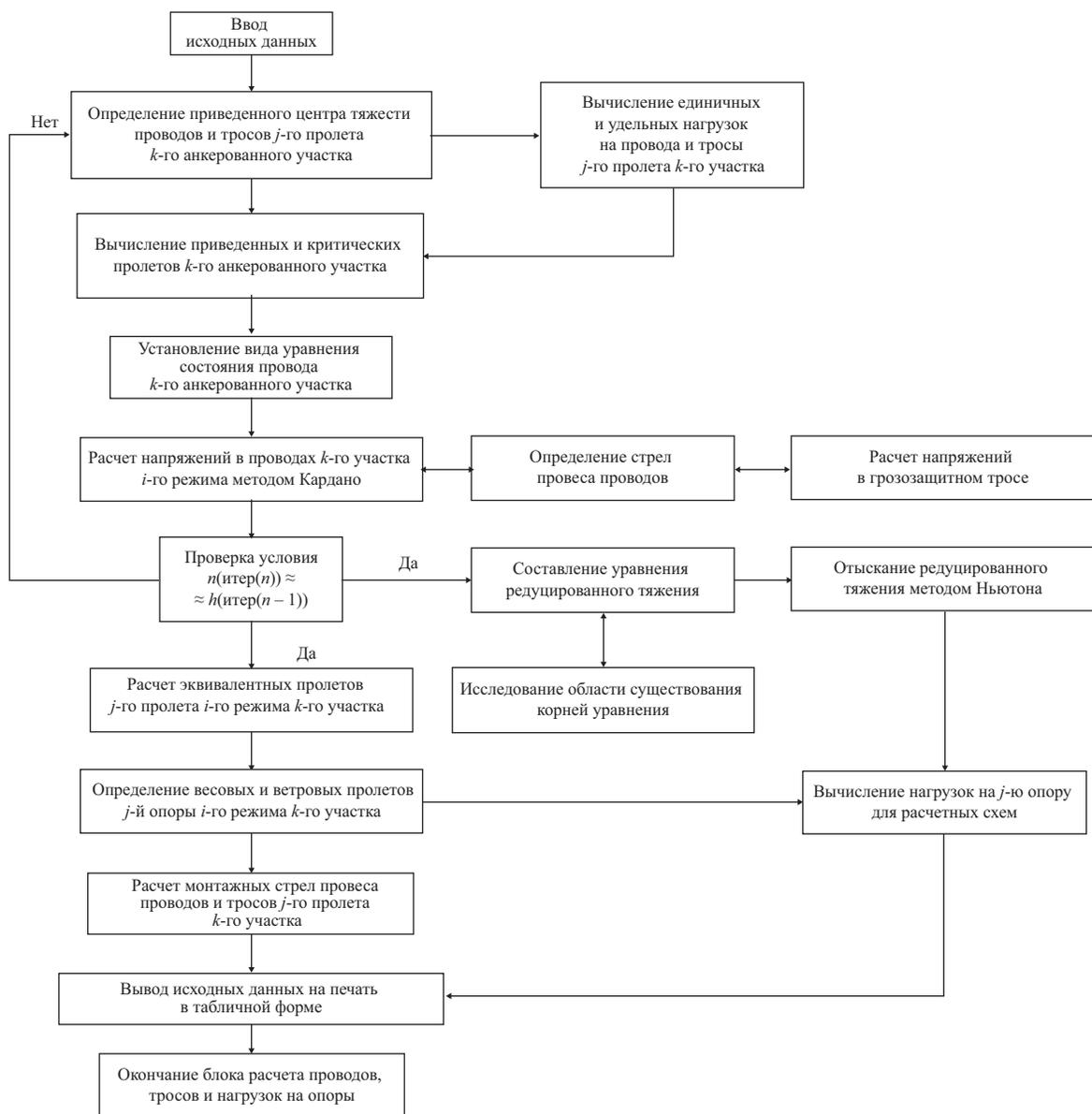


Рис. 4. Блок-схема определения параметров НДС для грозозащитных тросов, токоведущих проводов, а также нагрузок на конструкции опор

4) аварийный режим — обрыв провода одной фазы в габаритном пролете;

5) аварийный режим — обрыв троса в габаритном пролете.

Расчет опоры ВЛ с определением внутренних силовых факторов в элементах конструкции и подбором сечений с учетом нормативных ограничений и конструктивных требований выполнялся в программном комплексе, разработанном на кафедре металлических и деревянных конструкций НИУ МГСУ. В состав комплекса входят: подсистема расчета проводов, тросов и сбора нагрузок на опоры; подсистема расчета и оптимизации несущих металлоконструкций опор в составе единой сети; подсистема автоматизированного конструирования металлоконструкций опор ВЛ [10, 18, 19].

Блок-схема установления параметров НДС для грозозащитных тросов, токоведущих проводов, а также нагрузок на конструкции опор приведена на рис. 4.

В результате реализации алгоритма расчета проводов, грозотросов и нагрузок на решетчатую конструкцию получаем файл исходных данных для дальнейшего расчета узкобазой опоры башенного или порталного типа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Параметры конструкций высоковольтных линий электропередачи определяются большим числом разнообразных требований: соблюдение электрических габаритов между проводами, тросами и опорой, учет фактора унификации, ступенчатое изменение размеров сортамента проката [18, 20–22].

Задача оптимального проектирования ВЛ формулируется следующим образом: отыскать геометрические параметры сети с варьированием координат системы и топологии при заданных сечениях с минимизацией массы (1) при удовлетворении нормативных ограничений (2)–(4) и требований (5), (6).

Оптимизация геометрических параметров опоры с корректировкой типа решетки выполняется комбинаторным алгоритмом с применением метода направленного спуска.

Определение минимума целевой функции является существенно нелинейной дискретной задачей при установлении оптимальных геометрических параметров, так как велико число варьируемых параметров [23, 24]:

$$Z = f(H, L, b, Q, l_n, R_y, k_6, n_p), \quad (1)$$

где величины H, L, b, Q — заданные начальные параметры; H — высота узкобазой опоры; L — пролет анкерowanego участка; b — база опоры; Q — вектор внешней нагрузки; величины l_n, R_y, k_6, n_p — варьируемые параметры геометрической схемы; l_n — длина панели решетки; k_6 — количество болтов в узлах; n_p — тип решетки узкобазой опоры.

Запишем нормативные ограничения, которым удовлетворяет целевая функция массы (1):

- несущая способность сжатых и растянутых элементов соответственно:

$$\begin{aligned} N_i &\leq A_i \cdot R_{yi} \cdot \varphi_i, \\ N_i &\leq A_i \cdot R_{yi}, \end{aligned} \quad (2)$$

где N_i — продольное усилие в i -м элементе конструкции; R_{yi}, A_i, φ_i — соответственно расчетное сопротивление, площадь поперечного сечения и коэффициент устойчивости (продольного изгиба) каждого i -го элемента;

- условие по минимальной площади сечения элемента опоры:

$$A_i \geq [A_i], \quad (3)$$

где $[A_i]$ — минимально допустимая площадь i -го элемента по критериям предельной гибкости или конструктивным требованиям;

- величины неизвестных:

$$J_i \geq X_i \geq j_i, \quad (4)$$

где J_i и j_i — верхняя и нижняя границы изменчивости варьируемых параметров.

Основные условия, которым удовлетворяет вектор варьируемых параметров (1):

- условие равновесия:

$$k(x) \cdot \beta - P(x) = 0, \quad (5)$$

где $k(x)$ — матрица жесткости системы; β — вектор узловых перемещений; $P(x)$ — вектор внешних нагрузок;

- условие совместности деформаций:

$$\Delta L_{N_i}(N_i, A_i, l_i) = \Delta L_i(\Delta x, \Delta y, \Delta z), \quad (6)$$

где ΔL_{N_i} и ΔL_i — деформация соответственно i -го и $i + 1$ элемента.

Алгоритм оптимального проектирования с подбором сечений элементов и определением массы опоры ВЛ приведен на рис. 5.

Вычисление вектора варьируемых параметров производится в следующей последовательности: выполняется статический расчет для нормальных, аварийных и монтажных режимов работы узкобазой опоры; для каждого режима определяются усилия и напряжения в элементах опоры; производится подбор сечений по расчетным усилиям и осуществляется проверка напряжений и гибкости элементов; производится перерасчет узкобазой опоры с учетом уточненных жесткостей элементов; подсчитывается масса отдельных элементов и всей конструкции в целом.

Результаты подбора сечений опоры-представителя, изображенной на рис. 6, приведены в табл. 1.

В качестве примера на рис. 6–9 представлены некоторые разработанные новые решетчатые анкерно-угловые и промежуточные одностоечные и порталные опоры для линий электропередачи 35 и 110 кВ.

Всего исследовано одиннадцать опор: шесть одностоечных опор башенного типа (П-35-1, АУ-35-1, П-35-2, АУ-35-2, П-110-1, АУ-110-1) и пять опор

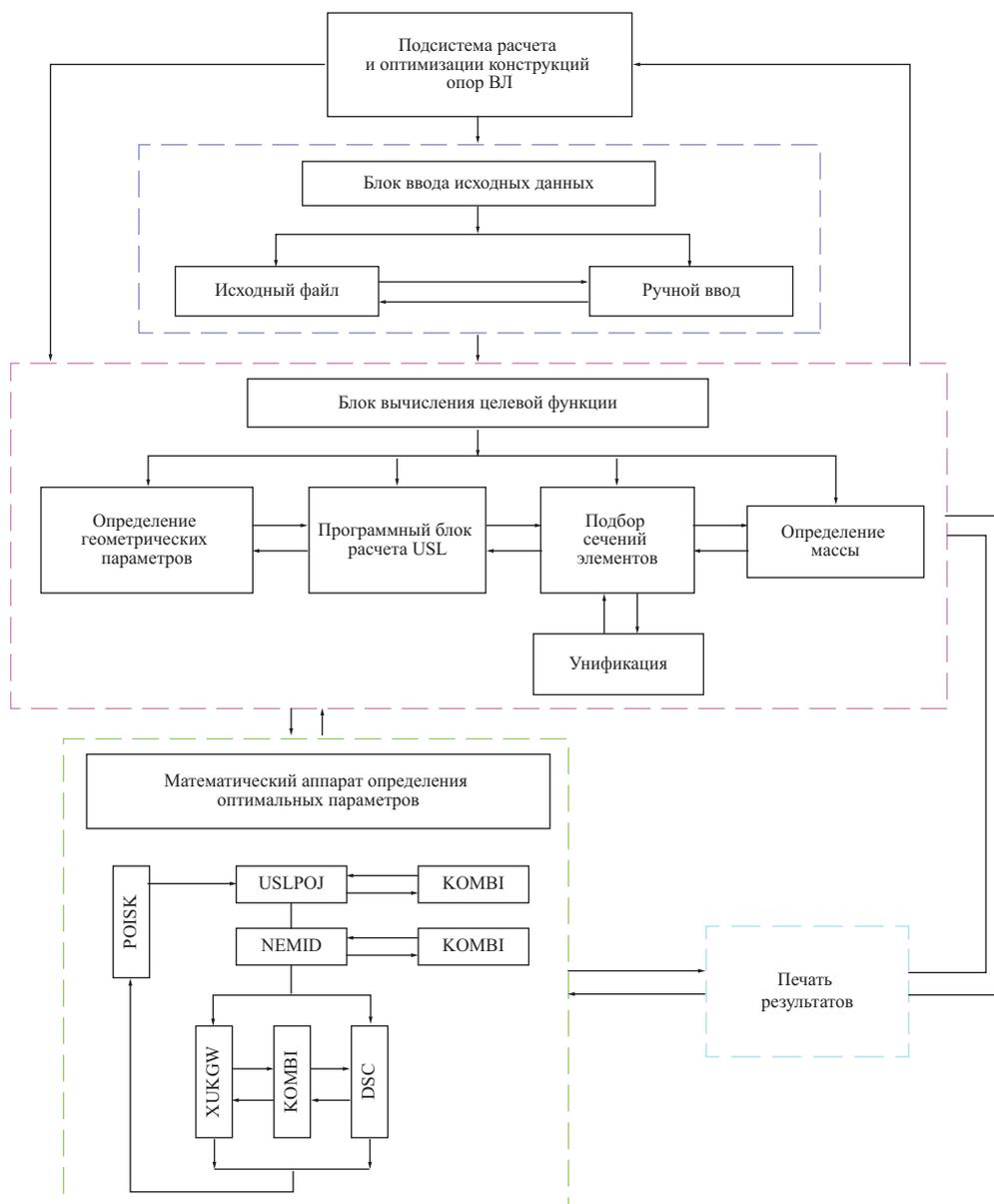


Рис. 5. Алгоритм расчета конструкции опоры с учетом оптимизации

Табл. 1. Подбор сечений элементов двухцепной опоры ВЛ 35 кВ типа П-35-2

Секция	Элемент	Усилие, т		Сечение, мм	Площадь, см ²	Гибкость	Напряжения, кг/см ²		Болты	
		сжатие	растяжение				σ	R_y	Количество	Класс прочности
Тросо-стойка	Пояс	2,26	2,30	L50 × 50 × 5	4,80	155	2379	2400	1М16	4,6
Ствол верхней части	Пояс	32,65	31,43	L100 × 100 × 7	13,75	37	2932	3350	6М20	5,8
	Раскос	3,41	1,97	L40 × 40 × 4	3,08	88	2181	2400	2М12	5,8
Ствол средней части	Пояс	83,34	81,61	L160 × 160 × 10	31,43	23	3107	3150	12М24	5,8
	Раскос	3,40	3,40	L40 × 40 × 4	3,08	82	2051	2400	2М12	5,8

Окончание табл. 1

Секция	Элемент	Усилие, т		Сечение, мм	Площадь, см ²	Гибкость	Напряжения, кг/см ²		Болты	
		сжатие	растяжение				σ	R_y	Количество	Класс прочности
Ствол нижней части	Пояс	98,08	96,24	$L200 \times 200 \times 12$	47,10	20	2440	3150	8М30	5,8
	Раскос	3,40	3,09	$L40 \times 40 \times 4$	3,08	87	2166	2400	2М12	5,8
Траверса 1	Тяга	0,13	0,82	$L40 \times 40 \times 4$	3,08	158	357	2400	1М12	5,8
	Пояс	0,87	0,21	$L40 \times 40 \times 4$	3,08	93	632	2400	1М12	5,8
	Раскос	0,13	0,13	$L40 \times 40 \times 4$	3,08	80	83	2400	1М12	5,8
Траверса 2	Тяга	0,0	1,09	$L40 \times 40 \times 4$	3,08	158	829	2400	1М12	5,8
	Пояс	3,73	2,52	$L45 \times 45 \times 4$	3,48	88	2260	2400	2М12	5,8
	Раскос	0,82	0,61	$L40 \times 40 \times 4$	3,08	102	659	2400	1М12	5,8
Диафрагмы	Раскос	2,17	2,17	$L40 \times 40 \times 4$	3,08	101	1730	2400	1М12	5,8
	Распорка	3,00	3,00	$L40 \times 40 \times 4$	3,08	71	1728	2400	2М12	5,8
Консоли	Пояс	0,96	0,96	$L63 \times 63 \times 5$	6,13	120	1917	2400	1М12	4,6

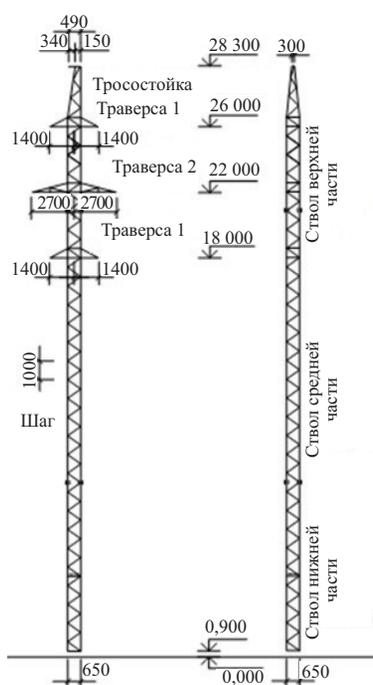


Рис. 6. Промежуточная башенная двухцепная опора ВЛ 35 кВ

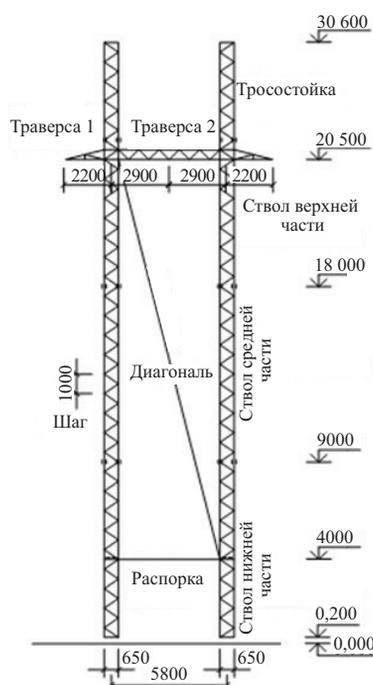


Рис. 7. Анкерно-угловая порталная одноцепная опора ВЛ 110 кВ

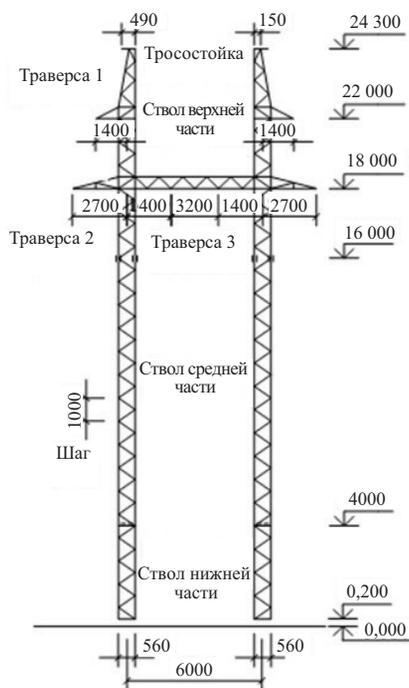


Рис. 8. Промежуточная порталная двухцепная опора ВЛ 35 кВ

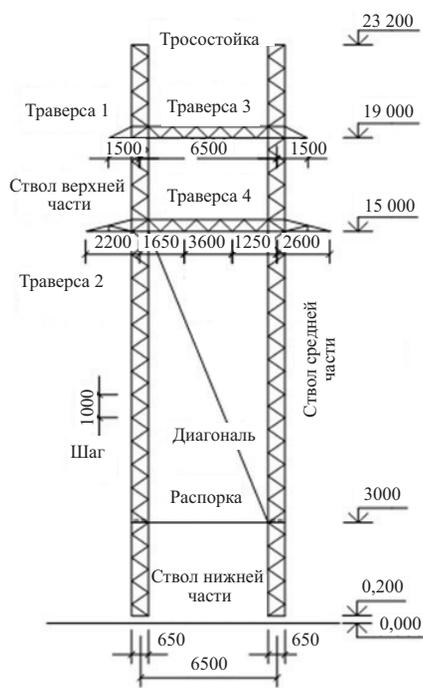


Рис. 9. Анкерно-угловая порталная двухцепная опора ВЛ 35 кВ

Табл. 2. Массы запроектированных одноцепных и порталных опор ВЛ 35 и 110 кВ

Тип опоры	Одноцепная опора			Портальная опора		
	Шифр	Высота, м	Масса, кг	Шифр	Высота, м	Масса, кг
Промежуточная одноцепная напряжением 35 кВ	П-35-1	24,1	1719	–	–	–
Анкерно-угловая одноцепная напряжением 35 кВ	АУ-35-1	22,5	3421	ПАУ-35-1	19,0	4115
Промежуточная двухцепная напряжением 35 кВ	П-35-2	27,4	3755	ПП-35-2	24,1	3932
Анкерно-угловая двухцепная напряжением 35 кВ	АУ-35-2	26,7	6193	ПАУ-35-2	23,0	6493
Промежуточная одноцепная напряжением 110 кВ	П-110-1	32,0	3879	ПП-110-1	26,5	3235
Анкерно-угловая одноцепная напряжением 110 кВ	АУ-110-1	34,1	8430	ПАУ-110-1	30,4	9376

портального типа (ПАУ-35-1, ПП-35-2, ПАУ-35-2, ПП-110-1, ПАУ-110-1).

Массы запроектированных башенных и порталных опор одноцепных и двухцепных опор ВЛ 35 и 110 кВ приведены в табл. 2. Массы опор определялись с учетом вспомогательных деталей и метизов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработаны оптимальные конструктивные формы узкобазых опор по области определения ВЛ 35 и 110 кВ. Запроектированные узкобазые опо-

ры соответствуют отечественным нормам проектирования, технологичны в изготовлении, монтаже и эксплуатации.

На основе предложенного численного метода оптимизации, при котором геометрические размеры и топология опор, а также параметры массы, трудоемкости и стоимости оптимизируются одновременно, дополнительно снижены показатели массы и стоимости узкобазых опор до 20 %.

По результатам проведенных исследований определены рациональные области применения оптимальных узкобазых опор порталного и башен-

ного типов. Портальные свободстоящие опоры с подкрепляющими диагоналями и без них рациональны в анкерно-угловых опорах напряжением 110 кВ, особенно при больших нагрузках из плоскости и значительных перепадах рельефа местно-

сти, а также в промежуточных опорах напряжением 110 кВ при высоте опор до 27 м. На воздушных линиях напряжением 35 кВ применение порталных свободстоящих опор дает положительный эффект только для промежуточных опор высотой до 20 м.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи. Л. : Энергия, 1979. 312 с.
2. Golikov A., Gubanov V., Garanzha I. Atypical structural systems for mobile communication towers // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. P. 052010. DOI: 10.1088/1757-899X/365/5/052010
3. Шевченко Е.В. Анализ критериев устойчивости решетчатых башенных опор ВЛ // Вестник ДонНАСА. 2013. № 13 (4). С. 101–114.
4. Shapovalov S.N., Udod E.I. Increase of reliability and durability of electric grid structures. Kiev : Buildings, 2017. P. 434.
5. Ведяков И.И., Еремеев П.Г., Соловьев Д.В. Научно-техническое сопровождение и нормативные требования при реализации проектов зданий и сооружений повышенного уровня ответственности // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 12. С. 14–19. EDN VRJMYQ.
6. Назим Я.В. Особенности проектирования и расчета конструкций переходных опор ВЛ // Современное промышленное и гражданское строительство. 2019. № 11 (3). С. 38–49.
7. Миронов А.Н., Шевченко Е.В. Проблемы устойчивости стержней башенных решетчатых опор воздушных линий электропередачи // Вестник ДонНАСА. 2017. № 3 (113). С. 11–24.
8. Танасогло А.В., Гаранжа И.М., Федорова С.Р. Мониторинг одноствоечных свободстоящих опор воздушных линий электропередачи при действии ветровых нагрузок // Жилищное строительство. 2023. № 12. С. 73–78. DOI: 10.31659/0044-4472-2023-12-73-78. EDN ZSSEHX.
9. Сенькин Н.А., Филмонов А.С. Взаимодействие конструктивных элементов в линейной цепи воздушной линии электропередачи // Жилищное строительство. 2024. № 1–2. С. 101–108. DOI: 10.31659/0044-4472-2024-1-2-101-108. EDN SCMQKH.
10. Ефимов Е.Н., Тимашова Л.В., Ясинская Н.В. Причины и характер повреждаемости компонентов воздушных линий электропередачи напряжением 110–750 кВ в 1997–2007 гг. // Энергия единой сети. 2012. № 5 (5). С. 32–41. EDN VXCBYN.
11. Shevchenko Ye., Nazim Ya., Tanasoglo A., Garanzha I. Refinement of Wind Loads on Lattice Support Structures of the Intersystem Overhead Power Transmission Lines 750kV // Procedia Engineering. 2015. Vol. 117. Pp. 1028–1035. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.225
12. Khawaja A.H., Huang Q., Khan Z.H. Monitoring of Overhead Transmission Lines : a Review from the Perspective of Contactless Technologies // Sensing and Imaging. 2017. Vol. 18. Issue 1. DOI: 10.1007/s11220-017-0172-9
13. Ohsaki M. Optimization of Finite Dimensional Structures. Tokyo : CRC Press Taylor & Francis Group, 2019. 221 p.
14. A.S.C.E Design of Latticed Steel Transmission Structures. New York : A.S.C.E, 2021. 98 p.
15. Bazant Z.P., Cedolin L. Stability of structures. New York : Oxford University Press, 2010. 1011 p. DOI: 10.1142/9789814317047
16. Coskun S.B. Advances in computational stability analysis. Rijeka : InTech, 2018. 132 p.
17. Winterstetter T., Schmidt H. Stability of circular cylindrical steel shells under combined loading // Thin-Walled Structures. 2002. Vol. 40. Issue 10. Pp. 893–910. DOI: 10.1016/S0263-8231(02)00006-X
18. Yoo C.H., Lee S.C. Stability of structures — principles and applications. New York : Elsevier Academic Press, 2017. 529 p.
19. Yang B. Stress, strain, and structural dynamics : an interactive handbook of formulas, solutions, and MATLAB Toolboxes. Cambridge : Elsevier Academic Press, 2020. 314 p.
20. Горохов Е.В., Васылев В.Н. Силовые испытания устойчивости фрагментов опор ВЛ 330кВ // Современное промышленное и гражданское строительство. 2019. Т. 15. № 3. С. 53–62.
21. Назим Я.В., Горохов Е.В. Оптимизация решетки опор ВЛ по критерию устойчивости стержней // Металлические конструкции. 2017. № 21 (2). С. 20–36.
22. Саливон Ю.И., Бакаев С.Н. Алгоритм мониторинга технического состояния решетчатых опор высоковольтных линий электропередачи // Металлические конструкции. 2018. № 18 (2). С. 135–149.
23. Kondrateva O.E., Voronkova E.M., Loktionov O.A. Impact assessment of weather and climate events on overhead transmission lines reliability with voltages up to 110–220 kV // 2021 3rd International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). 2021. Pp. 1–6. DOI: 10.1109/REEPE51337.2021.9388054
24. Сенькин Н.А. Учет прогрессирующего обрушения при проектировании опор воздушных линий электропередачи // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 4 (93). С. 37–46. DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-4-37-46. EDN MXCQXB.

Поступила в редакцию 2 октября 2024 г.

Принята в доработанном виде 14 октября 2024 г.

Одобрена для публикации 15 октября 2024 г.

О Б А В Т О Р А Х: **Антон Владимирович Танасогло** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 1213498, Scopus: 56826221800, ResearcherID: JFA-6248-2023, ORCID: 0000-0002-1825-2738; a.v.tan@mail.ru;

Игорь Михайлович Гаранжа — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 564746, Scopus: 56437725200, ResearcherID: AAD-8595-2022, ORCID: 0000-0002-6687-7249; garigo@mail.ru;

Анатолий Николаевич Оржеховский — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теоретической и прикладной механики; **Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (ДОННАСА);** 86123, г. Макеевка, ДНР, ул. Державина, д. 22; РИНЦ ID: 968202, Scopus: 57214804876, ResearcherID: AAP-3799-2021, ORCID: 0000-0002-9332-3807; aorzhehovskiy@bk.ru;

Милена Михайловна Писарева — студентка; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; milena.pisareva.02@bk.ru.

Вклад авторов:

Танасогло А.В. — идея, концепция исследования, написание исходного текста, обработка материала, итоговые выводы.

Гаранжа И.М. — идея, концепция исследования, написание исходного текста, обработка материала, итоговые выводы.

Оржеховский А.Н. — идея, концепция исследования, написание исходного текста, обработка материала, итоговые выводы.

Писарева М.М. — концепция исследования, написание исходного текста, итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

Every year the amount of electricity transmitted in high-voltage electrical networks increases. This requires the involvement of huge material and labour resources not only in the energy sector, but also in other industries [1–3].

The development of electrical networks directly depends on the cost of overhead transmission line (OHPL) structures. Therefore, all possible ways to reduce the metal intensity and increase the efficiency of power grid construction by improving technical solutions should be implemented [2, 4, 5].

To obtain a guarantee of uninterrupted and efficient operation of an overhead line as a unified system it is necessary, first of all, to specify static and dynamic loads and impacts in order to assess the bearing capacity at design and operation; search, development and testing of new optimal solutions of overhead line supports using solid-state modelling; integrated approach to the design of the network as a unified structural system on the basis of taking into account the requirements of manufacturing, installation and operation; reconstruction of the existing high voltage transmission lines; and reconstruction of the existing high voltage transmission lines.

Up to now, overhead line design has been reduced mainly to the survey and arrangement of standard sup-

ports. The last developments of new unified supports were completed by the Institute “Energosetproekt” in the 1980s, and then in an extremely limited assortment. At the same time, as experience shows, the validity period of unification is about 20 years, after which the adopted technical solutions become obsolete. To overcome these problems, it is necessary to revise many approaches and views.

The aim of the research is to search for the optimal structural form of steel narrow-base tower and portal supports of 35 and 110 kV overhead power lines.

To achieve the set goal the following tasks have been solved:

- the stress-strain state (SSS) of an overhead line as an integral system was analyzed, where all key elements — current-carrying wires, lightning rods, insulator garlands, supports, foundations and ground base — work together;
- new optimal structural forms of steel narrow-base supports of increased reliability instead of reinforced concrete ones for overhead lines in the area of definition have been developed;
- rational areas of application of narrow-base tower and portal supports as anchor-corner and intermediate supports for overhead lines of 35 and 110 kV have been established.

The subject of research in this work are the VAT parameters of steel narrow-base lattice supports elements,

the structural solution of which is obtained by optimization of typical solutions.

As an object of the research the designs of steel single-unit narrow-base and portal supports for overhead lines of 35 and 110 kV voltage class are considered.

MATERIALS AND METHODS

Statistical processing of information on operation, accidents and failures of overhead line supports and portals of open switchgears (SWYD) in power systems of the Russian Federation was performed to assess the operational condition of power grid structures. The source of information were the maps of overhead

line failures for 1991–2021 contained in the card file of ORGRES (Moscow). The results of statistical analysis of failures are shown in Fig. 1.

More than a half of pylon failures are caused by the action of ice and wind loads on wires, lightning protection cables and structures. In many respects, this is a consequence of the lack of reliable information on the nature and magnitudes of dynamic loads on the elements of overhead lines [8, 9].

Thus, the creation of new solutions of overhead line supports with a narrow base is caused by the need to develop rational by cost criterion forms of steel tower supports with increased reliability (failure-free) indica-

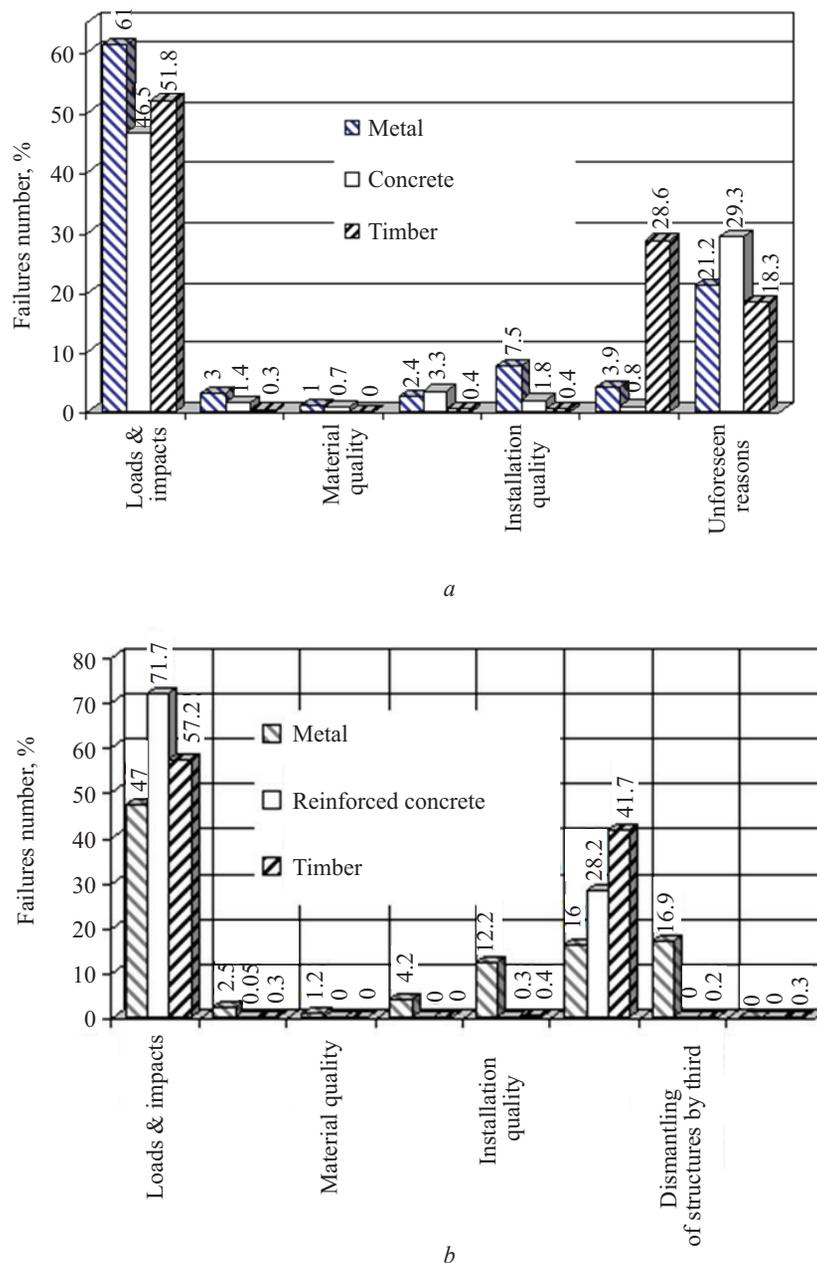


Fig. 1. Structure of failures of overhead transmission line towers in the Russian Federation: *a* — for the period 1991–2021; *b* — for the period 2001–2021

tors instead of reinforced concrete ones due to periodic accidents on power grids.

Positive long-term experience of operation of narrow-base supports on single-circuit 35 kV overhead lines and double-circuit 110 kV overhead lines on the territory of the Republic of Crimea with characteristic difficult terrain conditions confirms the need and validity of considering the possibilities of developing a standard series of intermediate and anchor-corner single-circuit and double-circuit narrow-base steel supports for 35 and 110 kV lines instead of the used reinforced concrete unified ones, which do not work well under emergency loads and led to mass accidents in 2009–2010 [10–12].

The paper presents the results of theoretical analysis of the possibility of using new solutions (types) of single and double-circuit supports for 35 and 110 kV overhead power lines. In the process of research six types of single-cell tower-type supports were considered: P-35-1, AU-35-1, P-35-2, AU-35-2, P-110-1, AU-110-1 and five types of portal supports: PAU-35-1, PP-35-2, PAU-35-2, PP-110-1, PAU-110-1. Schemes of lattice single column and portal supports are shown in Fig. 2, 3.

Single-barrel tower supports of constant square cross-section and double-barrel gantry supports with constant square cross-section shafts with and without reinforcing diagonals and struts were investigated. The analysis of the calculation results confirmed the assumption that the appearance of additional elements in the structural system of the support (in the form of diago-

nals and struts) is justified: the bending forces of the portal support elements are significantly reduced.

When studying tower single column and gantry supports with diagonals and struts by weight, normal, emergency and installation modes of operation were taken into account for anchored sections with overhead line rotation angles from 0 to 60°.

The key requirement for creating new solutions of overhead line supports with regard to ensuring the reliability of line operation is strict compliance not only with the key technological requirements, but also with the aspects of design and construction.

The following assumptions are made when designing for the investigated types of supports: the material works elastically; lightning protection ropes are fixed to the tops of the supports, and the insulator garlands, on which the current-carrying wires are suspended, deflecting, remain straight; the work of wires and ropes when finding the stresses in them is identified with the work of hollow threads; when determining the bending deformations the trunk of the support is represented as an elastically pinched cantilever.

In the emergency mode, the supports are subjected to a concentrated force generated by the wire breakage and a uniformly distributed load from the weight of wires and cables. After loading, the equilibrium of the system in the deformed state will occur when

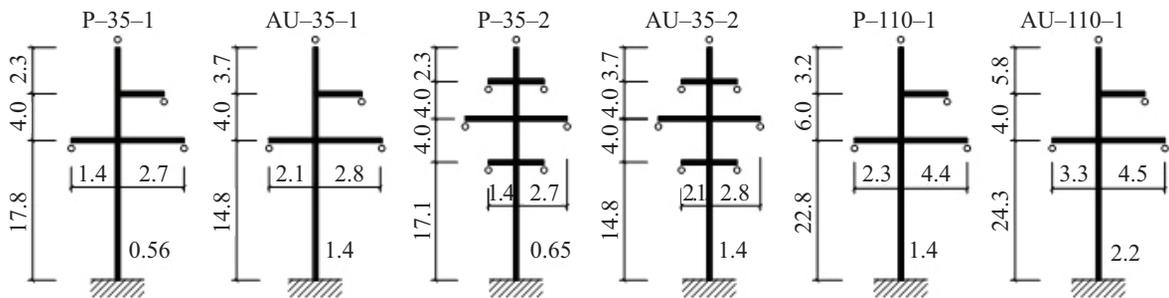


Fig. 2. Schemes of steel single column supports of 35 and 110 kV overhead power lines

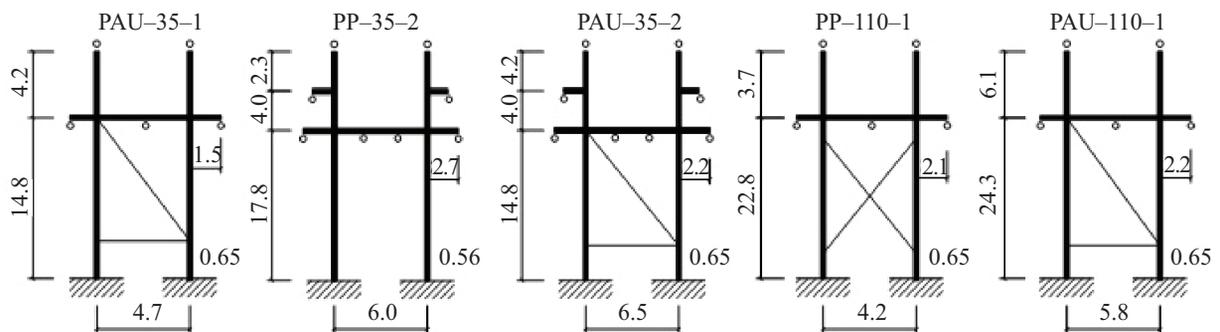


Fig. 3. Schemes of steel portal supports of 35 and 110 kV overhead power lines

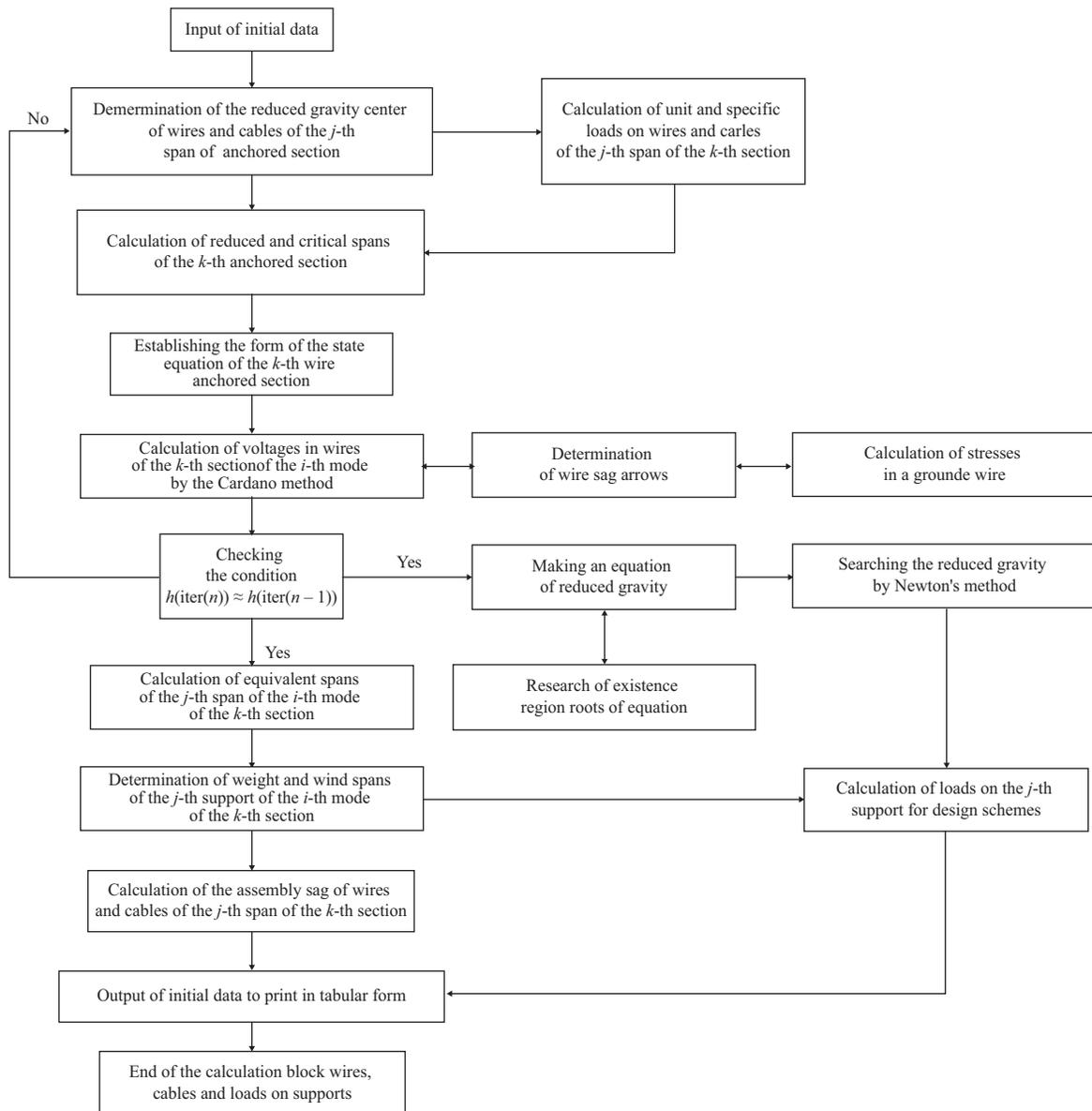


Fig. 4. Block diagram of determining the VAT parameters for lightning protection cables, current-carrying wires, as well as loads on the support structures

the deformations of wires and cables are equal to the deformations of the support structures¹ [11, 13, 14].

The determination of stresses and load-bearing capacity of the support elements were established in the subsystem for calculation and optimization of load-bearing metal structures of supports as part of the unified network [15–17].

To determine the loads on the anchor-corner supports, normal and emergency modes of overhead line operation were considered according to Ch. 2.5 of PUE 7. In the calculations nine loads were accepted:

1) normal mode — wires and cables are not broken and free from ice; wind is directed along the axes of traverses from left to right;

2) normal mode — wires and cables are not broken and are covered with ice; wind is directed along the traverse axes from left to right;

3) normal mode — end support: wires and cables are not broken and free of ice; wind is directed along the traverse axes from left to right;

4) emergency mode — broken wire in the lower right phase; ice without wind; pulling from left to right;

5) emergency mode — broken wire in the right middle phase; ice without wind; pulling from left to right;

6) emergency mode — broken wire in the right upper phase; ice without wind; pulling from left to right;

7) emergency mode — end support: broken wire in the lower right phase; ice without wind; pulling from left to right;

8) emergency mode — end support: broken wire in the right middle phase; ice without wind;

¹ IEC 60826. Design criteria of overhead transmission lines (international standard). Geneva, IEC, 2022; 87.

9) emergency mode — end support: broken wire in the right upper phase; ice without wind.

Calculated operating modes were accepted for straight sections of the overhead line route and at line rotation angles up to 60° with the difference of pulls in wires and cables in adjacent spans.

To determine the loads on intermediate supports, normal and emergency modes were also considered. Intermediate supports were calculated under five loads according to Ch. 2.5 of PUE 7:

- 1) normal wind conditions — wind across the overhead line;
- 2) normal wind conditions — wind at an angle of 45° to the overhead line;
- 3) normal icing mode — wind at icing;
- 4) emergency mode — wire breakage of one phase in the overall span;

5) emergency mode — cable breakage in the overall span.

The calculation of the overhead line support with determination of internal force factors in the structural elements and selection of cross-sections taking into account the regulatory restrictions and design requirements was performed in the software package developed at the Department of Metal and Wooden Structures of the National Research University of Moscow State University. The complex includes: a subsystem for calculation of wires, cables and collection of loads on supports; a subsystem for calculation and optimization of bearing metal structures of supports as part of a single network; subsystem for automated design of metal structures of overhead line supports [10, 18, 19].

The block diagram of establishing the VAT parameters for lightning protection cables, current-carrying

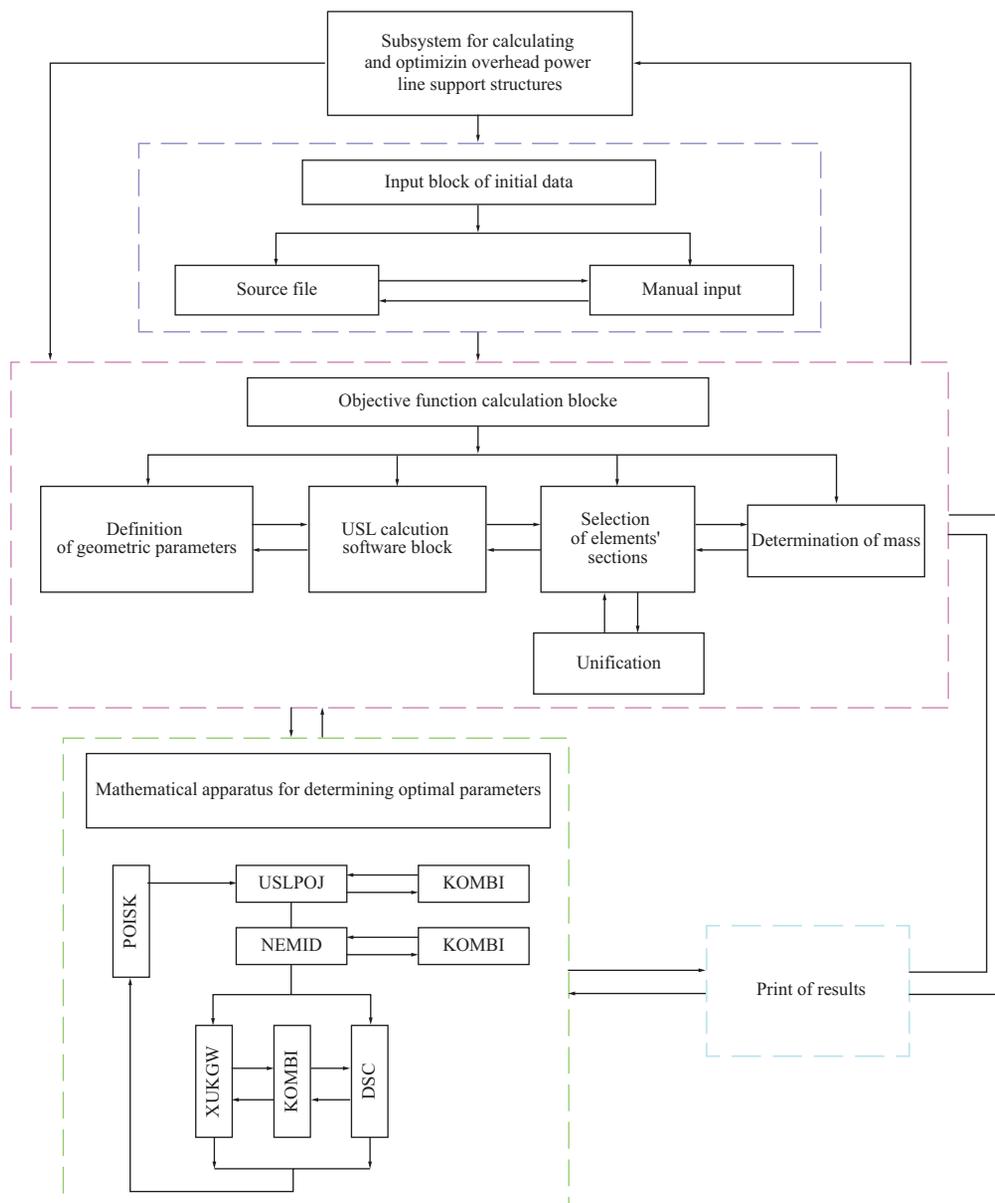


Fig. 5. Algorithm for calculating the design of the support taking into account optimization

conductors, as well as loads on the support structures is shown in Fig. 4.

As a result of realization of the algorithm of calculation of conductors, lightning ropes and loads on the lattice structure we get a file of initial data for further calculation of narrow-base tower or portal type support.

RESEARCH RESULTS

Parameters of structures of high-voltage power lines are determined by a large number of various requirements: observance of electrical dimensions between wires, cables and supports, taking into account the factor of unification, staggered change of sizes of rolled product assortment [18, 20–22].

The problem of optimal overhead line design is formulated as follows: to find geometrical parameters of the network with varying system coordinates and topology at given cross-sections with minimization of mass (1) while satisfying normative constraints (2)–(4) and requirements (5), (6).

Optimization of the geometrical parameters of the support with correction of the lattice type is performed by a combinatorial algorithm using the method of directed descent.

Determination of the minimum of the target function is an essentially nonlinear discrete problem in establishing the optimal geometric parameters, since the number of varying parameters is large [23, 24]:

$$Z = f(H, L, b, Q, l_p, R_y, k_b, n_r), \quad (1)$$

where H, L, b, Q are the given initial parameters; H is the height of the narrow-base support; L is the span of the anchored section; b is the base of the support; Q is the vector of external load; l_p, R_y, k_b, n_r are the varying parameters of the geometrical scheme; l_p is the length of the lattice panel; k_b is the number of bolts in the nodes; n_r is the type of the narrow-base support lattice.

Let us write down the normative constraints satisfied by the target mass function (1):

- bearing capacity of compressed and tensile elements, respectively:

$$N_i \leq A_i \cdot R_{yi} \cdot \varphi_i, \quad (2)$$

$$N_i \leq A_i \cdot R_{yi},$$

where N_i — longitudinal force in the i -th structural element; R_{yi}, A_i, φ_i — respectively design resistance, cross-sectional area and stability factor (longitudinal bending) of each i -th element;

- condition on the minimum cross-sectional area of the support element:

$$A_i \geq [A_i], \quad (3)$$

where $[A_i]$ is the minimum permissible area of the i -th element according to the criteria of ultimate flexibility or structural requirements;

- values of unknowns:

$$J_i \geq X_i \geq j_i, \quad (4)$$

where J_i and j_i are the upper and lower bounds of variability of the varied parameters.

Basic conditions satisfied by the vector of varying parameters (1):

- equilibrium condition:

$$k(x) \cdot \beta - P(x) = 0, \quad (5)$$

where $k(x)$ is the stiffness matrix of the system; β is the vector of nodal displacements; $P(x)$ is the vector of external loads;

- joint deformation condition:

$$\Delta L_{N_i}(N_i, A_i, l_i) = \Delta L_i(\Delta x, \Delta y, \Delta z), \quad (6)$$

where ΔL_{N_i} and ΔL_i are the deformation of the i -th and $i + 1$ elements, respectively.

The algorithm of optimal design with selection of element cross-sections and determination of the mass of the overhead line support is shown in Fig. 5.

The vector of varying parameters is calculated in the following sequence: static calculation is performed for normal, emergency and installation modes of operation of the narrow-base support; for each mode the forces and stresses in the support elements are determined; the cross-sections are selected according to the design forces and the stresses and flexibility of the elements are checked; the narrow-base support is recalculated taking into account the specified stiffnesses of the elements; the mass of individual elements and the whole structure is calculated.

The results of selection of cross-sections of the representative support shown in Fig. 6, are given in Table 1.

Table 1. Selection of cross-sections of elements of the double-circuit 35 kV overhead line support of P-35-2 type

Section	Element	Force, t		Section, mm	Area, cm ²	Flexibility	Stresses, kg/cm ²		Bolts	
		compression	stretching				σ	R_y	Quantity	Strength class
Ground wire peak	Belt	2.26	2.30	L50 × 50 × 5	4.80	155	2,379	2,400	1M16	4.6

Section	Element	Force, t		Section, mm	Area, cm ²	Flexibility	Stresses, kg/cm ²		Bolts	
		compression	stretching				σ	R_y	Quantity	Strength class
Barrel upper part	Belt Strut	32.65	31.43	$L100 \times 100 \times 7$	13.75	37	2,932	3,350	6M20	5.8
		3.41	1.97	$L40 \times 40 \times 4$	3.08	88	2,181	2,400	2M12	5.8
Barrel centre section	Belt Strut	83.34	81.61	$L160 \times 160 \times 10$	31.43	23	3,107	3,150	12M24	5.8
		3.40	3.40	$L40 \times 40 \times 4$	3.08	82	2,051	2,400	2M12	5.8
Barrel lower part	Belt Strut	98.08	96.24	$L200 \times 200 \times 12$	47.10	20	2,440	3,150	8M30	5.8
		3.40	3.09	$L40 \times 40 \times 4$	3.08	87	2,166	2,400	2M12	5.8
Traversa 1	Traction	0.13	0.82	$L40 \times 40 \times 4$	3.08	158	357	2,400	1M12	5.8
	Belt	0.87	0.21	$L40 \times 40 \times 4$	3.08	93	632	2,400	1M12	5.8
	Strut	0.13	0.13	$L40 \times 40 \times 4$	3.08	80	83	2,400	1M12	5.8
Traversa 2	Traction	0.0	1.09	$L40 \times 40 \times 4$	3.08	158	829	2,400	1M12	5.8
	Belt	3.73	2.52	$L45 \times 45 \times 4$	3.48	88	2,260	2,400	2M12	5.8
	Strut	0.82	0.61	$L40 \times 40 \times 4$	3.08	102	659	2,400	1M12	5.8
Diaphragms	Strut	2.17	2.17	$L40 \times 40 \times 4$	3.08	101	1,730	2,400	1M12	5.8
	Strut	3.00	3.00	$L40 \times 40 \times 4$	3.08	71	1,728	2,400	2M12	5.8
Consoli	Belt	0.96	0.96	$L63 \times 63 \times 5$	6.13	120	1,917	2,400	1M12	4.6

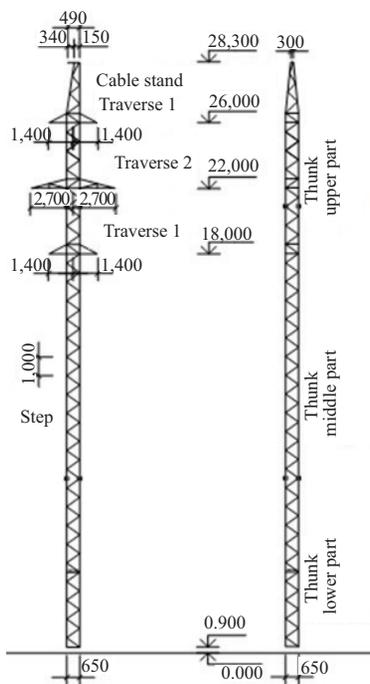


Fig. 6. Intermediate tower double-circuit support for 35 kV overhead lines

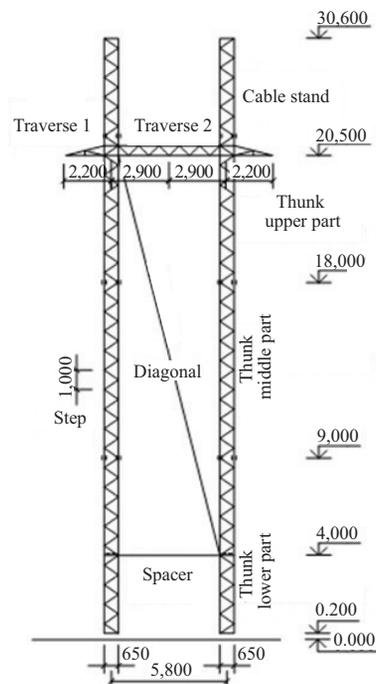


Fig. 7. Anchor-angle portal single-circuit support for 110 kV overhead lines

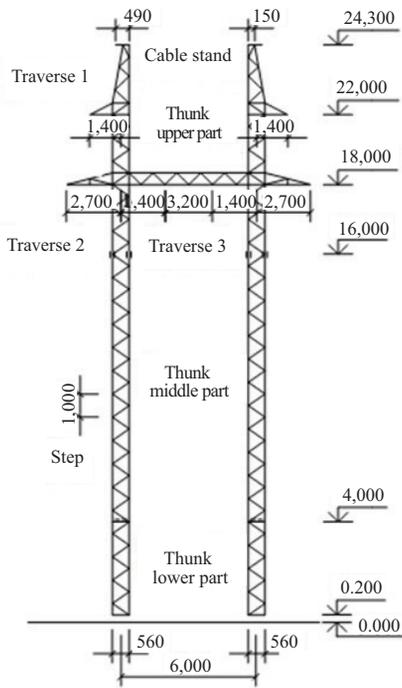


Fig. 8. Intermediate portal double-circuit support of overhead line 35 kV

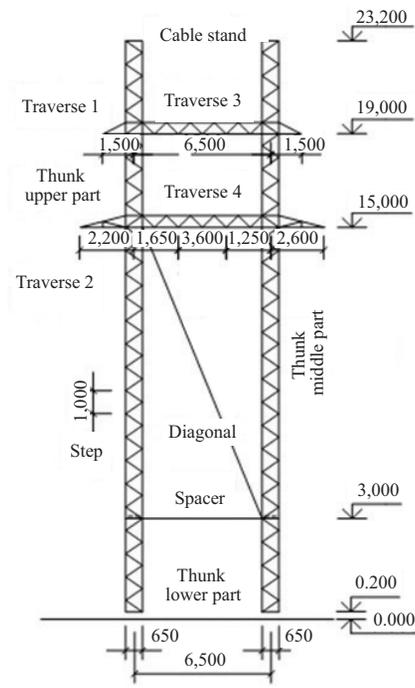


Fig. 9. Anchor-angle portal double-circuit support of overhead line 35 kV

Table 2. Masses of the designed single and portal supports of 35 and 110 kV overhead power lines

Support type	Single-post support			Portal support		
	Cipher	Height, m	Weight, kg	Cipher	Height, m	Weight, kg
Intermediate single-circuit 35 kV	P-35-1	24.1	1,719	–	–	–
Anchor-corner single-circuit 35 kV	AU-35-1	22.5	3,421	PAU-35-1	19.0	4,115
Intermediate double-circuit 35 kV	P-35-2	27.4	3,755	PP-35-2	24.1	3,932
Anchor-corner double-circuit 35 kV	AU-35-2	26.7	6,193	PAU-35-2	23.0	6,493
Intermediate single-circuit 110 kV	P-110-1	32.0	3,879	PP-110-1	26.5	3,235
Anchor-corner single-circuit 110 kV	AU-110-1	34.1	8,430	PAU-110-1	30.4	9,376

As an example, Fig. 6–9 shows some developed new lattice anchor-angle and intermediate single post and portal supports for 35 and 110 kV transmission lines.

In total eleven supports were investigated: six single tower-type supports (P-35-1, AU-35-1, P-35-2, AU-35-2, P-110-1, AU-110-1) and five gantry-type supports (PAU-35-1, PP-35-2, PAU-35-2, PP-110-1, PAU-110-1).

The masses of designed tower and portal supports of single-circuit and double-circuit supports of 35

and 110 kV overhead power lines are given in Table 2. The masses of supports were determined taking into account auxiliary parts and hardware.

CONCLUSION AND DISCUSSION

Optimum design forms of narrow-base supports according to the area of definition of 35 and 110 kV overhead power lines have been developed. The designed narrow-base supports comply with domestic design norms, are technologically advanced in manufacturing, installation and operation.

On the basis of the proposed numerical method of optimization, at which geometrical dimensions and topology of supports, and also parameters of weight, labour intensity and cost are optimized simultaneously, weight and cost parameters of narrow-base supports are additionally reduced up to 20 %.

According to the results of the conducted researches rational application areas of optimal narrow-base supports of portal and tower types are determined.

Portal free-standing supports with and without reinforcing diagonals are rational in anchor-angle supports of 110 kV voltage, especially at large loads from the plane and significant terrain relief differences, as well as in intermediate supports of 110 kV voltage at the height of supports up to 27 metres. On 35 kV overhead lines, the use of free-standing gantry supports has a positive effect only for intermediate supports up to 20 m high.

REFERENCES

1. Kryukov K.P., Novgorodtsev B.P. *Design and mechanical analysis of power transmission lines*. Lenin-grad, Energy, 1979; 312. (rus.).
2. Golikov A., Gubanov V., Garanzha I. Atypical structural systems for mobile communication towers. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*. 2018; 365:052010. DOI: 10.1088/1757-899X/365/5/052010
3. Shevchenko E.V. Analysis of stability criteria for overhead lattice tower type supports. *Bulletin of DNACEA*. 2013; 13(4):101-114. (rus.).
4. Shapovalov S.N., Udod E.I. *Increase of reliability and durability of electric grid structures*. Kiev, Buildings, 2017; 434.
5. Vedyakov I.I., Ereemeev P.G., Solovyev D.V. Scientific and technical support and standard requirements when realizing projects of buildings and structures with increased level of responsibility. *Industrial and Civil Engineering*. 2018; 12:14-19. EDN VRJMYQ. (rus.).
6. Nazim Ya.V. Features of design structures for overhead line's transition supports. *Modern Industrial and Civil Constructions*. 2019; 11(3):38-49. (rus.).
7. Mironov A.N., Shevchenko E.V. Problems of stability of tower-type overhead lattice support rods. *Bulletin of DNACEA*. 2017; 3(113):11-24. (rus.).
8. Tanasoglo A.V., Garanzha I.M., Fedorova S.R. Monitoring of single-post free-standing supports of overhead power lines under the action of wind loads. *Housing Construction*. 2023; 12:73-78. DOI: 10.31659/0044-4472-2023-12-73-78. EDN ZSSEHX. (rus.).
9. Senkin N.A., Filimonov A.S. Interaction of structural elements in the overhead transmission power line. *Housing Construction*. 2024; 1-2:101-108. DOI: 10.31659/0044-4472-2024-1-2-101-108. EDN SCMQKH. (rus.).
10. Efimov E.N., Timashova L.V., Yasinskaya N.V. Causes and nature of damage to components of overhead power transmission lines with voltage of 110–750 kV in 1997–2007. *Energy of Unified Grid*. 2012; 5(5):32-41. EDN VXCBYN. (rus.).
11. Shevchenko Ye., Nazim Ya., Tanasoglo A., Garanzha I. Refinement of Wind Loads on Lattice Support Structures of the Intersystem Overhead Power Transmission Lines 750kV. *Procedia Engineering*. 2015; 117:1028-1035. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.225
12. Khawaja A.H., Huang Q., Khan Z.H. Monitoring of Overhead Transmission Lines : a Review from the Perspective of Contactless Technologies. *Sensing and Imaging*. 2017; 18(1). DOI: 10.1007/s11220-017-0172-9
13. Ohsaki M. *Optimization of Finite Dimensional Structures*. Tokyo, CRC Press Taylor & Francis Group, 2019; 221.
14. *A.S.C.E Design of Latticed Steel Transmission Structures*. New York, A.S.C.E, 2021; 98.
15. Bazant Z.P., Cedolin L. *Stability of structures*. New York, Oxford University Press, 2010; 1011. DOI: 10.1142/9789814317047
16. Coskun S.B. *Advances in computational stability analysis*. Rijeka, InTech, 2018; 132.
17. Winterstetter T., Schmidt H. Stability of circular cylindrical steel shells under combined loading. *Thin-Walled Structures*. 2002; 40(10):893-910. DOI: 10.1016/S0263-8231(02)00006-X
18. Yoo C.H., Lee S.C. *Stability of structures — principles and applications*. New York, Elsevier Academic Press, 2017; 529.
19. Yang B. *Stress, strain, and structural dynamics : an interactive handbook of formulas, solutions, and MATLAB Toolboxes*. Cambridge, Elsevier Academic Press, 2020; 314.
20. Gorokhov E.V., Vasilev V.N. Strength tests of stability for fragments of tower supports of 330 kV overhead lines. *Modern Industrial and Civil Constructions*. 2019; 15(3):53-62. (rus.).
21. Nazim Ya.V., Gorokhov E.V. The grid optimization of overhead line supports according to the criterion of rod stability. *Metal Constructions*. 2017; 21(2):20-36. (rus.).
22. Vasilev V.N., Salivon Yu.I., Bakaev S.N. Algorithm for monitoring the technical condition of lattice steel supports of high-voltage overhead transmission lines. *Metal Constructions*. 2018; 18(2):135-149. (rus.).
23. Kondrateva O.E., Voronkova E.M., Loktionov O.A. Impact assessment of weather and climate

events on overhead transmission lines reliability with voltages up to 110–220 kV. *2021 3rd International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)*. 2021; 1-6. DOI: 10.1109/REEPE51337.2021.9388054

24. Senkin N.A. Consideration of progressive collapse in the design of overhead power transmission line supports. *Bulletin of Civil Engineers*. 2022; 4(93):37-46. DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-4-37-46. EDN MXCQXB. (rus.).

Received October 2, 2024.

Adopted in revised form on October 14, 2024.

Approved for publication on October 15, 2024.

B I O N O T E S: **Anton V. Tanasoglo** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Metal and Wooden Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 1213498, Scopus: 56826221800, ResearcherID: JFA-6248-2023, ORCID: 0000-0002-1825-2738; a.v.tan@mail.ru;

Igor M. Garanzha — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Metal and Wooden Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 564746, Scopus: 56437725200, ResearcherID: AAD-8595-2022, ORCID: 0000-0002-6687-7249; garigo@mail.ru;

Anatoliy N. Orzhekhovskiy — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Theoretical and Applied Mechanics; **Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture**; 22 Derzhavina st., Makeevka, 86123, DPR, Russian Federation; ID RSCI: 968202, Scopus: 57214804876, ResearcherID: AAP-3799-2021, ORCID: 0000-0002-9332-3807; aorzhehovskiy@bk.ru;

Milena M. Pisareva — student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; milena.pisareva.02@bk.ru.

Contribution of the authors:

Anton V. Tanasoglo — idea, research concept, writing of the article, data gathering and processing, scientific editing of the text, conclusions.

Igor M. Garanzha — idea, research concept, writing of the article, data gathering and processing, scientific editing of the text, conclusions.

Anatoliy N. Orzhekhovskiy — idea, research concept, writing of the article, data gathering and processing, scientific editing of the text, conclusions.

Milena M. Pisareva — research concept, writing of the article, data gathering and processing, conclusions.

The authors declare that they have no conflict of interest.

Конструктивные решения, применимые для реставрации деревянных хозяйственных построек, на примере лавки купцов Глухаревых в г. Переславле-Залесском

Виталина Сергеевна Скворцова, Андрей Юрьевич Ушаков

Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Сохранение культурного наследия — актуальная задача современного общества. О его необходимости говорится и в Указе Президента РФ от 02.07.2021 № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации»: «...укрепление традиционных российских духовно-нравственных ценностей, сохранение культурного и исторического наследия народа России». Ясно и осознание российским обществом важности сохранения архитектурного культурного наследия нашей страны. Проводятся добровольные экспедиции и другие мероприятия в целях сохранения объектов культурного наследия, а также старых домов, не входящих в этот реестр. Изучение лавки купцов Глухаревых является частью историко-архитектурного исследования Рыбацкой слободы в г. Переславле-Залесском. В этом месте все еще сохранен исторический облик, а также особенности, связанные с исторически сложившейся промысловой специализацией слободы. Исследование посвящено одной из старых хозяйственных построек слободы — торговой лавке. Этот объект — редкая ценная постройка. Она в аварийном состоянии и требует срочного вмешательства специалистов. Рассмотрены методы, применимые для реставрации деревянных хозяйственных построек. Оценена возможность использования каждого метода для лавки купцов Глухаревых, а также предложены проектные решения конструкций и определено наиболее рациональное решение. Выбор метода реставрации определяет продолжительность, трудозатраты, экономические затраты на проведение работ и зависит главным образом от состояния постройки, а также от ее охранного статуса.

Материалы и методы. Проанализированы старые дома Рыбацкой слободы, архивные источники, научные труды, нормативные документы. Выполнено натурное исследование постройки, в ходе которого сделаны обмеры, фотофиксация, оценено состояние конструкций, проведен их расчет.

Результаты. Исследованы варианты усиления конструкций кровли лавки и подобраны сечения конструкций для самого оптимального варианта.

Выводы. Самым оптимальным вариантом оказалось усиление кровли стойками и подкосами сечением 30 × 30 и 40 × 40.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: реставрация, деревянное зодчество, Переславль-Залесский, конструктивные предложения в реставрации, Рыбацкая слобода, реконструкция, расчет

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Скворцова В.С., Ушаков А.Ю. Конструктивные решения, применимые для реставрации деревянных хозяйственных построек, на примере лавки купцов Глухаревых в г. Переславле-Залесском // Строительство: наука и образование. 2025. Т. 15. Вып. 2. Ст. 3. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.3

Автор, ответственный за переписку: Андрей Юрьевич Ушаков, 903714@mail.ru.

Constructive solutions applicable for restoration of wooden household buildings on the example of the shop of the Glukharev merchants in Pereslavl-Zalesky

Vitalina S. Skvortsova, Andrey Yu. Ushakov

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Preservation of cultural heritage is an urgent task of modern society. Its necessity is also stated in the Decree of the President of the Russian Federation dated 02.07.2021 № 400 “The National Security Strategy of the Russian Federation”: “...strengthening of traditional Russian spiritual and moral values, preservation of cultural and historical heritage of the people of Russia”. It is also clear that Russian society is aware of the importance of preserving the architectural cultural heritage of our country. Voluntary expeditions and other activities are carried out in order to preserve cultural heritage objects, as well as old houses that are not included in the register. The research of Glukharev merchants' shop is a part of the historical and architectural research of the Rybatskaya Sloboda in Pereslavl-Zalesky. In this place the historical ap-

pearance is still preserved as well as features connected with the historically developed trade specialization of the sloboda. The research is devoted to one of the old economic buildings of the sloboda — a trading shop. This object is a rare valuable building. It is in an emergency condition and requires urgent intervention of specialists. The methods applicable to the restoration of wooden outbuildings are considered. The possibility of using each method for the shop of the Glukharev merchants is evaluated, and also design solutions of structures are proposed and the most rational solution is determined. The choice of the restoration method determines the duration, labour and economic costs of the work and depends mainly on the condition of the building and its conservation status.

Materials and methods. Old houses of Rybatskaya Sloboda, archival sources, scientific works, normative documents were analyzed. A field study of the building was carried out, in the course of which measurements were made, photo-fixation was made, the condition of the structures was assessed, and the calculation of the structures was carried out.

Results. The options for reinforcing the bench roof structures were investigated and the cross-sections of the structures were selected for the most optimal option.

Conclusions. The best option turned out to be the roof reinforcement with struts and underpinings with cross sections of 30 × 30 and 40 × 40.

KEYWORDS: restoration, wooden architecture, Pereslavl-Zalessky, constructive proposals in restoration, Rybatskaya Sloboda, reconstruction, calculation

FOR CITATION: Skvortsova V.S., Ushakov A.Yu. Constructive solutions applicable for restoration of wooden household buildings on the example of the shop of the Glukharev merchants in Pereslavl-Zalessky. *Construction: Science and Education*. 2025; 15(2):3. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.3

Corresponding author: Andrey Yu. Ushakov, 903714@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы сохранения деревянного наследия раскрыты во многих трудах российских и зарубежных научных деятелей. В статье А.Б. Бодэ рассмотрены и оценены подходы к реставрации [1–3]. Также об этом писали Е.В. Ходаковский, А.С. Щенков, М.И. Коляда [4–7]. Хауке Хауптс описал связанные с природными условиями проблемы сохранения деревянного наследия в Норвегии [8]. Ноэми Манара, Лоренцо Россет, Франческо Замбелли, Андреа Занола представили способ отслеживания микроклимата вариационных автокодеров [9]. Ученые исследуют деревянное зодчество России и в Европе, находят пути восстановления конструкций [10–16]. Об объекте статьи — лавке купцов Глухаревых были опубликованы некоторые материалы [1, 2].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Лавка купцов Глухаревых входит в состав двора купцов Глухаревых, состоящего в настоящее время из лавки и жилого дома. Двор располагается на территории исторической Рыбацкой слободы [1]. Рассматриваемая постройка не входит в реестр объектов культурного наследия, однако ранее жилой дом имел охранный статус. Историко-культурная ценность построек не была раскрыта, также не был разработан подход к реставрации и реконструкции объектов слободы. Лавка несет в себе историко-архитектурную и культурную ценности. Постройка имеет особенности, связанные с исторически сложившейся промышленной специализацией слободы.

Объект сохранился в своем первоначальном виде, никаких поздних наслоений снаружи и изнутри нет. В данном случае реставрировать постройку целесообразно, ориентируясь на ее первоначальный облик. Согласно обмерам, лавка в плане квадратная со сторонами 5, 7 м, высота лавки от уровня зем-

ли приблизительно 4 м. Такая конструкция проста для вывешивания домкратами.

Согласно «Принципам сохранения исторических деревянных построек» при работе с деревянным наследием необходимо придерживаться традиционных техник обработки дерева. Кроме того, замененная древесина должна быть из той же породы, что и подлинник, с такой же текстурой, уровнем влагосодержания¹. Используются такие технологии, как наращивание бревен по длине, установка коронок, вычинок с применением клеевых соединений [17]. Эти технологии нужны для сохранения наибольшего количества подлинного материала. Наращивание, коронки, вставки и вычинки применяются для сохранения пораженного деревянного материала. Все указанные ограничения, технологии требуются для того, чтобы сохранить и подлинный материал, и его облик. Но при этом действия не должны привести к путанице в будущем, что является подлинником, а что материалом проведенной реставрации и реконструкции.

Реконструкция и приспособление допускают внесение некоторых изменений в объекте. Так, например, для сохранения исторического облика и интерьера утепление стен на видимых поверхностях недопустимо. Однако возможно утепление чердака и пола, но только в случае обеспечения проветривания. В противном случае материал будет поражаться грибами и плесенью. Для утепления стен можно использовать традиционные методы. Исторически стены утепляли методом конопатки. Конопатили

¹ Принципы сохранения исторических деревянных построек // Международный совет по сохранению памятников и достопримечательных мест : принят 19 Генеральной Ассамблеей ИКОМОС в Индии, г. Дели, в декабре 2017 г. М. : Федеральное государственное бюджетное учреждение культуры «Государственный историко-архитектурный и этнографический музей-заповедник «Кижи», 2018.



Рис. 1. Западная стена



Рис. 2. Северная стена



Рис. 3. Восточная стена



Рис. 4. Южная стена

джутом, мхом, паклей, это позволяло устранить щели между бревнами, увеличив теплоизоляционную способность.

Предварительное обследование объекта дало понимание, какие повреждения есть в конструкци-

ях. Лавка в тяжелом аварийном состоянии. Фальцевая кровля имеет многочисленные повреждения. Часть жердей обрешетки также поражены гнилью (рис. 1–4). Средняя ферма с восточной стороны потеряла несущую способность. Имеются биопоражения стен, в том числе белым домовым грибом на нижних венцах южной стены и верхних венцах восточной стены. Бревна сруба поражены жуком. Потолок и одна из балок обрушены, часть одной балки имеет повреждения. В основном поражения на срубе локализуются в нижних венцах, под кровлей. Исключение составляет северная часть восточной стены и восточный угол южной стены, где регулярные протечки в кровле разрушили древесину по всей высоте. Кроме того, повреждения белым домовым грибом южной стены захватывают два нижних бревна. Согласно ГОСТ Р 70005–2022 следует удалять пораженный участок, захватывая один метр вокруг него. Древесина, поврежденная жуками, тоже подлежит удалению. Если заменить поврежденную древесину методом вычинки, то в результате возможны деформации сруба. В связи с этим необходимо прибегнуть к крайнему и нежелательному методу реставрации — переборке. Переборка сруба подразумевает разборку сруба с предварительной маркировкой бревен. Применение этого метода несет значительное вмешательство в подлинность конструкции. При разборке сруба бревна деформируются, из-за чего при сборке конструкции возможны утраты исторических следов от инструментов, незначительное изменение геометрии постройки. С другой стороны, при переборке постройки появляется возможность выявить повреждения, которые невозможно обнаружить при внешнем осмотре.

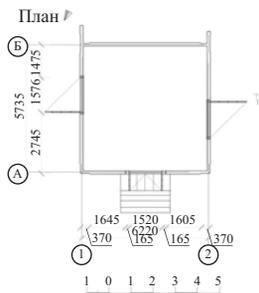


Рис. 5. Графическая реконструкция лавки, план 10



Рис. 6. Графическая реконструкция лавки, первое проектное решение 10

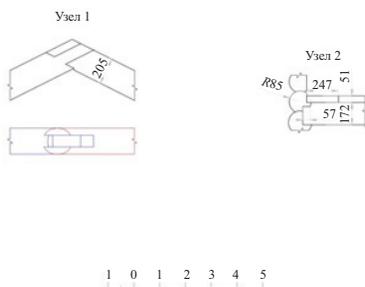


Рис. 7. Узел 1 и узел 2

Отдельно стоит обратить внимание на несохранившиеся складские помещения, которые составляли с лавкой одну постройку (рис. 5–7). Для их восстановления можно использовать в качестве примера аналоги, а также прибегнуть к архивным данным, если они есть. Кроме того, возможно применение метода археологической зачистки территории для выявления геометрии планов разрушенных построек.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Итак, метод реставрации определен — полная переборка объекта. Проект реставрации зависит и от будущего назначения лавки. Если планируется использовать объект для продолжительного пребывания людей, необходимо обеспечить теплоизоляцию и отопление.

Для обеспечения лучшей несущей способности конструкции, скрытой в интерьере, ее можно укрепить, но не повреждая подлинники. Например, возможна установка дополнительных конструкций для фермы: стоек, стяжек, подкосов. Такие решения допустимы в том случае, если имеющаяся конструкция действительно не обладает необходимой несущей способностью с целью сохранения существующего материала.

Обоснование оптимального метода усиления стропильных систем деревянной лавки

1. Основные виды усиления стропильных систем (рис. 8).

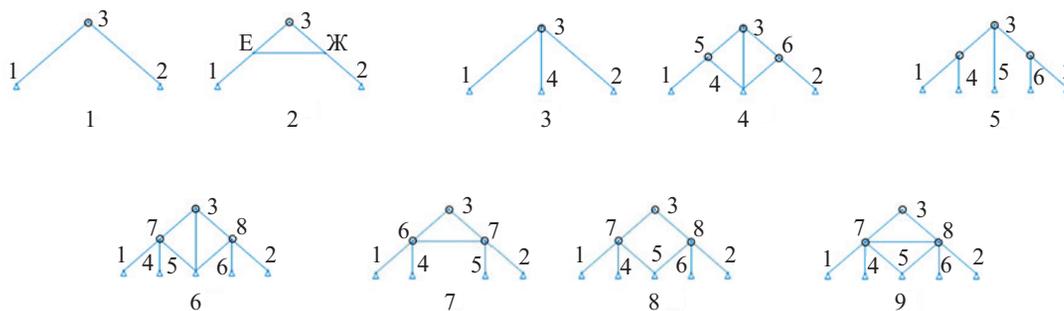


Рис. 8. Схемы стропильных систем

Опорные реакции при применении в лавке основных стропильных систем

Номер	Номер узлов	Вертикальная реакция	Горизонтальная реакция	Номер	Номер узлов	Вертикальная реакция	Горизонтальная реакция
1	А	23 047,41	+13 545,18	7	А	8765,16	+13 545,18
	Б	23 047,41	-13 545,18		Б	8765,16	-13 545,18
2	А	23 047,56	+21 784,41		Г	14 283,22	+21 784,41
	Б	23 047,56	-21 784,41		Д	14 283,22	-21 784,41
3	А	3862,51	-8851,94	8	А	9981,40	-8851,94
	Б	3862,51	+8851,94		Б	9980,09	+8851,94
	Г	38 373,55	-		Г	11 709,75	-
4	А	10 711,66	+7420,93		Д	2713,90	+7420,93
	Б	10 711,66	-7438,14	Е	11 710,58	-7438,14	
	Г	24 673,77	-	9	А	8982,38	-
5	А	5849,76	+1756,51		Б	11 707,57	+1756,51
	Б	5849,76	-1755,51		Г	4716,40	-1755,51
	Г	14 367,66	-		Д	11 709,40	-
	Д	5662,54	-		Е	8981,96	-
	Е	14 367,66	-	-	-	-	

2. Описание расчетных схем стропильных систем (табл.).

Анализ проведен методом конечных элементов в программном пакете САЕ Abaqus [18–20]:

- нагрузки: вертикальная распределенная нагрузка на поверхность стропильных ног — 5 Н/мм;
- цель — снизить поперечные реакции в опорах, распределить вертикальные реакции максимально равномерно по элементам стропильной системы;
- прочностные и деформационные характеристики берутся из СП «Деревянные конструкции»². Дерево — сосна.

3. Деформационная картина. Масштабный фактор значительно увеличен (рис. 9).

Опорные реакции показали, что оптимальным вариантом является схема под номером шесть. Она продемонстрировала наилучшие опорные реакции,

² СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80.

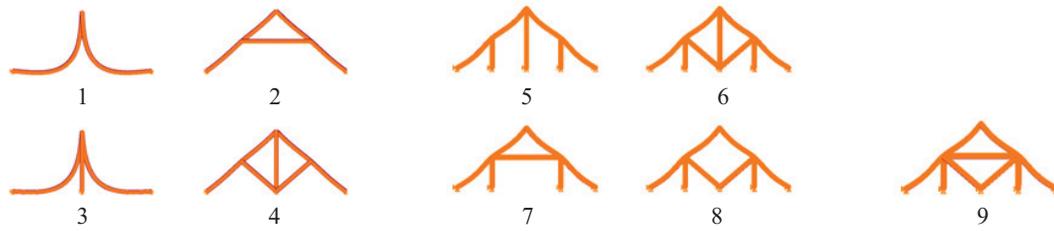


Рис. 9. Деформационная картина

которые также соответствуют требованию реставрации о сохранения интерьера.

Подбор сечения

В связи с тем, что это ценный объект, авторы используют старые технологии и материалы. В проектом решении остается кровля цинковая на жердях со стропильными фермами.

Действующие нагрузки. Снеговая нагрузка для IV снегового района — $2,0 \text{ кН/м}^2$: $200 \text{ кг/м}^2 \times 44,5 \text{ м}^2 = 8900 \text{ кг}$.

Нагрузка от веса кровли (рис. 10):

- от 29 жердей длиной 6,13 м средним диаметром 0,11 м: $0,058 \cdot 29 \cdot 470 \text{ кг/м}^2 = 790,54 \text{ кг}$;

- фальцевая кровля площадью $44,5 \text{ м}^2$: $44,5 \times 0,001 \cdot 7850 \text{ кг/м}^2 = 349,33 \text{ кг}$;

- две стропильные ноги длиной 3,58, средним диаметром 0,205 м: $0,225 \text{ м}^3/2 \cdot 470 \text{ кг/м}^2 = 211,5 \text{ кг}$.

Расчет настила ведем как балки по двухпролетной схеме. Расстояние между опорами равно шагу прогонов $l = 2,9 \text{ м}$.

Постоянная расчетная нагрузка: 9,84.

Итого, полная расчетная нагрузка: 12,64.

Количество стропильных систем — 3 шт. (рис. 11).

Нагрузка на среднюю ферму равна 40 % от всей нагрузки на стропильные фермы: $12,64 \cdot 17,8 + 2,115 \cdot 1,2 = 227,53 \text{ кг}$.

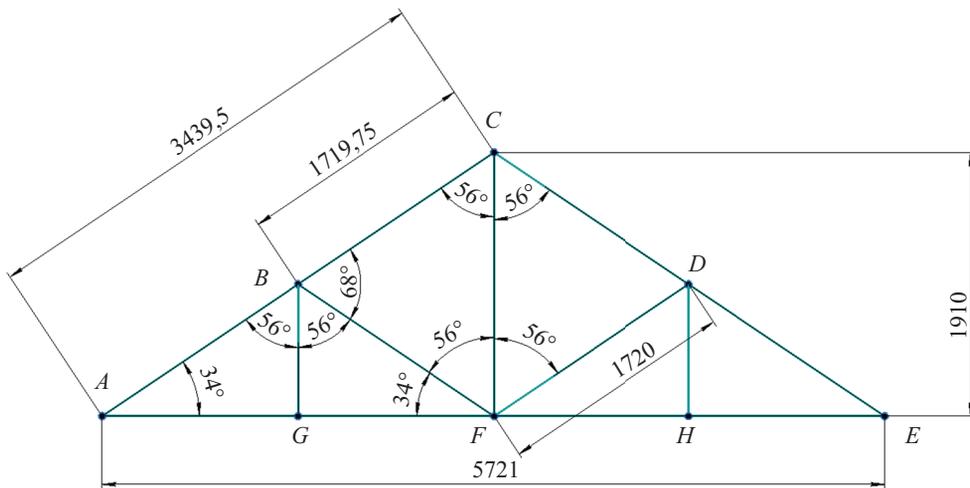


Рис. 10. Размеры стропил

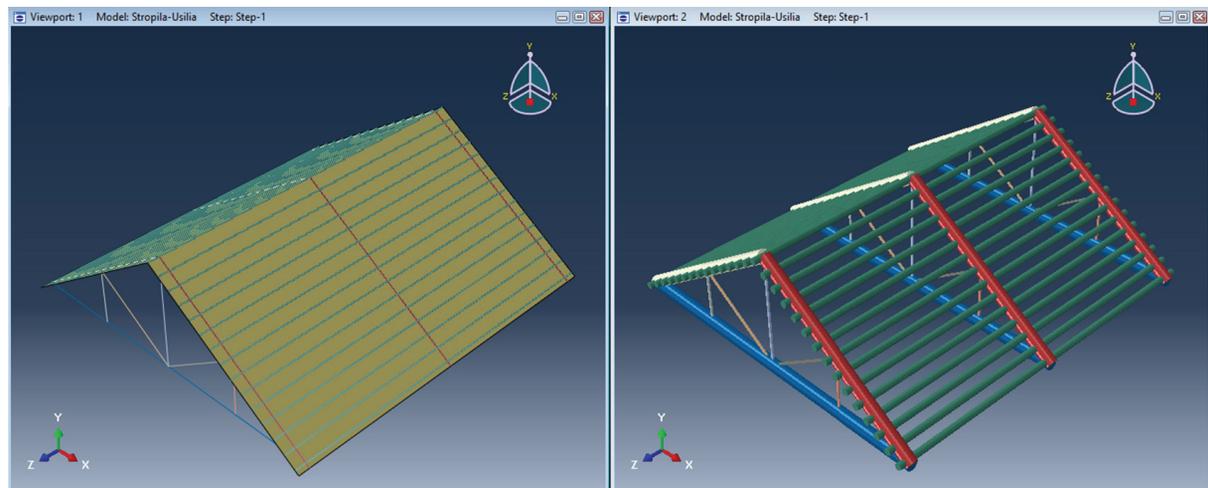


Рис. 11. Конечно-элементная модель

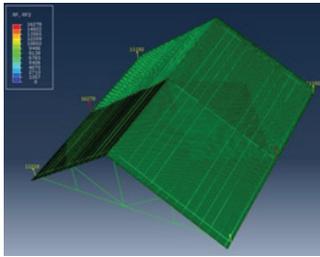


Рис. 12. Реакции в опорах

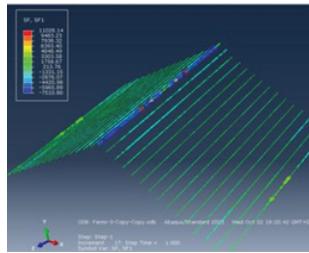


Рис. 13. Максимальная растягивающая сила на коньке $F = 11\,028,14$ Н

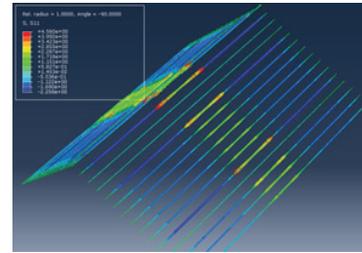


Рис. 14. Максимальные напряжения в сечении (растяжение) $\sigma = 4,5$ МПа

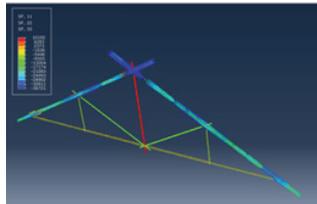


Рис. 15. Осевые силы в элементах стропильной фермы

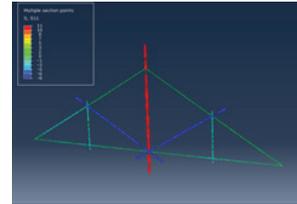


Рис. 16. Главные напряжения в сечении элементов стропильной системы

4. Размеры сечений элементов конструкции:
- стропильная нога $AC-CE$ — диаметр 205 мм;
 - стойки $BG-CF-DH$ — прямоугольный профиль 30×30 мм;
 - подкосы $BF-FD$ — прямоугольный профиль 30×30 мм;
 - нижняя перекладина AE — диаметр 200 мм.
5. Конечно-элементная модель (рис. 12–16).

Из модели видно, что самые нагруженные стропильные ноги находятся в середине крыши (рис. 12). В дальнейшем будем рассматривать только среднюю стропильную ферму (рис. 13).

1. Усилия в жердях прогона крыши (рис. 14). Допустимые: $[\sigma] = 10$ МПа.

$\sigma < [\sigma]$ — условие прочности выполняется. Коэффициент запаса $k = [\sigma]/\sigma = 10/4,5 = 2,22$.

2. Стропильная ферма (рис. 15, 16).

Усилия:

- стропильные ноги $AC-CE$: $N = 36\,721$ Н;
- стойка центральная CF : $N = 10\,192$ Н;
- стойка $BG-DH$: $N = 2230$ Н;
- подкос $BF-FD$: $N = 6942$ Н;
- балка AE : $N = 510$ Н.

Напряжения:

Стропильные ноги $AC-CE$: $\sigma = 3,2$ МПа.

Допустимые $[\sigma] = 10$ МПа.

$\sigma < [\sigma]$ — условие прочности выполняется.

Коэффициент запаса $k = [\sigma]/\sigma = 10/3,2 = 3,12$.

Стойка центральная CF : $\sigma = 11,3$ МПа.

Допустимые $[\sigma] = 10$ МПа.

$\sigma < [\sigma]$ — условие прочности не выполняется.

Коэффициент запаса $k = [\sigma]/\sigma = 10/11,3 = 0,88$. Необходимо увеличение сечения, примем прямоугольное сечение вместо 30×30 мм 40×40 мм.

$\sigma = 10\,192 / (3,14 \cdot 40^2) = 6,37$ МПа.

$\sigma < [\sigma]$ — условие прочности выполняется.

Коэффициент запаса $k = [\sigma]/\sigma = 10/6,37 = 1,57$.

Стойки $BG-DH$: $\sigma = 2,5$ МПа.

Допустимые $[\sigma] = 10$ МПа.

$\sigma < [\sigma]$ — условие прочности выполняется.

Коэффициент запаса $k = [\sigma]/\sigma = 10/2,5 = 4$.

Подкос $BF-FD$: $\sigma = 7,7$ МПа.

Допустимые $[\sigma] = 10$ МПа.

$\sigma < [\sigma]$ — условие прочности выполняется.

Коэффициент запаса $k = [\sigma]/\sigma = 10/7,7 = 1,3$.

Нижняя перекладина AE : $\sigma = 1,7$ МПа.

Допустимые $[\sigma] = 10$ МПа.

$\sigma < [\sigma]$ — условие прочности выполняется.

Коэффициент запаса $k = [\sigma]/\sigma = 10/1$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лавка купцов Глухаревых — постройка, обладающая исторической ценностью, что накладывает ограничения в приспособлении и вариантах укрепления конструкций. Разработан вариант укрепления конструкций при условии восстановления потолка. Он скроет дополнительные конструкции в интерьере. С учетом этого, а также с точки зрения экономии материала, трудоемкости и технических свойств, наиболее оптимальным вариантом является совмещение стоек и подкосов (рис. 8, схема б) размерами 30×30 .

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Скворцова В.С., Частова В.Ю., Зинина О.А. Натурные исследования деревянной лавки купцов Глухаревых в г. Переславле-Залесском // Дни студенческой науки : сб. докл. науч.-техн. конф. по итогам науч.-исслед. работ студентов института строительства и архитектуры НИУ МГСУ. 2024.
2. Скворцова В.С., Частова В.Ю., Сальвиан С.М. Реконструкция лавки купцов Глухаревых в г. Переславль-Залесский // Дни студенческой науки : сб. докл. науч.-техн. конф. по итогам науч.-исслед. работ студентов института строительства и архитектуры НИУ МГСУ. 2024.
3. Bode A. Methods of the Restoration of Wooden Architectural Monuments in Russia // Proceedings of the 2019 International Conference on Architecture: Heritage, Traditions and Innovations (АИТИ 2019). 2019. DOI: 10.2991/ahti-19.2019.66
4. Khodakovsky E. Wooden Church Architecture of the Russian North. Regional Schools and Traditions (14th – 19th centuries). London : Routledge, 2015. 192 p. DOI: 10.4324/9781315723181
5. Medvedeva M. The Imperial Archaeological commission (1859–1918) and cultural heritage management in Russia // Architectural Conservation and Restoration in Norway and Russia. 2017. Pp. 38–55. DOI: 10.4324/9781315276205-4
6. Коляда М.И. Памятник народного деревянного зодчества в селе Юковичи // Проблемы истории и культуры Северо-Запада РСФСР. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1977. С. 59–62.
7. Ходаковский Е.В. Деревянная церковная архитектура Русского Севера XIX – начала XX в. СПб., 2022. 799 с.
8. Haptops H. Historical timber and earthen constructions in Norway Vapour permeable surfaces — restoration challenges // 10th International Conference Diyarbakir Turkey. 2023.
9. Manara N., Rosset L., Zambelli F., Zanola A., Califano A. Natural climate reconstruction in the Norwegian stave churches through time series processing with variational autoencoders // International Journal of Building Pathology and Adaptation. 2024. Vol. 42. Issue 1. Pp. 18–34. DOI: 10.1108/ijbpa-01-2022-0017
10. Pryadko I., Lebedev I. Wood as a Material of Traditional Manor Building: Problems of Restoration, Conservation and Reconstruction // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1079. Issue 3. P. 032022. DOI: 10.1088/1757-899x/1079/3/032022. EDN DLEATZ.
11. Khodakovsky E., Skjold Lexau S. Historic Wooden Architecture in Europe and Russia: Evidence, Study and Restoration. 2015. DOI: 10.1515/9783035605426
12. Partov D., Grekov P., Kantchev V., Petkov M., Nikolov R. Assessment and rehabilitation of the timber roof structure of the “Assumption of the Virgin” Church in Kustendil // Annual of the University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy Sofia. 2018. Vol. 51. Issue 4. Pp. 125–138.
13. Gros A., Guillem A., De Luca L. Baillieul É., Duvocelle B., Malavergne O. et al. Faceting the post-disaster built heritage reconstruction process within the digital twin framework for Notre-Dame de Paris // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. Issue 1. DOI: 10.1038/s41598-023-32504-9
14. De Luca L. Digital Data Working Group: A n-dimensional analysis and memorisation ecosystem for the restoration of Notre-Dame // Journal of Cultural Heritage. 2022.
15. Bruseker G., Guillem A., Carboni N. Semantically Documenting Virtual Reconstruction: Building a Path to Knowledge Provenance // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2015. Vol. II-5/W3. Pp. 33–40. DOI: 10.5194/isprsannals-ii-5-w3-33-2015
16. Guillem A., Gros A., Abergel V., De Luca L. Reconstruction beyond Representation in Notre-Dame de Paris // 2023 IMEKO International Conference on Metrology for Cultural Heritage. 2023. DOI: 10.21014/tc4-ARC-2023.123
17. Кустерная М.В., Гашков И.Г., Мельников И.В., Невзицкая Т.В. Реставрация церкви Преображения Господня на острове Кижи. Петрозаводск : Издательство «Северный паломник», 2020. 160 с. EDN AGLMCT.
18. Кузнецов Т.А. Расчет балок с помощью программного комплекса «Абакус» // Вестник ВГАВТ. 2016. № 47. С. 209–220. EDN WCAZJL.
19. Бульбович Р.В., Павлоградский В.В., Еременко П.П. Расчет напряженно-деформированного состояния тела из упругого ортотропного материала с помощью метода конечных элементов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. 2015. № 40. С. 92–105. DOI: 10.15593/2224-9982/2015.40.06. EDN TMJGMV.
20. Калонов Б.К., Саримсоқов С.Ш., Досалиев К.С. Исследования современных методов расчета деревянных конструкций в стационарном режиме // Экономика и социум. 2024. № 5–2 (120). С. 1114–1117. EDN WNAPIZ.

Поступила в редакцию 14 ноября 2024 г.

Принята в доработанном виде 13 декабря 2024 г.

Одобрена для публикации 17 декабря 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: **Виталина Сергеевна Скворцова** — студент; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ashasuy@yandex.ru;

Андрей Юрьевич Ушаков — кандидат технических наук, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; 903714@mail.ru.

Вклад авторов:

Скворцова В.С. — сбор и обработка материала, проведение исследования, написание текста статьи.

Ушаков А.Ю. — научное руководство, концепция исследования, развитие методологии, написание исходного текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

The problems of preserving wooden heritage are disclosed in many works of Russian and foreign scientists. The article by A.B. Bode considers and evaluates approaches to restoration [1–3]. E.V. Khodakovskiy, A.S. Schenkov, and M.I. Kolyada also wrote about it [4–7]. Hauke Haupts described the nature-related problems of preserving wooden heritage in Norway [8]. Noemi Manara, Lorenzo Rosset, Francesco Zambelli, Andrea Zanola presented a method for tracking microclimate variation autoencoders [9]. Scientists investigate wooden architecture in Russia and in Europe, finding ways to restore structures [10–16]. Some materials have been published about the object of the paper — the shop of the Glukharev merchants [1, 2].

MATERIALS AND METHODS

The shop of the Glukharev merchants is part of the Glukharev merchants' yard, which currently consists of a shop and a dwelling house. The courtyard is located on the territory of the historic Rybatskaya Sloboda [1]. The building under consideration is not included in the register of cultural heritage objects, but earlier the dwelling house had a protective status. The historical and cultural value of the buildings has not been disclosed, nor has an approach to the restoration and reconstruction of the sloboda objects been developed. The shop has historical-architectural and cultural values. The building has features related to the historically established trade specialization of the settlement.

The building has been preserved in its original form, and there are no later layers on the outside or inside. In this case, it is advisable to restore the building, orientated on its original appearance. According to the measurements, the bench is square in plan with sides of 5, 7 metres, the height of the bench from the ground level is approximately 4 metres. Such a construction is easy to suspend with jacks.

According to the “Principles for the Conservation of Historic Wooden Structures”, traditional woodworking techniques should be followed when dealing with wooden heritage. In addition, the replaced wood should be of the same species as the original, with the same

texture, moisture content¹. Technologies such as log length extensions, crowning, and gouges with glue joints are used [17]. These technologies are needed to preserve the greatest amount of authentic material. Extensions, crowns, inserts, and gouges are used to preserve the affected wood material. All the mentioned limitations, technologies are required to preserve both the authentic material and its appearance. However, these actions should not lead to future confusion as to what is authentic and what is material from restoration and reconstruction.

Reconstruction and adaptation allow some changes to be made to the object. For example, in order to preserve the historic appearance and interior, insulation of walls on visible surfaces is not allowed. However, it is possible to insulate the attic and the floor, but only if ventilation is ensured. Otherwise, the material will be affected by fungi and mould. Traditional methods can be used to insulate walls. Historically, walls were insulated using the caulking method. Caulking was done with jute, moss, wadding, it allowed to eliminate the gaps between the logs, increasing the insulation capacity.

Preliminary inspection of the site gave an understanding of the damage to the structures. The bench is in a severe state of disrepair. The standing seam roof has numerous damages. Some of the purlins are also affected by rot (Fig. 1–4). The middle truss on the east side has lost its load-bearing capacity. There are bioinfestations on the walls, including white house fungus on the lower crowns of the southern wall and the upper crowns of the eastern wall. The logs of the log cabin are infested with beetle. The ceiling and one of the beams have collapsed, part of one beam is damaged. The damage on the log cabin is mainly localized in the lower crowns, under the roof. The exception is the northern part of the east wall and the eastern corner of the south

¹ Principles for the conservation of historic wooden buildings. *International Council on the Conservation of Monuments and Sites : adopted by the 19th ICOMOS General Assembly in India, New Delhi, December 2017.* Moscow, Federal State Budgetary Institution of Culture “State Historical, Architectural and Ethnographic Museum-Reserve “Kizhi”, 2018.



Fig. 1. Western wall



Fig. 2. North wall



Fig. 3. East wall



Fig. 4. South wall

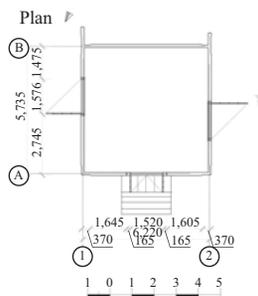


Fig. 5. Graphic reconstruction of the bench, plan 10

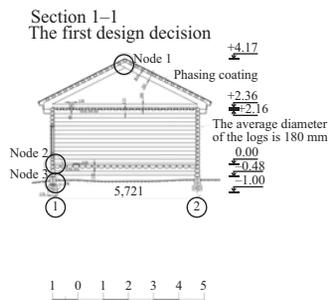


Fig. 6. Graphic reconstruction of the bench, first design solution 10

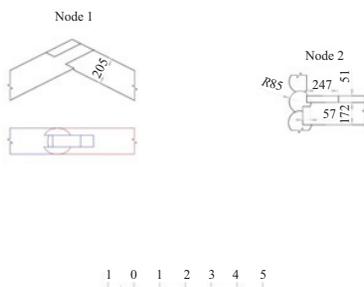


Fig. 7. Node 1 and node 2

wall, where regular leaks in the roof have destroyed the wood along the entire height. In addition, white house fungus damage to the south wall is taking over the bottom two logs. According to GOST R 70005–2022, the affected area should be removed, capturing one metre around it. Wood damaged by beetles should also be removed. If the damaged wood is replaced by mending, the log cabin may be deformed as a result. Therefore, it is necessary to resort to an extreme and undesirable method of restoration — bulkheading. Log cabin bulkheading implies disassembly of the log cabin with preliminary marking of the logs. The use of this method is a significant interference with the authenticity of the structure. When disassembling the log cabin, the logs are deformed, which may result in the loss of historical tool marks and minor changes in the geometry of the structure when reassembling it. On the other hand, when reassembling the structure, it is possible to reveal damage that cannot be detected by external inspection.

Special attention should be paid to the non-preserved storage rooms, which formed one building with the shop (Fig. 5–7). To reconstruct them, it is possible to use analogues as an example and also to use archival data, if available. In addition, it is possible to apply the method of archaeological mopping-up to reveal the geometry of the plans of the destroyed buildings.

RESULTS

So, the method of restoration has been determined — a complete reassembly of the object. The restoration project also depends on the future purpose of the bench. If it is planned to use the object for a long stay of people, it is necessary to provide thermal insulation and heating.

To ensure better load-bearing capacity of the structure hidden in the interior, it can be reinforced, but without damaging the originals. For example, it is possible to install additional structures for the truss: struts, ties, underpinnings. Such solutions are acceptable if the existing structure really does not have the necessary load-

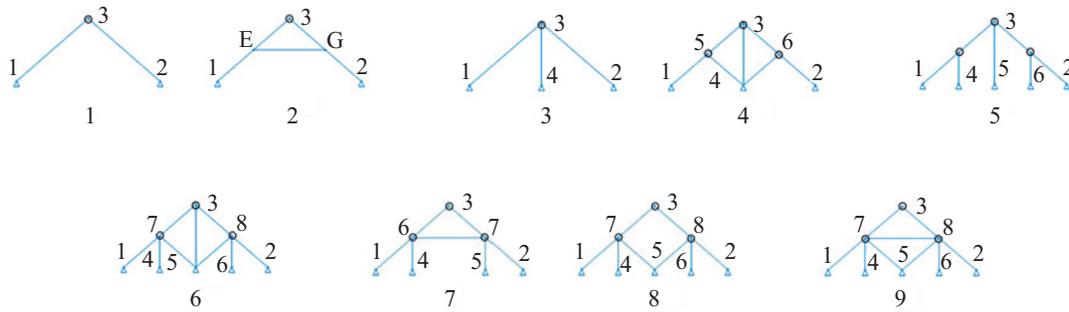


Fig. 8. Schemes of truss systems

bearing capacity in order to preserve the existing material.

Justification of the optimal method of strengthening the rafter systems of a wooden bench

1. Main types of rafter reinforcement (Fig. 8).

2. Description of design schemes of truss systems (Table).

The analysis was carried out by finite element method in the CAE Abaqus software package [18–20]:

- loads: vertical distributed load on the rafter surface — 5 N/mm;

- the aim is to reduce the transverse reactions in the supports and to distribute the vertical reactions as evenly as possible over the elements of the rafter system;

- strength and deformation characteristics are taken from the CP “Wooden structures”². The wood is pine.

3. Deformation pattern. The scale factor is significantly increased (Fig. 9).

² CP 64.13330.2017. Wooden structures. Updated edition of SNiP II-25–80.

Support reactions when using basic truss systems in the bench

Number	Node number	Vertical response	Horizontal response	Number	Node number	Vertical response	Horizontal response
1	A	23,047.41	+13,545.18	7	A	8,765.16	+13,545.18
	B	23,047.41	-13,545.18		B	8,765.16	-13,545.18
2	A	23,047.56	+21,784.41	8	G	14,283.22	+21,784.41
	B	23,047.56	-21,784.41		D	14,283.22	-21,784.41
3	A	3,862.51	-8,851.94	9	A	9,981.40	-8,851.94
	B	3,862.51	+8,851.94		B	9,980.09	+8,851.94
	G	38,373.55	-		G	11,709.75	-
4	A	10,711.66	+7,420.93	-	D	2,713.90	+7,420.93
	B	10,711.66	-7,438.14		E	11,710.58	-7,438.14
	G	24,673.77	-		A	8,982.38	-
5	A	5,849.76	+1,756.51	-	B	11,707.57	+1,756.51
	B	5,849.76	-1,755.51		G	4,716.40	-1,755.51
	G	14,367.66	-		D	11,709.40	-
	D	5,662.54	-		E	8,981.96	-
	E	14,367.66	-		-	-	-

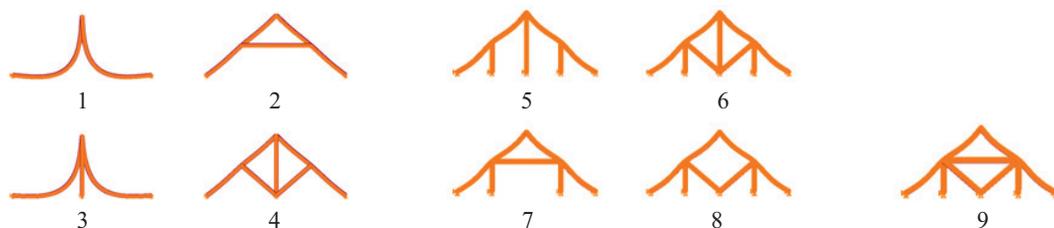


Fig. 9. Deformation pattern

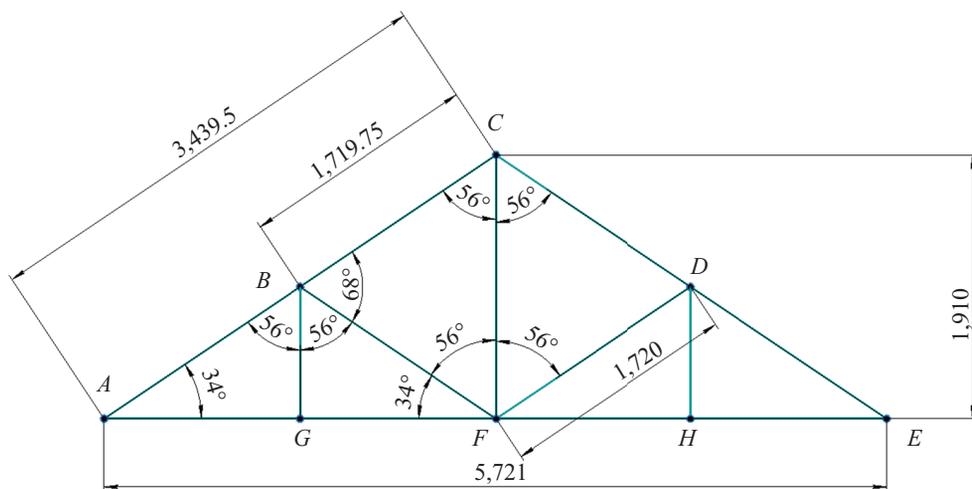


Fig. 10. Dimensions of rafters

The support reactions showed that scheme number six was the best option. It showed the best support reactions, which also fulfils the restoration requirement to preserve the interior.

Section selection

Due to the fact that this is a valuable object, the authors use old technologies and materials. The design solution remains zinc roofing on poles with trusses.

Effective loads. The snow load for snow region IV is 2.0 kN/m²: 200 kg/m² · 44,5 m² = 8,900 kg.

Load from the weight of the roof (Fig. 10):

- from 29 poles 6.13 m long with an average diameter of 0.11 m: 0.058 · 29 · 470 kg/m² = 790.54 kg;
- 44.5 m² standing seam roof: 44.5 · 0.001 × 7,850 kg/m² = 349.33 kg/m²;
- two rafters length 3.58, average diameter 0.205 m: 0.225 m³/2 · 470 kg/m³ = 211.5 kg.

The deck is calculated as a beam in a two-span scheme. The distance between the supports is equal to the purlin spacing $l = 2.9$ m.

Constant design load: 9.84.

Total full design load: 12.64.

Number of rafter systems — 3 pcs. (Fig. 11).

The load on the middle truss is equal to 40 % of the total load on the trusses: $12.64 \cdot 17.8 + 2.115 \cdot 1.2 = 227.53$ kg.

4. Dimensions of cross-sections of structural elements:

- rafter AC–CE — diameter 205 mm;
- BG–CF–DH posts — rectangular profile 30 × 30 mm;
- underpinnings BF–FD — rectangular profile 30 × 30 mm;
- bottom crossbar AE — diameter 200 mm.

5. Finite element model (Fig. 12–16).

The model shows that the most loaded rafters are located in the middle of the roof (Fig. 12). In the following we will consider only the middle truss (Fig. 13).

1. Forces in the roof purlins (Fig. 14).

Permissible: $[\sigma] = 10$ MPa.

$\sigma < [\sigma]$ — the strength condition is fulfilled.

The stock factor $k = [\sigma]/\sigma = 10/4.5 = 2.22$.

2. Rafter truss (Fig. 15, 16).

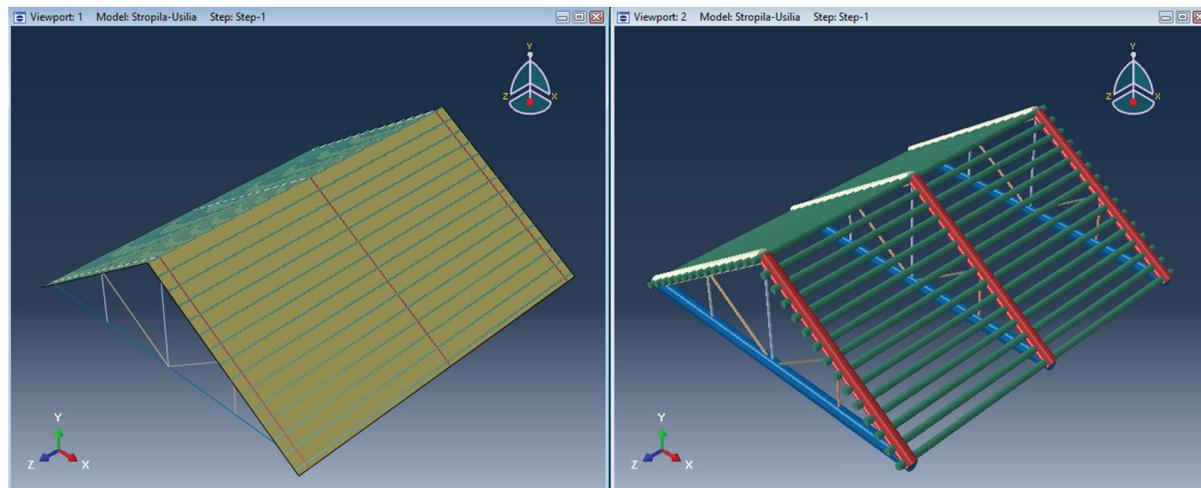


Fig. 11. Finite element model

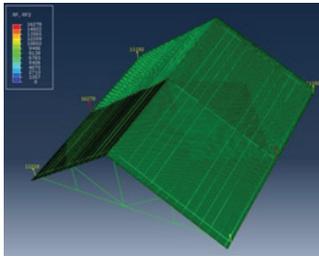


Fig. 12. Reactions in supports

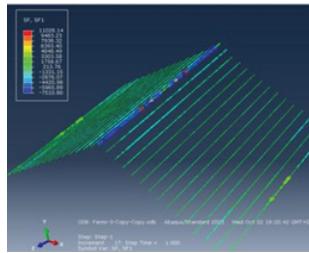


Fig. 13. Maximum tensile force at the ridge $F = 11,028.14$ H

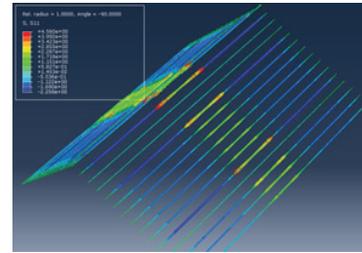


Fig. 14. Maximum stresses in section (tensile) $\sigma = 4.5$ MPa

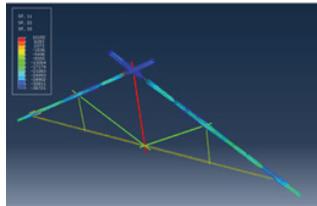


Fig. 15. Axial forces in truss elements

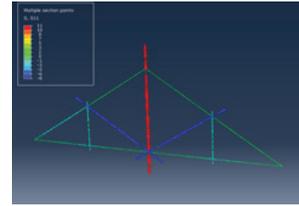


Fig. 16. Principal stresses in the cross-section of the elements of the rafter system

Forces:

- $AC-CE$ rafters: $N = 36,721$ H;
- CF centre stand: $N = 10,192$ H;
- $BG-DH$ rack: $N = 2,230$ H;
- $BF-FD$ strut: $N = 6,942$ N;
- beam AE : $N = 510$ N.

Voltages:

$AC-CE$ rafters: $\sigma = 3.2$ MPa.

Allowable $[\sigma] = 10$ MPa.

$\sigma < [\sigma]$ — the strength condition is fulfilled.

The stock factor $k = [\sigma]/\sigma = 10/3.2 = 3.12$.

Centre post SF : $\sigma = 11.3$ MPa.

Allowable $[\sigma] = 10$ MPa.

$\sigma < [\sigma]$ — the strength condition is not fulfilled.

The stock factor $k = [\sigma]/\sigma = 10/11.3 = 0.88$.

An increase in cross-section is required, adopt a rectangular cross-section instead of 30×30 mm 40×40 mm.

$\sigma = 10,192/(3.14 \cdot 40^2) = 6.37$ MPa.

$\sigma < [\sigma]$ — the strength condition is fulfilled.

The stock factor $k = [\sigma]/\sigma = 10/6.37 = 1.57$.

$BG-DH$ props: $\sigma = 2.5$ MPa.

Allowable $[\sigma] = 10$ MPa.

$\sigma < [\sigma]$ — the strength condition is fulfilled.

Stock factor $k = [\sigma]/\sigma = 10/2.5 = 4$.

$BF-FD$ strut: $\sigma = 7.7$ MPa.

Allowable $[\sigma] = 10$ MPa.

$\sigma < [\sigma]$ — the strength condition is fulfilled.

Stock factor $k = [\sigma]/\sigma = 10/7.7 = 1.3$.

Lower crossbar AE : $\sigma = 1.7$ MPa.

Allowable $[\sigma] = 10$ MPa.

$\sigma < [\sigma]$ — the strength condition is fulfilled.

Stock factor $k = [\sigma]/\sigma = 10/1$.

CONCLUSION

The shop of the Glukharev merchants is a building of historical value, which imposes limitations in adaptation and options for structural reinforcement. A variant of structural reinforcement has been developed, provided the ceiling is restored. It will hide additional structures in the interior. Taking this into account, as well as from the point of view of material saving, labour intensity and technical properties, the most optimal variant is the combination of struts and underpinnings (Fig. 8, sch. 6) with dimensions 30×30 .

REFERENCES

1. Skvortsova V.S., Chastova V.Yu., Zinina O.A. Full-scale studies of the wooden shop of the Glukharev merchants in Pereslavl-Zalessky. *Days of Student Science : collection of reports of the scientific and technical conference on the results of research works by students of the Institute of Construction and Architecture of the National Research University MGSU*. 2024. (rus.).
2. Skvortsova V.S., Chastova V.Yu., Salviyan S.M. Reconstruction of the Glukharev merchants' shop in Pereslavl-Zalessky. *Days of Student Science : collection of reports of the scientific and technical conference on the results of research works by students of the Institute of Construction and Architecture of the National Research University MGSU*. 2024. (rus.).

3. Bode A. Methods of the Restoration of Wooden Architectural Monuments in Russia. *Proceedings of the 2019 International Conference on Architecture: Heritage, Traditions and Innovations (AHTI 2019)*. 2019. DOI: 10.2991/ahti-19.2019.66
4. Khodakovskiy E. Wooden Church Architecture of the Russian North. *Regional Schools and Traditions (14th – 19th centuries)*. London, Routledge, 2015; 192. DOI: 10.4324/9781315723181
5. Medvedeva M. The Imperial Archaeological commission (1859–1918) and cultural heritage management in Russia. *Architectural Conservation and Restoration in Norway and Russia*. 2017; 38-55. DOI: 10.4324/9781315276205-4
6. Kolyada M.I. Monument of folk wooden architecture in the village of Yuksovichi. *Problems of the history and culture of the North-West of the RSFSR*. Leningrad, Publishing house of Leningrad University, 1977; 59-62. (rus.).
7. Khodakovskiy E.V. *Wooden church architecture of the Russian North in 19th – early 20th century*. St. Petersburg, 2022; 799. (rus.).
8. Haupt H. Historical timber and earthen constructions in Norway Vapour permeable surfaces — restoration challenges. *10th International Conference Diyarbakır Turkey*. 2023
9. Manara N., Rosset L., Zambelli F., Zanola A., Califano A. Natural climate reconstruction in the Norwegian stave churches through time series processing with variational autoencoders. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*. 2024; 42(1):18-34. DOI: 10.1108/ijbpa-01-2022-0017
10. Pryadko I., Lebedev I. Wood as a Material of Traditional Manor Building: Problems of Restoration, Conservation and Reconstruction. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*. 2021; 1079(3):032022. DOI: 10.1088/1757-899x/1079/3/032022. EDN DLEATZ.
11. Khodakovskiy E., Skjold Lexau S. *Historic Wooden Architecture in Europe and Russia: Evidence, Study and Restoration*. 2015. DOI: 10.1515/9783-035605426
12. Partov D., Grekov P., Kantchev V., Petkov M., Nikolov R. Assessment and rehabilitation of the timber roof structure of the “Assumption of the Virgin” Church in Kustendil. *Annual of the University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy Sofia*. 2018; 51(4):125-138.
13. Gros A., Guillem A., De Luca L. Baillieul É., Duvocelle B., Malavergne O. et al. Faceting the post-disaster built heritage reconstruction process within the digital twin framework for Notre-Dame de Paris. *Scientific Reports*. 2023; 13(1). DOI: 10.1038/s41598-023-32504-9
14. De Luca L. Digital Data Working Group: A n-dimensional analysis and memorisation ecosystem for the restoration of Notre-Dame. *Journal of Cultural Heritage*. 2022.
15. Bruseker G., Guillem A., Carboni N. Semantically Documenting Virtual Reconstruction: Building a Path to Knowledge Provenance. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2015; II-5/W3:33-40. DOI: 10.5194/isprsannals-ii-5-w3-33-2015
16. Guillem A., Gros A., Abergel V., De Luca L. Reconstruction beyond Representation in Notre-Dame de Paris. *2023 IMEKO International Conference on Metrology for Cultural Heritage*. 2023. DOI: 10.21014/tc4-ARC-2023.123
17. Kisternaya M.V., Gashkov I.G., Melnikov I.V., Nezvitkaya T.V. *Restoration of the Church of the Transfiguration of the Lord on Kizhi Island*. Petrozavodsk, Severny Palomnik Publishing House, 2020; 160. EDN AGLMCT. (rus.).
18. Kuznetsova T.A. Beams analysis using “Abaqus” software package. *Vestnik VGAVT*. 2016; 47:209-220. EDN WCAZJL. (rus.).
19. Bulbovich R.V., Pavlogradskiy V.V., Eremenko P.P. The calculation of the stress-strain state of elastic orthotropic body by finite element method. *PNRPU Aerospace Engineering Bulletin*. 2015; 40:92-105. DOI: 10.15593/2224-9982/2015.40.06. EDN TMJGMV. (rus.).
20. Kalonav B.Q., Sarimsoqov S.Sh., Dosaliyev K.S. Study of modern methods for calculating wooden structures in a steady-state regime. *Economy and Society*. 2024; 5-2(120):1114-1117. EDN WNAPIZ. (rus.).

Received November 14, 2024.

Adopted in revised form on December 13, 2024.

Approved for publication on December 17, 2024.

BIONOTES: Vitalina S. Skvortsova — student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ashasuy@yandex.ru;

Andrey Yu. Ushakov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metal and Wooden Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; 903714@mail.ru.

Contribution of the authors:

Vitalina S. Skvortsova — collection and processing of the material, conducting the research, writing the text of the article.

Andrey Yu. Ushakov — scientific management, research concept, development of the methodology, writing the source text.

The authors declare no conflict of interest.

АРХИТЕКТУРА. РЕКОНСТРУКЦИЯ. РЕСТАВРАЦИЯ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ. АРХИТЕКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ. ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ГРАДОРЕГУЛИРОВАНИЕ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 72.03

DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.4

Эволюция архитектуры прототипов паллиативных учреждений до XX века

Асмик Рубеновна Клочко

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Архитектура медицинских учреждений прошла сложный и многогранный путь развития. Особой веткой современного здравоохранения считается паллиативная помощь, сформировавшаяся в XX в., но прототипы паллиативных учреждений возникли давно. Функции современных паллиативных учреждений многие столетия выполняли приюты, лечебницы, монастыри, больницы, странноприимные дома и др.

Материалы и методы. Применены методы обзора, сравнительного анализа и синтеза по научным, историческим, искусствоведческим, литературным источникам и проектным материалам, связанным с архитектурой прототипов паллиативных учреждений.

Результаты. Освещается взаимосвязь развития христианства и становления основ паллиативного (хосписного) движения, рассматриваются предпосылки возникновения и история становления и развития прототипов паллиативных учреждений, их архитектурных решений и особенностей. Анализируются вопросы трансформации основной функции хосписов в течение столетий до XX в.

Выводы. Эволюция паллиативных учреждений происходила в течение всей жизни человечества, иногда вплетааясь в здравоохранение, но чаще шла по собственному пути. Нельзя считать синонимичными пути развития медицинских и паллиативных учреждений, так как долгие периоды, особенно по мере развития эффективности медицинского обслуживания, проводилась принципиальная разница между излечимыми и неизлечимыми пациентами не в пользу последних. Эволюция паллиативных учреждений связана с социальной историей ухода за пожилыми и умирающими, с уровнем культурного развития общества, его религиозностью, гуманностью и мистическими представлениями. Значительный и решающий вклад в эволюцию паллиативного движения внесен усилиями отдельных личностей и велениями их человеческого и врачебного долга. Их стойкость и гуманность позволили этой части здравоохранения не зачахнуть, а раскрыться и доказать, что, если человека нельзя вылечить, это не значит, что ему нельзя помочь.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: архитектура паллиативных учреждений, архитектура хосписов, гуманная среда, странноприимные дома, архитектура медицинских учреждений, инклюзивная среда, паллиативный центр

Благодарности. Данная работа поддержана грантом 2024 г. на проведение фундаментальных и прикладных научных исследований (НИР/НИОКР) научными коллективами НИУ МГСУ, проект № 8-392/130. Автор выражает глубокую признательность редакционной коллегии журнала и анонимным рецензентам за уделенное время и оказанное внимание.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Клочко А.Р. Эволюция архитектуры прототипов паллиативных учреждений до XX века // Строительство: наука и образование. 2025. Т. 15. Вып. 2. Ст. 4. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.4

Автор, ответственный за переписку: Асмик Рубеновна Клочко, KlochkoAR@mgsu.ru.

Evolution of prototype architecture of palliative institutions before the XX century

Asmik R. Klochko

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The architecture of medical institutions has undergone a complex and multifaceted path of development. A special branch of modern healthcare is considered to be palliative care, which was formed in the twentieth century, but the prototypes of palliative care institutions emerged long ago. The role and functions of modern palliative institutions for many centuries have been provided by orphanages, hospitals, convents, monasteries, hospitals, strange houses and others.

Materials and methods. Materials and methods of the study include methods of review, comparative analysis and synthesis on scientific, historical, art, literary sources and project materials related to the architecture of prototypes of palliative institutions.

Results. The paper shows the connection between the development of Christianity and the formation of the foundations of the palliative (hospice) movement. The prerequisites for the emergence and history of the development of prototypes of palliative institutions, their architectural solutions and features are considered here. The paper studies the transformation of the hospices main function over the centuries to the twentieth century.

Conclusions. The evolution of palliative care institutions has occurred throughout the life of mankind, sometimes intertwined with health care, but more often following its own path. The evolution of medical and palliative care institutions cannot be considered synonymous, as for many periods, especially as the effectiveness of medical care has developed, there has been a fundamental difference between "curable" and "incurable" patients, not in favour of the latter. The evolution of palliative care institutions is linked to the social history of care for the elderly and dying, to the level of cultural development of society, to its religious, humane and mystical beliefs. A significant and decisive contribution to the evolution of the palliative care movement has been made by the efforts of individuals and the dictates of their human and medical duty. Their resilience and humanity allowed this part of health care not to languish, but to open up and prove that if a person cannot be cured, it does not mean that he cannot be helped.

KEYWORDS: architecture of palliative institutions, architecture of hospices, humane environment, hospice houses, architecture of medical institutions, inclusive environment, palliative center.

Acknowledgements. This work was supported by the grant 2024 for fundamental and applied scientific research (R&D) by research teams of Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), project No. 8-392/130. The author expresses deep gratitude to the editorial board of the journal and anonymous reviewers for their time and attention.

FOR CITATION: Klochko A.R. Evolution of prototype architecture of palliative institutions before the XX century. *Construction: Science and Education*. 2025; 15(2):4. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.4

Corresponding author: Asmik R. Klochko, KlochkoAR@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Антропологу Маргарет Мид приписывается интересная мысль, которую она высказала на одной из своих лекций. На вопрос о том, что считается первым признаком цивилизации, она ответила: «Бедренная кость, которая была сломана, а затем срослась». По ее словам, в дикой природе животное с такой тяжелой травмой, как сломанная бедренная кость, погибает. Поэтому сросшаяся кость человека означает, что кто-то в течение очень долгого времени заботился, ухаживал и защищал своего смертельно раненого сородича, такой поступок и является, по ее мнению, признаком начала человеческой цивилизации. Именно гуманность по отношению к умирающему считается многими исследователями основой для развития цивилизации.

На протяжении практически всей истории человечества смерть к человеку приходила по трем основным причинам: голод, эпидемии или войны. В результате этих причин смерть наступала быстро, иногда внезапно. Поэтому очень долго глобальная задача создания организованной долговременной помощи людям при их уходе в мир иной, требующая государственного подхода, не вставала на повестке дня. Так, вплоть до XX в. о паллиативной помощи никто ничего не слышал, а всякая помощь страдающим в истории человечества принимала разно-

образные формы, была связана с религиозной и культурной структурой данного общества, имела разные названия, методы и подходы в реализации.

В статье сделана попытка собрать воедино исторические прототипы паллиативной помощи и выявить методы их архитектурной организации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Выполнены обзор, анализ и синтез по научным, историческим, искусствоведческим, литературным источникам, связанным с развитием архитектуры паллиативных учреждений и их прототипов.

Поиск научной литературы проводился в научной электронной библиотеке eLIBRARY, в электронных базах данных Scopus, Web of Science с использованием соответствующих ключевых слов, включая «архитектура паллиативных учреждений», «архитектура хосписов», «история развития паллиативных учреждений», «история развития хосписов». Также применялся междисциплинарный подход, учитывающий влияние социологических, религиозных, психологических аспектов на архитектурное проектирование паллиативных учреждений, представленных в научных статьях смежных направлений.

До сих пор существует некая терминологическая путаница в понятиях «хоспис» и «паллиативная помощь». Для внесения ясности приведем общепринятые определения этих понятий.

Хоспис (от лат. *hospes* — гость, *hospitalis* — гостеприимный, дружелюбный к скитальцам) — сейчас это медико-социальное учреждение для оказания помощи в самые тяжелые этапы преимущественно онкологического заболевания [1].

Термин «паллиативная помощь» (лат. *pallium* — плащ или покрывало) символизирует уход, нацеленный на облегчение мучительных симптомов при любых заболеваниях, давая шанс человеку максимально долго жить привычным образом [2].

При всей схожести подходов данных учреждений в современной мировой практике приняты разные формы оказания помощи — где-то хосписами, где-то отделениями паллиативного ухода.

Что касается России, то, согласно Приказу Министерства здравоохранения РФ и Министерства труда и социальной защиты РФ¹, паллиативные учреждения оказывают помощь при большом списке неизлечимых прогрессирующих заболеваний или состояний, когда исчерпаны возможности лечения, а хосписы имеют некоторую специализацию и принимают преимущественно пациентов с онкологическими заболеваниями. Таким образом, на текущий момент в РФ паллиативные учреждения оказывают помощь при широком спектре заболеваний, а хосписы являются только частью (веткой) паллиативных учреждений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эволюция паллиативных учреждений шла сложными путями. Исследование самых древних неолитических поселений в Месопотамии, насчитывающих 50 тыс. лет, показывает, что пещерные жители уже тогда организовывали себе элементарные жилища, предназначенные, в том числе, для ухода за больными, ранеными и умирающими соплеменниками.

С ранней древности религии, магия и сверхъестественные факторы оказывали сильное влияние на системы здравоохранения и заботу о ближнем. Люди понимали, что многое в жизни, в особенности слабое здоровье, находится вне их контроля [3, с. 2957–2980]. В одних культурах смерть ассоциировалась с преисподней, колдовством, тьмой, в других укрепились противоположные настроения (например, в Древнем Египте загробная жизнь считалась освобождением). Одновременно с магической ре-

¹ Об утверждении Положения об организации оказания паллиативной медицинской помощи, включая порядок взаимодействия медицинских организаций, организаций социального обслуживания и общественных объединений, иных некоммерческих организаций, осуществляющих свою деятельность в сфере охраны здоровья : Приказ Министерства здравоохранения РФ и Министерства труда и социальной защиты РФ от 31.05.2019 № 345н/372н. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72180964/#10000>



Рис. 1. Руины асклепиона Коса (храм бога медицины Асклепия)

лигиозной трактовкой вопросов жизни и смерти со времен Гомера существовали врачи, практикующие начала эмпирической медицины, а в V и IV вв. до н. э. врачи Гиппократ заложили основы рациональной (научной медицины). В раннем Египте и Месопотамии также были врачи, практиковавшие элементарную эмпирическую (светскую) медицину.

В любом случае как бы ни относились к смерти на протяжении многих веков и даже тысячелетий традиции возлагали ответственность за уход за умирающими на их ближайших родственников. А традиции погребений, похорон и траура помогали смягчить неизбежные муки близких людей [4].

В период Античности древние цивилизации на берегах Средиземноморья верили во множество богов или богинь, магические силы которых влияли на здоровье [5, с. 259–260]. В Древней Греции жрецы занимались ритуальным лечением пациентов в лечебницах при храмах, так называемых асклепионах, не предназначенных для длительного пребывания [6] (рис. 1).

В I в. до н. э. в Древнем Риме имелись лечебницы, предназначенные только для помощи военнослужащим [7].

При всех этих первых шагах в развитии организованного здравоохранения, нацеленного на лечение и выздоровление, помощь умирающим организовано и системно не оказывалась. Чаще всего решение богов, вынесших смертный приговор кому-то, никем не оспаривалось, дабы не оскорбить богов, выказавших свое неудовольствие и ниспославших смертельную болезнь [1]. И представители светской медицины тоже не тратили много сил на уход за умирающими [5, с. 259–260].

Многие ученые считают, что больницы, лечебницы, приюты и другие прототипы паллиативных учреждений в современном понимании появились лишь с распространением христианства и идеи, что «человек сотворен по образу и подобию Божию». Душа и тело стали восприниматься как неразрывно связанные, поэтому и заботой о теле не следовало пренебрегать.



Рис. 2. Катакомбы под церковью Sant' Agnese fuori le Mura в Риме, где христиане заботились о болящих и умирающих во времена гонений [6]

Христианство появилось в те времена, когда магия и сверхъестественные факторы играли огромную роль в здравоохранении. Христианская этика милосердия, благочестия деятельной любви к ближнему и заботы, принятые церковью, сделали святой обязанностью всех христиан посещение престарелых, бедных и больных [8, с. 31]. И это привело к становлению основ паллиативного (хосписного) движения. Современная концепция больницы также зародилась в раннехристианских общинах [9, с. 60–66], а их сострадание и долговременная забота о страждущих в корне отличались от всего, что было известно ранее [10, с. 68–70].

Ни языческие храмы, ни тайные религии не создавали заботливых общин, подобных тем, что появились в раннем христианстве [3, с. 2976]. Со временем даже те римские императоры, которые устраивали гонения на христиан, положительно отзывались об их неустанной помощи всем раненым, умирающим (рис. 2) [3, с. 2974; 11, с. 267–272].

Что принципиально важно для развития основ паллиативного (хосписного) движения, христианское медицинское служение продолжалось несмотря на плохие прогнозы на излечение до самой смерти человека. Многие исследователи считают, что врачи Гиппократ (греко-римская светская медицина), вероятно, отказались бы от пациентов в таких ситуациях [5, с. 266].

В IV–VI вв. церковь переживала прогрессивные изменения. Была введена в культ аскетическая «апостольская» вера, что способствовало широкому распространению отшельников и «святых людей» [8, с. 41, 42]. При храмах и монастырях стали открываться приюты для сирот и престарелых, странноприимные дома (некие приюты для паломников, которые также можно считать прототипами паллиативных учреждений и хосписов), лечебницы.

Ярким примером христианского служения умирающим являлась жизнь знатной римской матроны Фабиолы (Святая Фабиола). Во второй половине IV в. после смерти мужа и под влиянием святого Ие-

ронима она отказалась от всех земных удовольствий и посвятила себя практике христианского аскетизма и благотворительной деятельности. На нее повлияли традиции сирийских христиан беспрекословно исполнять заповеди Христовы в том, чтобы накормить голодного, помочь больному, подать нищему, приютить отшельника. Она отказалась от всего, что мог предложить ей мир, и посвятила свое огромное богатство нуждам бедных, больных, умирающих. Вместе со святым сенатором Римским Паммахием Фабиола создала первый на Западе странноприимный дом — большой приют для паломников, прибывающих в Рим, а также отшельников и «святых людей», участь которых была умереть на улице. Этот приют стал одним из предшественников хосписов, госпиталей и больниц Европы. Остатки странноприимного дома обнаружили во время раскопок под церковью Санти-Джованни-э-Паоло в Риме. Также матрона Фабиола принимала участие в построении госпиталя в Остии, ставшего знаменитым во всем мире. Она сама ухаживала за пациентами, не чураясь даже тех, у кого были раны и язвы от проказы. Все ее интересы были сосредоточены на нуждах церкви и заботе о бедных и страждущих [12]. Для многих такая забота оказывалась целительной, а неизлечимо больные уходили в мир иной, окруженные добротой и заботой.

Подъем монашества привел к созданию монастырей, часто выполняющих функцию образовательных, социальных, культурных и медицинских учреждений, находящихся под религиозным контролем. Лечением занимались светские врачи или обученные монахи, лечили всех нуждающихся. Некоторые из этих монастырей, например монастыри Святого Василия в Кесарии и Святого Бенедикта (рис. 3) в Монтекассино, в IV–V вв. стали центрами передовой медицины. Здесь собирались и переписывались классические тексты и преподавались некоторые медицинские дисциплины [13, с. 9–13].



Рис. 3. Монастырь Святого Бенедикта в Монтекассино — хрестоматийный пример неаполитанского барокко (разрушен землетрясением в 1349 г., восстановлен в 1366 г., современный вид принял только в XVII в.)



Рис. 4. Основные маршруты христианских паломников, вдоль которых располагались прототипы паллиативных учреждений

Помимо развития монастырской медицины, сыгравшей важную роль в содействии развитию системы здравоохранения в целом, этот период характеризовался распространением паломничества в Иерусалим, ко Гробу Господню. Усилиями крестоносцев стали появляться и распространяться странноприимные дома или хоспиты (от лат. *hospes* — гость, *hospitalis* — гостеприимный, дружелюбный к скитальцам) при соборах, монастырях, как мужских, так и женских, и, конечно, на основных маршрутах великого паломнического пути в Святую Землю, что облегчало трудное испытание паломников (рис. 4). Этимология слова «хоспиталь», однокоренного с «хоспис», не связывалась с умиранием. Хоспиталь эпохи крестоносцев был гостевым домом и лечебницей, служил для остановки, передышки, оздоровления, восстановления изнемогших, больных или истощенных паломников. Здесь предоставлялись койко-места, питание и медицинская помощь.

Например, купцы из герцогства Амальфи (независимое государство с центром в южноитальянском г. Амальфи в X–XI вв., лат. *Ducatus Amalphitanus*) примерно в 1080 г. основали в Иерусалиме больницу, посвященную Иоанну Крестителю, для ухода за больными, бедными или ранеными паломниками в Святую Землю.



Рис. 5. Больница Святого Варфоломея, средневековый период

В начале XIV в. орден рыцарей госпиталя Святого Иоанна Иерусалимского (госпитальеры), стремившийся укрепить религиозную преданность и милосердие к бедным, открыл хоспис на о-ве Родос, предназначенный для предоставления убежища путешественникам и ухода за больными и умирающими.

Что важно, в них не отказывали в помощи и другим нуждающимся — больным и умирающим беднякам, чужестранцам, оказавшимся оторванными по той или иной причине от дома и др.

С началом роста населения европейских городов VII–XI вв. монастыри перестали справляться с наплывом пациентов. Стала развиваться светская медицина, медицинские школы появлялись в новых средневековых университетах Салерно (XI в.) и Монпелье (XII в.) [13, с. 37–40]. Университеты в Париже, Оксфорде, Кембридже, Болонье и Падуе последовали за ними в XIII–XIV вв. [14, с. 312–333]. Несмотря на то, что эти учебные заведения находились под контролем церкви, они основывали свои учебные программы на классической светской медицине со значимым вкладом исламских источников [5, с. 271–272]. Стали возникать городские государственные больницы, финансируемые городскими властями, церковью и частными лицами (рис. 5). Главный религиозный мотив — деятельная любовь к ближнему — все также доминировал, связь между больницей и религией еще долго оставалась неразрывной. Это заметно, например, по генплану территорий: поблизости от новой лечебницы обязательно закладывали часовню.

Один из типичных образчиков больниц того времени — Отель-Дье (641–649 гг.), основанный велениями милосердия святым Ландри, епископом Парижа (рис. 6). Условия этого госпиталя были аналогичны всем подобным учреждениям того времени и вызывают интерес в своей архитектурной организации. Уход за страждущими осуществляли послушники и послушницы. Мощность госпиталя составляла 1200 коек, из них только 486 индивидуальных. На остальных койках шириной 1,5 м одновременно находились до шести пациентов (рис. 7). В одной кровати могли лежать вперемежку мужчины,



Рис. 6. Палата в Отель-Дье с гравюры XVI в.



Рис. 7. Размещение умирающих по несколько человек на койке. Музей общественного сопротивления, Париж



Рис. 8. Пациент в кровати с трупом в благотворительном госпитале XVI–XVII вв. Гравюра Домье

женщины, дети, старики, «сгоравшие» от тяжелой инфекции, роженицы, выздоравливающие и умирающие. Коридоры были скудно освещенные и непроветриваемые, но даже здесь на соломе лежали до 800 больных. Тела умерших обычно оставались в кроватях до появления зловония (рис. 8). Организованы также 8 детских коек, размещавших одновременно около двухсот новорожденных и детей постарше. В подобной санитарно-гигиенической и функционально непродуманной обстановке смертность достигала 20 % [15]. Таким образом, архитектурная организация пространства была элементарная, пациенты не получали необходимого — изоляции, гигиены и регулярного питания нормального качества.

И все же, несмотря на пугающие описания условий тех больниц, таковы истоки врачевания и развития организованных медицинских учреждений.

Усилиями крестоносцев на паломнических путях параллельно с развитием первых медицинских учреждений продолжали активно строиться приюты — госпитали для паломников (рис. 9). Средневековые стали периодом их расцвета (например, хоспис святого Готарда на маршруте через Альпы, соединяющем северную и южную Швейцарию, на перевале Сен-Готард, являлся пристанищем паломников начиная с 1237 г.) (рис. 10).

Вместе со Средневековьем, по мере рассеивания влияния религиозных орденов, закончился и период расцвета приютов — хоспиталей для паломников и других нуждающихся.

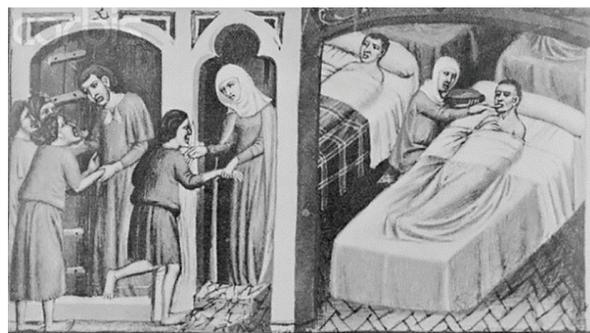


Рис. 9. Гравюра XIII в. — прием путников и уход за больными в хоспитале

Развитие медицинских учреждений шло по своему пути и, если описать в крупных чертах, в VIII в. происходит постепенное отделение больницы от церкви, начинают развиваться благотворительные и государственные учреждения, оказывающие медицинские услуги, а с XIX в. государство стало принимать активное участие в формировании здравоохранения как отдельной отрасли, которая оказывает медицинскую помощь населению. И если развитие медицинской сферы происходит семимильными шагами в сторону технологической трансформации, стандартизации, расширения амбулаторных отделений, увеличения мощности учреждений, то паллиативное хосписное движение оказалось в глубоком упадке. По мере развития так называемой эффективности медицинского обслуживания медицинские учреждения стали проводить разницу между «излечимыми» и «неизлечимыми» пациентами не в пользу последних.

С середины XIX в. эволюция паллиативных учреждений по уходу за безнадежно больными продолжается географически точно усилиями отдельных личностей и велениями их человеческого и врачебного долга.

Во Франции в 1842 г. Жанна Гарнье открыла в своем доме в г. Лион приют для умирающих женщин, назвав его «Голгофа», где царила атмосфера «уважительной близости, молитвы и спокойствия перед лицом смерти». Через год после открытия хосписа Жанна умерла, написав незадолго до смерти:



Рис. 10. Хоспис святого Готарда (перевал Сен-Готард, Швейцария)



Рис. 11. Архитектура хосписов XIX – начала XX в.: *a* — фасад хосписа Дебрусс (Лион, Франция); *b* — планы хосписа Дебрусс (Лион, Франция); *c* — фасады хосписа де Бри-Конт-Робер (Париж, Франция); *d* — планы хосписа де Бри-Конт-Робер (Париж, Франция); *e* — фасад хосписа в Шони (Франция); *f* — фасад хосписа Сент-Антуан-де-Падуэ (Конти, Франция)

«я основала этот приют «...» — а Божий Промысл закончит начатое».

И ее дело продолжили многие, например, Аурелия Жуссе в 1843 г. основала второй приют «Голгофа» в Париже, потом ее сподвижницы («Дамы Голгофы») отправились в другие города Франции (Париж, Шони, Конти, Руан, Марсель, Бордо, Сен-Этьен и др.) и в другие страны (Бельгию, Англию, США и т.д.). Современные принципы паллиативной помощи во многом базируются на заповедях «Дам Голгофы» [16].

Архитектура наиболее известных хосписов того периода представляет собой одно-, трехэтажные здания коридорного или галерейного типа или реорганизованные особняки (рис. 11).

Ф. Дэвидсон в 1885 г. открыла дом для умирающих в Лондоне, а позднее дом умиротворения для бедняков с туберкулезом. Р. Хоторн основала дом святой Розы для неизлечимых больных в Нижнем

Манхеттене, облегчая страдания при онкологии [16]. Ирландская монахиня М. Эйкенхед посвятила себя служению тяжелобольным вне монастырских стен, мечтая создать приют для умирающих. После ее смерти сестры милосердия в 1874 г. превратили женский монастырь в бедном квартале Дублина, где люди жили в глубочайшей бедности и часто умирали на улицах, в такой приют. В Австралии (г. Аделаида, г. Сидней) стали открываться хосписы, основанные различными подвижницами католической и англиканской церкви. Мощность учреждений составляла примерно 8–35 койко-мест.

Число хосписов росло благодаря самопожертвованию и вдохновенности отдельных личностей. Появился в начале XX в. также хоспис святого Иосифа в Лондоне (рис. 12). Именно здесь начался путь Сесилии Сандерс (1918–2005), привнесшей значительный вклад в развитие паллиатива.

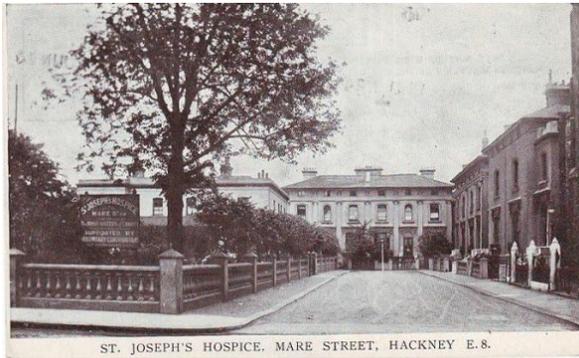


Рис. 12. Хоспис святого Иосифа в Лондоне



Рис. 13. Палата в санатории Паймио Алвара Аалто (1929). Технологичность и отсутствие украшений — типичный интерьер медицинских учреждений XX в.

В XX в. существовал ряд предпосылок для развития новой модели помощи умирающим. Медицинская архитектура с XIX в. развивалась в сторону повышения эффективности, и с учетом растущих социальных и экономических требований приветствовались большие, стандартизированные структуры. Рациональные, технологичные мегабольницы, распространившиеся в Европе после Первой мировой войны, такие как санаторий Паймио Алвара Аалто (рис. 13), выражали модернистские акценты на чистые линии, гигиеничные поверхности и открытую механизированность и стандартизованность обстановки.

Такие крупные больничные системы со временем расширялись, и линейный модернизм усложнялся до лабиринтообразной структуры с длинными коридорами, переходами, резким неоновым освещением, усугубляя ощущение растерянности в пространстве. Мегабольницы, бесспорно, позволяли развивать медицинскую науку, но происходило это, к сожалению, в ущерб средовым вопросам для восстановления пациента. Повышение характеристик функциональности, гигиены шло в ущерб комфорту, даже задевало чувство достоинства пациента. Типовые унылые, стерильные и открытые больничные палаты с рядами коек стали стандартном палат конца XIX в. и оказывали влияние на архитектуру медицинских учреждений в XX в. При этом смерть в больнице считалась неудачей, поэтому умирающих переводили в удаленные помещения, чтобы не беспокоить и не угнетать других пациентов, или в дома презрения, откуда медицинская бригада удалялась, оставляя умирающего без помощи [17, 18].

По словам Эдвина Хиткоута, эмоционально пустая архитектура умаляет святость жизненных порогов, и именно в те моменты, когда мы наиболее нуждаемся в осмысленности и духовном подъеме, мы оказываемся в окружении унылых проявлений гигиены и эффективности [19].

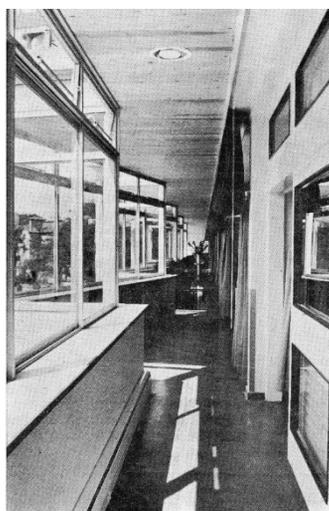
Конфликт между лечением и заботой стал острым в 1950-х гг., требуя новый социальный и архитектурный отклик. Хоспис Святого Кристофера современной модели явился предложением на этот запрос общества. Именно Сесилия Сандерс дала своему учреждению название «хоспис», и в нем появился новый вид помощи — паллиативная («укрывание» от боли) [20]. Идея Сесилии Сандерс, что архитектура хосписа должна быть гибридом между больницей и домом, продолжать религиозную традицию заботы, одновременно предоставляя помещения для современного медицинского обслуживания и исследований, активно распространилась по миру. В этом уникальном здании была создана специфическая пространственная основа, объединяющая три равнозначных функции — общественная организация, больница и уютный дом (рис. 14).



а



б



с

Рис. 14. Хоспис Святого Кристофера (Бромли, Лондон): *a* — архитектурный облик; *b* — интерьер палаты; *c* — консольное дневное пространство

При всей человекоориентированности своего учреждения нельзя было забывать также о необходимости проведения научно обоснованных исследований боли, важных для молодой медицинской отрасли. С этой целью на территории хосписа специально выделены помещения для вскрытия, не освещаемые в брошюрах или публичных обращениях. Эти помещения были построены вне поля зрения, под подъездной дорогой к месту захоронений. Посмертные исследования проводились после получения разрешения членов семьи. Результаты исследований принесли значимый вклад в понимание причин боли у умирающих и дальнейшее обезболивание.

Архитектура здания может очень помочь в реализации философии хосписа тем, чтобы минимизировать усталость персонала и улучшить настроение пациентов, ведь уют и эстетика исцеляют [21]. Такое «одомашненное» пространство позволяло пациентам сосредоточиться на способности вернуться к образу независимой повседневной жизни. Внутренние помещения хосписов были полной противоположностью пространствам мегабольниц: маленькими, удобными для навигации и знакомыми.

Хоспис Святого Кристофера не только повлиял на строительство хосписов по всей Великобритании, но и стал образцом для развития хосписного и паллиативного движения в других странах [22]. Именно отсюда в XX в. начинается всплеск развития паллиатива. Сначала в развитых странах и позже распространяется по всему миру, становясь одним из проявлений человеколюбия и осознанности общества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, можно резюмировать, что эволюция паллиативных учреждений происходила в те-

чение всей жизни человечества, иногда вплетааясь в здравоохранение, но чаще шла по собственному пути. Нельзя считать синонимичными пути развития медицинских и паллиативных учреждений, потому что очень долгие периоды, особенно по мере развития так называемой эффективности медицинского обслуживания, проводилась принципиальная разница между излечимыми и неизлечимыми пациентами не в пользу последних. Как во времена античных богов умирающий оставался наедине с собой, так и во времена «эффективных» мегабольниц умирающего отдаляли в самые неприметные уголки или отправляли домой.

На эволюцию паллиативных учреждений сильное влияние оказывали религиозные и мистические представления, гуманность общества и его традиции.

Величайший вклад в эволюцию паллиатива и развитие медицины в целом внесло христианство. Оно заключалось в создании заботливых общин, приютов, странноприимных домов, хоспиталей, монастырей и других, которые обеспечивали индивидуальный медицинский уход за больными и умирающими, независимо от национальности, социального статуса, возраста или тяжести состояния. В конечном итоге это привело к созданию больниц и паллиативных учреждений в том виде, в котором мы знаем их сегодня.

Эволюция паллиативных учреждений по уходу за безнадежно больными в течение всего периода своего развития продолжалась в значительной степени усилиями отдельных личностей и велениями их человеческого и врачебного долга. Именно их стойкость и гуманность позволили этой нынешней части здравоохранения не зачахнуть, а раскрыться и доказать миру, что, если человека нельзя уже вылечить, это не значит, что ему нельзя помочь.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Клочко А.Р. История развития хосписов, расположенных в границах городов // Academia. Архитектура и строительство. 2023. № 4. С. 43–50. DOI: 10.22337/2077-9038-2023-4-43-50. EDN BRSVHZ.
2. Клочко А. Хосписы в инфраструктуре городов РФ // Проект Байкал. 2021. Т. 18. № 70. С. 162–168. DOI: 10.51461/проектбайкал.70.1908. EDN STUQER.
3. Ferngren G.B., Amundsen D.W. Medicine and Christianity in the Roman Empire: compatibilities and tensions. *Aufstieg und Niedergang der römischen Welt* II.37.3. Berlin : Walter de Gruyter, 1994.
4. Kotgirwar Y. Trends in Hospice Architecture. Seminar and Technical writing-II PA 494. 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.13285.65763
5. Retief F., Cilliers L. The influence of Christianity on medicine from Graeco-Roman times up to the Renaissance // *Acta Theologica*. 2010. Vol. 26. Issue 2. DOI: 10.4314/actat.v26i2.52579
6. Айкен Л. и др. Реформа больниц в новой Европе. М. : Весь мир, 2002. EDN QLWWCV.
7. Закиева Л.Ф. Анализ этапов становления и развития медицинских учреждений // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. № 11–2 (53). С. 73–74. DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.154. EDN XBDNXL.
8. Brown P. The rise of Western Christendom. Oxford : Blackwell, 1997.
9. Cilliers L., Retief F. The evolution of the hospital from antiquity to the end of the middle ages // *Curationis*. 2002. Vol. 25. Issue 4. DOI: 10.4102/curationis.v25i4.80
10. Sigerist H.E. Civilization and disease. Ithaca : Ithaca Press, 1943.
11. Retief F., Cilliers L. Epidemics of the Roman Empire, 27 BC-AD 476 // *South African Medical Journal*. 2000. Vol. 90. Issue 3.
12. Kirsch J.P. St. Fabiola. In *The Catholic Encyclopedia*. New York : Robert Appleton Company, 1909.
13. Aitken J.T., Fuller H.W.C., Johnson D. The influence of Christians in medicine. London : Interscience Press, 1984.
14. Major R.H. A history of medicine. Vol. 1. Springfield : Charles Thomas, 1954.
15. Хаггард Г. От знахаря до врача: история науки врачевания. М. : Центрполиграф, 2012. EDN QMCFJF.
16. Шульчева-Джарман О. Хоспис: приют для отправляющегося в последнее странствие. Сирия, Рим, Франция, Англия, Россия // *Живая вода*. 2014. № 9. URL: <http://aquaviva.ru/journal/khospis-priyut-dlya-otpravlyayushchegosya-v-poslednee-stranstvie-siriya-rim-frantsiya-angliya-rossiya>
17. Aries E. The Hour of Our Death — the Classic History of Western Attitudes Toward Death Over the Last One Thousand Years. New York : Knopf, 1981. Pp. 560–571.
18. Butler C., Erdman A. Hospital Planning. New York : F. W. Dodge corporation, 1946. 154 p.
19. Heathcote E. Architecture and Health // *Architecture of Hope*. 2015. Pp. 52–93.
20. Роберт Твайкросс: Паллиатив — это о качестве жизни // *Pallium: паллиативная и хосписная помощь*. 2020. № 2 (7). С. 51–56. EDN QPSKQB.
21. Amin A. St. Christopher's Hospice: A Space for the Dying. 2015. URL: https://cicelysaundersarchive.wordpress.com/2015/12/14/st-christophers-hospice-a-space-for-dying/#_ftn40
22. Kron J. Designing a better place to die. New York, 1978. Pp. 43–49

Поступила в редакцию 15 октября 2024 г.

Принята в доработанном виде 15 ноября 2024 г.

Одобрена для публикации 15 ноября 2024 г.

ОБ АВТОРЕ: **Асмик Рубеновна Клочко** — кандидат архитектуры, доцент, доцент кафедры архитектуры; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 705985, Scopus: 57200113610, ORCID: 0000-0002-1348-7335; KlochkoAR@mgsu.ru.

INTRODUCTION

Anthropologist Margaret Mead is credited with an interesting thought that she expressed in one of her lectures. When asked what is considered the first sign of civilization, she replied, “A hip bone that has been broken and then fused”. In the wild, she said, an animal with an injury as severe as a broken femur would die. Therefore, a fused human bone means that someone cared for, nursed and protected their mortally wounded kin for

a very long time, such an act and is, in her opinion, a sign of the beginning of human civilization. It is humanity towards the dying that is considered by many researchers to be the basis for the development of civilization.

Throughout virtually all of human history, death came to man for three main reasons: famine, epidemics, or war. As a result of these causes, death came quickly, sometimes suddenly. Therefore, for a very long time, the global task of creating organized long-term assistance to people in their passing away, requiring a state

approach, was not on the agenda. Thus, up to the twentieth century no one had heard anything about palliative care, and any assistance to the suffering in the history of mankind took various forms, was connected with the religious and cultural structure of a given society, had different names, methods and approaches to implementation.

The paper attempts to bring together historical prototypes of palliative care and identify the methods of their architectural organization.

MATERIALS AND METHODS

Review, analysis and synthesis on scientific, historical, art history, literary sources related to the development of architecture of palliative care institutions and their prototypes were performed.

The scientific literature was searched in the scientific electronic e-LIBRARY, in electronic databases Scopus, Web of Science using appropriate keywords, including “architecture of palliative institutions”, “architecture of hospices”, “history of development of palliative institutions”, “history of development of hospices”. An interdisciplinary approach was also applied, taking into account the influence of sociological, religious, psychological aspects on the architectural design of palliative care facilities presented in scientific papers of related fields.

There is still some terminological confusion in the concepts of “hospice” and “palliative care”. To make it clearer, we will give the generally accepted definitions of these concepts.

Hospice (from Latin *hospes* — guest, *hospitalis* — hospitable, friendly to wanderers) is now a medical and social institution to provide assistance in the most severe stages of predominantly oncologic disease [1].

The term “palliative care” (Latin *pallium* — cloak or blanket) symbolizes care aimed at alleviating distressing symptoms in any disease, giving a person a chance to live as long as possible in a familiar way [2].

Despite the similarity of approaches of these institutions, different forms of care are adopted in modern world practice — somewhere by hospices, somewhere by palliative care units.

As for Russia, according to the Order of the Ministry of Health of the Russian Federation and the Ministry of Labour and Social Protection of the Russian Federation¹, palliative care institutions provide care for a large list of incurable progressive diseases or condi-

¹ Approval of the Regulations on the organization of palliative care, including the procedure for interaction between medical organizations, social service organizations and public associations, other non-profit organizations carrying out their activities in the field of health protection : Order of the Ministry of Health of the Russian Federation and the Ministry of Labour and Social Protection of the Russian Federation from 31.05.2019 No. 345n/372n. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72180964/#10000>

tions when treatment options are exhausted, and hospices have some specialization and accept mainly patients with oncological diseases. Thus, at the moment in the Russian Federation palliative care institutions provide care for a wide range of diseases, and hospices are only a part (a branch) of palliative care institutions.

STUDY RESULTS

The evolution of palliative care institutions followed complex paths. A study of the oldest Neolithic settlements in Mesopotamia, dating back 50,000 years, shows that cave dwellers were already then organizing rudimentary dwellings designed, among other things, to care for sick, injured and dying tribesmen.

Since early antiquity, religion, magic and supernatural factors have had a strong influence on health care systems and the care of neighbors. People realized that many things in life, especially poor health, were beyond their control [3, pp. 2957–2980]. In some cultures, death was associated with the underworld, witchcraft, and darkness, while in others the opposite sentiment was reinforced (for example, in ancient Egypt the afterlife was considered liberation). Simultaneously with the magical religious interpretation of the issues of life and death since the time of Homer there were doctors practicing the beginnings of empirical medicine, and in the 5th and 4th centuries B.C. the doctors of Hippocrates laid the foundations of rational (scientific medicine). Early Egypt and Mesopotamia also had physicians practicing elementary empirical (secular) medicine.

In any case, no matter how death has been treated for many centuries and even millennia, traditions have placed the responsibility for caring for the dying on their closest relatives. And traditions of burial, funeral, and mourning helped mitigate the inevitable agony of loved ones [4].

In the period of Antiquity, ancient civilizations on the shores of the Mediterranean believed in many gods or goddesses whose magical powers influenced health [5, pp. 259–260]. In ancient Greece, priests were engaged in ritual treatment of patients in temple hospitals, the so-called asclepians, which were not intended for long-term stay [6] (Fig. 1).



Fig. 1. Ruins of the asclepeion of Cosa (temple of the god of medicine Asclepius)



Fig. 2. Catacombs under the church of Sant' Agnese fuori le Mura in Rome, where Christians took care of the sick and dying in times of persecution [6]

In the 1st century BC, Ancient Rome had medical centres designed only for the care of military personnel [7].

With all these first steps in the development of organized health care aimed at treatment and recovery, assistance to the dying was not provided in an organized and systematic way. More often than not, the decision of the gods, who passed a death sentence on someone, was not challenged by anyone, so as not to offend the gods, who expressed their displeasure and sent down a fatal disease [1]. And the representatives of secular medicine did not spend much effort to care for the dying either [5, pp. 259–260].

Many scientists believe that hospitals, asylums and other prototypes of palliative institutions in the modern sense appeared only with the spread of Christianity and the idea that “man was created in the image and likeness of God”. The soul and body were seen as inextricably linked, and care of the body was not to be neglected.

Christianity emerged at a time when magic and supernatural factors played a huge role in health care. Christian ethics of almsgiving, piety of active love for neighbor and care accepted by the church made it a sacred duty of all Christians to visit the elderly, the poor and the sick [8, p. 31]. And this led to the formation of the foundations of the palliative (hospice) movement. The modern concept of the hospital also originated in early Christian communities [9, pp. 60–66], and their compassion and long-term care for the suffering were fundamentally different from anything previously known [10, pp. 68–70].

Neither the pagan temples nor the secret religions created caring communities like those that emerged in early Christianity [3, p. 2976]. In time, even those Roman emperors who organized persecutions against Christians spoke positively about their tireless help to all the wounded, dying (Fig. 2) [3, p. 2974; 11, pp. 267–272].

What is fundamentally important for the development of the foundations of the palliative (hospice)

movement, Christian medical ministry continued despite poor prognoses for cure until the death of the person. Many researchers believe that Hippocratic physicians (Greco-Roman secular medicine) would probably have abandoned patients in such situations [5, p. 266].

In the fourth through sixth centuries, the church experienced progressive changes. The ascetic “apostolic” faith was introduced into the cult, which contributed to the widespread use of hermits and “holy men” [8, p. 41, 42]. At temples and monasteries began to open orphanages and orphanages for the elderly, strange houses (some kind of shelters for pilgrims, which can also be considered prototypes of palliative institutions and hospices), hospitals.

A vivid example of Christian service to the dying was the life of the noble Roman matron Fabiola (St. Fabiola). In the second half of the fourth century, after the death of her husband and under the influence of St. Jerome, she renounced all earthly pleasures and devoted herself to the practice of Christian asceticism and charitable work. She was influenced by the traditions of Syrian Christians to obey the commandments of Christ unquestioningly in feeding the hungry, helping the sick, giving to the poor, and sheltering the hermit. She gave up all that the world had to offer and devoted her great wealth to the needs of the poor, the sick, the dying. Together with St. Senator Pammachius of Rome, Fabiola created the first strange house in the West, a large orphanage for pilgrims coming to Rome, as well as hermits and “holy men” whose fate was to die in the streets. This orphanage was one of the forerunners of hospices, hospitals and hospitals in Europe. The remains of the orphanage were discovered during excavations under the church of Santi Giovanni e Paolo in Rome. Matron Fabiola also took part in the construction of the hospital in Ostia, which became famous all over the world. She took care of the patients herself, not neglecting even those with wounds and sores from leprosy. All her interests were centered on the needs of the church and the care of the poor and suffering [12]. For many such care proved to be healing, and the terminally ill went to the next world surrounded by kindness and care.

The rise of monasticism led to the establishment of monasteries, often serving as educational, social, cultural, and medical institutions under religious control. Treatment was provided by secular physicians or trained monks, treating anyone in need. Some of these monasteries, such as those of St. Basil in Caesarea and St. Benedict (Fig. 3) in Montecassino, became centres of advanced medicine in the fourth and fifth centuries. Here classical texts were collected and transcribed and some medical disciplines were taught [13, pp. 9–13].

In addition to the development of monastic medicine, which played an important role in promoting the development of health care in general, this period was characterized by the spread of pilgrimages to Jerusalem, to the Holy Sepulchre. Through the efforts of the Crusaders, hospices (from Latin *hospes* — guest,



Fig. 3. The Monastery of St. Benedict in Montecassino — a textbook example of Neapolitan Baroque (destroyed by an earthquake in 1349, rebuilt in 1366, it took its modern form only in the XVII century)

hospitalis — hospitable, friendly to wanderers) began to appear and spread in cathedrals, monasteries, both male and female, and, of course, on the main routes of the great pilgrimage route to the Holy Land, which eased the difficult ordeal of pilgrims (Fig. 4). The etymology of the word “hospital”, homonymous with “hospice”, was not associated with dying. A Crusader-era hospice was a guest house and healing center, serving to stop, respite, recuperate, and restore weary, sick, or exhausted pilgrims. Beds, meals, and medical care were provided here.



Fig. 4. The main routes of Christian pilgrims along which the prototypes of palliative institutions were located



Fig. 5. St. Bartholomew's Hospital, medieval period

For example, merchants from the Duchy of Amalfi (an independent state centered in the southern Italian city of Amalfi in the X–XI centuries, lat. Ducatus Amalphitanus) in about 1,080 founded a hospital in Jerusalem, dedicated to John the Baptist, to care for sick, poor or wounded pilgrims to the Holy Land.

In the early 14th century, the order of Knights of the Hospital of St. John of Jerusalem (Hospitaliers), seeking to foster religious devotion and charity for the poor, opened a hospice on the island of Rhodes, designed to provide shelter for travelers and care for the sick and dying.

Importantly, they did not deny help to others in need — the sick and dying poor, strangers who found themselves separated from home for one reason or another, and others.

As the population of European cities began to grow in the 7th–11th centuries, monasteries could no longer cope with the influx of patients. Secular medicine began to develop, medical schools appeared in the new medieval universities of Salerno (XI c.) and Montpellier (XII c.) [13, pp. 37–40]. Universities in Paris, Oxford, Cambridge, Bologna and Padua followed them in the XIII–XIV centuries. [14, pp. 312–333]. Despite the fact that these educational institutions were under the control of the church, they based their curricula on classical secular medicine with a significant contribution from Islamic sources [5, pp. 271–272]. Urban public hospitals financed by the city authorities, the church and private individuals began to emerge (Fig. 5). The main religious motive — active love for neighbor — was still dominant, and the connection between the hospital and religion remained unbreakable for a long time. This can be seen, for example, in the master plan of the territories: a chapel was necessarily laid near the new hospital.

One of the typical examples of hospitals of that time is the Hôtel-Dieu (641–649), founded by the dictates of mercy of St. Landry, Bishop of Paris (Fig. 6). The conditions of this hospital were similar to all such institutions of the time and are interesting in their architectural organization. The care of the sufferers was provided by novices and novices' novices. The capacity of the hospital was 1,200 beds, of which only 486 were



Fig. 6. Chamber at Hôtel-Dieu from a sixteenth-century engraving



Fig. 7. Placement of the dying in several persons per bed. Museum of Social Resistance, Paris



Fig. 8. Patient in a bed with a corpse in a charitable hospital, 16th–17th century. Engraving by Daumier

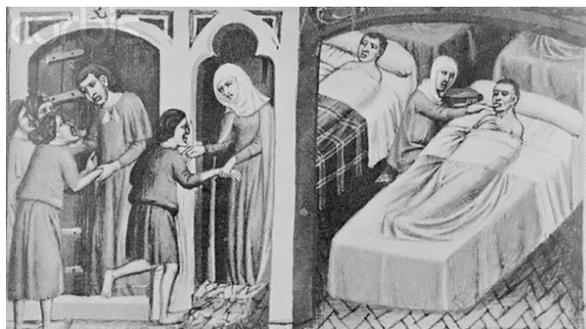


Fig. 9. Engraving of the XIII century — reception of travelers and care of the sick in a hospice



Fig. 10. St. Gotthard's Hospice (St. Gotthard Pass, Switzerland)

individual beds. The remaining beds were 1.5 m wide and could accommodate up to six patients at a time (Fig. 7). Men, women, children, old people “burned” by severe infection, women in labor, convalescing and dying patients could lie in one bed at the same time. The corridors were poorly lit and unventilated, but even here up to 800 patients lay on straw. The bodies of the dead were usually left in the beds until the stench appeared (Fig. 8). Eight children’s beds were also organized, accommodating about two hundred newborns and older children at a time. In such a sanitary-hygienic and functionally ill-conceived environment, the mortality rate reached 20 % [15]. Thus, the architectural organization of the space was rudimentary, and patients did not receive what they needed — isolation, hygiene, and regular nutrition of normal quality.

Yet, despite the frightening descriptions of the conditions of those hospitals, these are the origins of healing and the development of organized medical institutions.

Through the efforts of the Crusaders, pilgrimage shelters — hospices for pilgrims — continued to be actively built along the pilgrimage routes in parallel with the development of the first medical institutions (Fig. 9). The Middle Ages was the period of their flourishing (for example, the hospice of St. Gotthard on the route through the Alps connecting northern and southern Switzerland, on the St. Gotthard Pass, was a refuge for pilgrims since 1237) (Fig. 10).

Along with the Middle Ages, as the influence of religious orders dissipated, the heyday of asylums — hospices for pilgrims and others in need — ended.

The development of medical institutions went its own way and, if to describe in large features, in the VIII century there is a gradual separation of the hospital from the church, charitable and public institutions providing medical services began to develop, and since the XIX century the state began to take an active part in the formation of health care as a separate industry that provides medical care to the population. And if the development of the medical sphere is seven-mile steps towards technological transformation, standardization, expansion of outpatient departments, increasing the capacity of institutions, the palliative hospice movement was in deep decline. As so-called efficiency of care evolved, medical institutions began to distinguish between “curable” and “incurable” patients not in favor of the latter.

Since the mid-nineteenth century, the evolution of palliative care facilities for the hopelessly ill has continued to be geographically pinpointed by the efforts of individuals and the dictates of their human and medical duty.

In France, Jeanne Garnier opened a hospice for dying women in her home in Lyon in 1842, calling it Calvary, where an atmosphere of “respectful intimacy, prayer and tranquility in the face of death” prevailed. A year after opening the hospice, Jeanne died, writing shortly before her death, “I founded this shelter “...” — and God’s Providence will finish what I started”.



Fig. 11. Architecture of hospices of the XIX – early XX centuries: *a* — facade of the Debrousse hospice (Lyon, France); *b* — plans of the Debrousse hospice (Lyon, France); *c* — facades of the Hospice de Brie-Cont-Robert (Paris, France); *d* — plans of the Hospice de Brie-Cont-Robert (Paris, France); *e* — facade of the hospice in Chauny (France); *f* — facade of the hospice of St. Antoine de Padoue (Conti, France)

And her work was continued by many, for example, Aurelia Jusset in 1843 founded the second “Calvary” orphanage in Paris, then her companions (“Ladies of Calvary”) went to other cities in France (Paris, Chauny, Conti, Rouen, Marseille, Bordeaux, Saint-Etienne, etc.) and to other countries (Belgium, England, USA, etc.). Modern principles of palliative care are largely based on the precepts of the “Ladies of Calvary” [16].

The architecture of the most famous hospices of that period is one-, three-story buildings of corridor or gallery type or reorganized mansions (Fig. 11).

F. Davidson opened a home for the dying in London in 1885 and later a house of tranquility for the poor with tuberculosis. R. Hawthorne founded St. Rose’s Home for the terminally ill in Lower Manhattan, alleviating suffering in oncology [16]. Irish nun M. Akenhead devoted herself to serving the seriously ill outside

the convent walls, dreaming of creating an orphanage for the dying. After her death, the Sisters of Charity in 1874 turned a convent in a poor neighborhood of Dublin, where people lived in deep poverty and often died in the streets, into such a shelter. In Australia (Adelaide, Sydney) hospices began to open, founded by various ascetics of the Catholic and Anglican churches. The capacity of the institutions was about 8–35 beds.

The number of hospices grew due to the sacrifice and inspiration of individuals. St. Joseph’s Hospice in London also appeared in the early 20th century (Fig. 12). It was here that the journey of Cecilia Saunders (1918–2005), who made a significant contribution to the development of palliative care, began.

In the twentieth century there were a number of preconditions for the development of a new model of care for the dying. Medical architecture had been

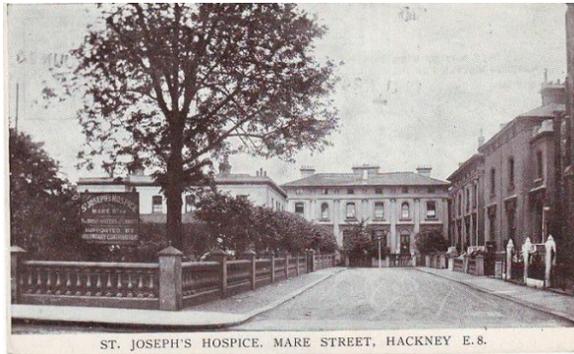


Fig. 12. St. Joseph's Hospice in London



Fig. 13. A ward in Alvar Aalto's Paimio sanatorium (1929). Technologization and lack of ornamentation are typical of the interior of twentieth-century medical institutions

evolving towards greater efficiency since the nineteenth century, and large, standardized structures were welcomed in response to growing social and economic demands. The rational, technologically advanced mega hospitals that proliferated in Europe after World War I, such as Alvar Aalto's Paimio Sanatorium (Fig. 13), expressed modernist emphases on clean lines, hygienic surfaces, and open mechanized and standardized environments.

Such large hospital systems expanded over time, and linear modernism became complicated to a labyrinthine structure with long corridors, passages, and harsh neon lighting, adding to the sense of confusion

in the space. Mega hospitals undoubtedly allowed for the advancement of medical science, but this was unfortunately at the expense of environmental issues for patient recovery. Increasing the characteristics of functionality, hygiene came at the expense of comfort, even hurting the patient's sense of dignity. The typical dull, sterile and open hospital wards with rows of beds became the standard ward of the late nineteenth century and influenced the architecture of medical institutions in the twentieth century. At the same time, death in the hospital was considered a failure, so the dying were transferred to remote rooms so as not to disturb or oppress other patients, or to houses of contempt, from which the medical team would depart, leaving the dying unattended [17, 18].

According to Edwin Heathcoat, emotionally empty architecture detracts from the sanctity of life's thresholds, and it is at those moments when we are most in need of meaningfulness and spiritual uplift that we find ourselves surrounded by dismal displays of hygiene and efficiency [19].

The conflict between treatment and care became acute in the 1950s, demanding a new social and architectural response. St. Christopher's Hospice of the modern model was a proposal to this societal demand. It was Cecilia Saunders who gave her institution the name "hospice" and a new kind of care, palliative ("sheltering" from pain) [20]. Cecilia Sanders' idea that hospice architecture should be a hybrid between a hospital and a home, continuing the religious tradition of care while providing facilities for modern medical care and research, spread actively around the world. This unique building created a specific spatial framework that combines three equivalent functions — community organization, hospital, and comfortable home (Fig. 14).

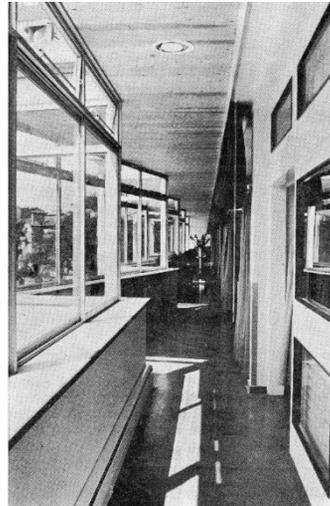
For all the human-centeredness of their institution, the need for evidence-based pain research, important to the young medical industry, could not be overlooked either. To this end, the hospice grounds were specifically designated autopsy rooms, not covered in brochures or public addresses. These rooms were built out of sight, under the access road to the burial site. Postmortem examinations were conducted after obtaining permission from family members. The results



a



b



c

Fig. 14. St. Christopher's Hospice (Bromley, London): *a* — architectural appearance; *b* — ward interior; *c* — cantilevered day space

of the studies have made a meaningful contribution to the understanding of the causes of pain in the dying and further pain management.

The architecture of the building can greatly help in implementing the philosophy of hospice by minimizing staff fatigue and improving the mood of patients, because comfort and aesthetics heal [21]. This “domesticated” space allowed patients to focus on the ability to return to a pattern of independent daily living. The interior spaces of hospices were the exact opposite of mega-hospital spaces: small, easy to navigate, and familiar.

St. Christopher's Hospice not only influenced the construction of hospices throughout the UK, but also became a model for the development of the hospice and palliative care movement in other countries [22]. It is from here that the development of palliative care begins to surge in the twentieth century. First in developed countries and later spreads all over the world, becoming one of the manifestations of humanity and awareness of the society.

CONCLUSION AND DISCUSSION

Thus, it can be summarized that the evolution of palliative care institutions has occurred throughout the life of humanity, sometimes intertwined with health care, but more often following its own path. The paths of medical and palliative care institutions cannot be

considered synonymous, because for very long periods, especially as the so-called efficiency of medical care developed, a fundamental distinction was made between curable and incurable patients, not in favor of the latter. Just as in the days of the ancient gods the dying were left to their own devices, so in the days of “efficient” mega-hospitals the dying were relegated to the most inconspicuous corners or sent home.

The evolution of palliative care was strongly influenced by religious and mystical beliefs, the humanity of society and its traditions.

The greatest contribution to the evolution of palliative care and the development of medicine in general was made by Christianity. It consisted in the creation of caring communities, asylums, strange houses, hospices, monasteries and others that provided individualized medical care for the sick and dying, regardless of nationality, social status, age or severity of condition. This eventually led to the establishment of hospitals and palliative care facilities as we know them today.

The evolution of palliative care facilities for the hopelessly ill has continued throughout its development largely through the efforts of individuals and the dictates of their human and medical duty. It is their resilience and humanity that has allowed this present-day part of health care not to wither away, but to open up and prove to the world that just because a person cannot be cured does not mean that he or she cannot be helped.

REFERENCES

1. Klochko A.R. The history of development of hospices located within the boundaries of cities. *Academia. Architecture and Construction*. 2023; 4:43-50. DOI: 10.22337/2077-9038-2023-4-43-50. EDN BRSVHZ. (rus.).
2. Klochko A. Hospices in the infrastructure of the cities of the RF. *Project Baikal*. 2021; 18(70):162-168. DOI: 10.51461/projectbaikal.70.1908. EDN CTUQER. (rus.).

3. Ferngren G.B., Amundsen D.W. Medicine and Christianity in the Roman Empire: compatibilities and tensions. *Aufstieg und Niedergang der römischen Welt II.37.3*. Berlin, Walter de Gruyter, 1994.
4. Kotgirwar Y. Trends in Hospice Architecture. *Seminar and Technical writing-II PA 494*. 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.13285.65763
5. Retief F., Cilliers L. The influence of Christianity on medicine from Graeco-Roman times up to the Renaissance. *Acta Theologica*. 2010; 26(2). DOI: 10.4314/actat.v26i2.52579
6. Aiken L. et al. *Hospital reform in new Europe*. Moscow, The Whole world, 2002. EDN QLWWCV. (rus.).
7. Zakieva L.F. The analysis of the stages in development and formation of health care facilities. *International Research Journal*. 2016; 11-2(53):73-74. DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.154. EDN XBDNXL. (rus.).
8. Brown P. *The rise of Western Christendom*. Oxford, Blackwell, 1997.
9. Cilliers L., Retief F. The evolution of the hospital from antiquity to the end of the middle ages. *Curationis*. 2002; 25(4). DOI: 10.4102/curationis.v25i4.80
10. Sigerist H.E. *Civilization and disease*. Ithaca, Ithaca Press, 1943.
11. Retief F., Cilliers L. Epidemics of the Roman Empire, 27 BC-AD 476. *South African Medical Journal*. 2000; 90(3).
12. Kirsch J.P. St. Fabiola. In *The Catholic Encyclopedia*. New York, Robert Appleton Company, 1909.
13. Aitken J.T., Fuller H.W.C., Johnson D. *The influence of Christians in medicine*. London, Intervarsity Press, 1984.
14. Major R.H. *A history of medicine*. Vol. 1. Springfield, Charles Thomas, 1954.
15. Haggard H. From medicine man to doctor. *History of the Science of Healing*. Moscow, Centerpoligraf, 2012. EDN QMCFJF. (rus.).
16. Shulcheva-Dzharman O. *Hospice: a shelter for the last journey*. Syria, Rome, France, England, Russia. Living Water. 2014; 9. URL: <http://aquaviva.ru/journal/khospis-priyut-dlya-otpravlyayushchegosya-v-poslednee-stranstvie-siriya-rim-frantsiya-angliya-rossiya> (rus.).
17. Aries E. *The Hour of Our Death — the Classic History of Western Attitudes Toward Death Over the Last One Thousand Years*. New York, Knopf, 1981; 560-571.
18. Butler C., Erdman A. *Hospital Planning*. New York, F.W. Dodge corporation, 1946; 154.
19. Heathcote E. Architecture and Health. *Architecture of Hope*. 2015; 52-93.
20. Robert Twycross: “Palliative care is about quality of life”. *Pallium: Palliative and Hospice Care*. 2020; 2(7):51-56. EDN QPSKQB. (rus.).
21. Amin A. *St. Christopher’s Hospice: A Space for the Dying*. 2015. URL: https://cicelysaundersarchive.wordpress.com/2015/12/14/st-christophers-hospice-a-space-for-dying/#_ftn40
22. Kron J. *Designing a better place to die*. New York, 1978; 43-49.

Received October 15, 2024.

Adopted in revised form on November 15, 2024.

Approved for publication on November 15, 2024.

BIONOTES: Asmik R. Klochko — Candidate of Architecture, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Architecture; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 705985, Scopus: 57200113610, ORCID: 0000-0002-1348-7335; KlochkoAR@mgsu.ru.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER
УДК 711.00:711.11:332.05:316.334.5:004.383.8
DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.5

Формирование градостроительного информационно-коммуникационного портала

Надежда Александровна Самойлова^{1,2}, Игорь Валентинович Москаленко³

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия;

² Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (ЦНИИП Минстроя России); г. Москва, Россия;

³ Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Предмет методологического исследования — описание нововведения в исследовательской практике для регулирования среды жизнедеятельности. Представлена схема систематизации сведений и данных, необходимых для создания системы поддержки принятия градостроительных решений и взаимосвязи основных градостроительных процессов для разработки градостроительного информационно-коммуникационного портала (ГИКП), кратко схема СППР — модификация и генерация существующих методов исследования, в том числе связанных с ситуационными центрами, в основе которых научные школы организационно-деятельностных игр, организационного управления и методологии разработки информационных систем и концептуального анализа, системно-мыслительностной методологии.

Материалы и методы. Проведены изучение, обобщение и анализ общемировых тенденций применения новых цифровых технологий (в том числе отечественных порталов (сайтов) для планирования и создания проектной документации с целью градостроительной трансформации территории и объектов), включая возможности искусственного интеллекта в сфере градостроительства для регулирования среды жизнедеятельности.

Результаты. Предложен портал ГИКП для коммуникации всех заинтересованных участников градостроительной деятельности (ЗУГД) по всем возможным типам (условно разделенным на: «Власть», «Бизнес», «Общество», «Индивид»). Научную основу такого коммуникации составляют сформированные предикаты соотношений заказчиков градостроительной трансформации территории; а также три кванторные формулы для принятия градостроительных решений по различным видам градостроительной трансформации территории. Логические взаимосвязи между такими формулами представлены в виде предикатов: первый — общее выражение для принятия градостроительного решения на территории; второй — частное выражение для принятия градостроительного решения; третий — выражение о существовании градостроительного решения, для которого учтены один или более релевантных факторов каждого ЗУГД, относительно одного или нескольких признаков территории, для которой осуществляется поиск градостроительного решения на территории.

Выводы. Представлена гипотеза об описании взаимодействия для ЗУГД, в том числе для улучшения и защиты работы градостроителя в виде схемы СППР, которая может лечь в основу создания предложенного цифрового инструмента. ГИКП — это научно обоснованный портал с использованием возможностей искусственного интеллекта (веб-сайт и/или мобильное приложение), который предоставит пользователям доступ к специальной программе системы поддержки принятия решений с использованием сквозных цифровых технологий, включая веб-картографию, ГИС и др.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: градостроительство, градостроительная деятельность, сквозные цифровые технологии в градостроительстве, система поддержки принятия решений в градостроительстве, заинтересованные участники градостроительной деятельности: «Власть», «Бизнес», «Общество», «Индивид», градостроительный информационно-коммуникационный портал, предикаты соотношений пользователей градостроительным информационно-коммуникационным порталом, схема системы поддержки принятия решений в градостроительстве, искусственный интеллект

Благодарности. Авторы выражают благодарность директору ЦНИИП Минстроя России, кандидату экономических наук Д.В. Михееву; директору Института архитектуры и градостроительства НИУ МГСУ, доктору искусствоведения А.Ю. Казаряну; заведующему кафедрой градостроительства НИУ МГСУ, доктору технических наук Н.В. Данилиной; заведующему кафедрой информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве НИУ МГСУ, кандидату технических наук О.Н. Кузиной; анонимным рецензентам статьи. Работа выполнена в рамках государственных фундаментальных научных исследований Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.) в рамках Плана фундаментальных научных исследований РААСН и Минстроя России на 2024–2025 гг. по теме «Концептуальные основы применения искусственного интеллекта в сфере градостроительства для регулирования среды жизнедеятельности».

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Самойлова Н.А., Москаленко И.В. Формирование градостроительного информационно-коммуникационного портала // Строительство: наука и образование. 2025. Т. 15. Вып. 2. Ст. 5. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.5

Автор, ответственный за переписку: Надежда Александровна Самойлова, SamoylovaNA@gic.mgsu.ru

Formation of urban information and communication portal

Nadezhda A. Samoylova^{1,2}, Igor V. Moskalenko³

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation;

² Centre Institute for Research and Design of the Ministry of Construction and Housing and Social Services
of the Russian Federation; Moscow, Russian Federation;

³ Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK); Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Scheme for systematizing information and data required to create an urban planning decision support system and interrelating the main urban planning processes for developing an Urban Information and Communication Portal.

Materials and methods. The Scheme DSS in Urban Planning is a modified and generated version of existing research methods. It is based on scientific schools of organizational-action games, organizational management, methodology of information systems development, and conceptual analysis, as well as system-mind-action methodology related to situation centres.

Results. The study formed predicates of relations. The Urban Information and Communication Portal includes stakeholders from four groups involved in urban planning activities: "Public authorities", "Businesses", "Communities" and "Property owners". In addition, quantifier formulas are used to make urban planning decisions for different types of territory transformation. The logical relationships between these formulas are presented in the logic of predicates. The decision-making process for urban planning on a specific territory is expressed in formula 1. The expression formula 2 is used to make an urban planning decision, while expression formula 3 confirms the existence of an urban planning decision. This decision takes into account the relevant factors of each stakeholder involved in urban planning activities and considers one or more attributes of the territory.

Conclusions. This hypothesis can serve as the foundation for developing a new digital tool, the Urban Information and Communication Portal with access to a decision support system that employs end-to-end digital technologies such as web mapping, GIS, and artificial intelligence.

KEYWORDS: Urban Planning and Urban Development, End-to-end digital technologies can be used in urban planning, Decision Support System in Urban Planning, Stakeholders in urban planning decision support system and interrelating the main urban planning processes for developing an involved in urban planning activities include "Public authorities", "Businesses", "Communities" and "Property owners", Urban Information and Communication Portal, Scheme for systematizing information and data required to create Urban planning information and communication portal, artificial intelligence

Acknowledgments. The authors express their gratitude to the Director of the Centre Institute for Research and Design of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation, Candidate of Economic Sciences D.V. Mikheev; the Director of the Institute of Architecture and Urban Planning of the National Research University Moscow State University of Civil Engineering, Doctor of Art History A.Yu. Kazaryan; the Head of the Department of Urban Planning of the Moscow State University of Civil Engineering, Doctor of Technical Sciences N.V. Danilina; the Head of the Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction of the National Research University Moscow State University of Civil Engineering, Candidate of Technical Sciences O.N. Kuzina; and an anonymous review of the report. Kuzina; and anonymous reviewers of the paper. The work was carried out within the framework of the state fundamental scientific research of the Russian Federation for the long-term period (2021–2030) within the framework of the Fundamental Scientific Research Plan of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences and the Ministry of Construction of the Russian Federation for 2024–2025 on the topic "Conceptual Foundations of the Application of Artificial Intelligence in the Field of Urban Planning to Regulate the Living Environment".

FOR CITATION: Samoylova N.A., Moskalenko I.V. Formation of urban information and communication portal. *Construction: Science and Education*. 2025; 15(2):5. URL: <http://inso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.5

Corresponding author: Nadezhda A. Samoylova, SamoylovaNA@gic.mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В целом за рубежом научно-практические исследования развития технических средств и математических методов управления процессами со второй половины XX в. учитывают и усложнение обстановки, и повышение требований к управлению, и необходимость создания мощных методов повышения эффективности в принятии решений, и поиски «полной цифровой» модели системы управления с внедрением ЭВМ и математических моделей. В отечественной науке со второй половины XX в. были научные исследования системно-кибернетического градостроительства [1], а в 70-е гг. XX в. в перево-

де Спартака Никанорова (работавшего в научно-исследовательском институте Госстроя СССР) одна из первых по системотехнике и системному анализу появилась книга С. Янга [2] для лиц, практически занимающихся совершенствованием организации и управления, а также ведущих методологическую и теоретическую работу в этой области в процессе принятия решений.

Процессы глобализации исследований, использование географических информационных систем (ГИС) и сверхбольших объемов данных (big data) аналогично средствам промышленного производства определяют необходимость их финансирования, выявления приоритетных направлений иссле-

дований. Однако отечественная градостроительная наука пока не стала достойным элементом государственной политики для практического совершенствования социально-экономической, экологической, культурной и других сфер бытия техногенной цивилизации.

В последние годы появился новый виток возможностей искусственного интеллекта (ИИ) в развитии изучения принятия решений с вовлечением широкого круга заинтересованных участников, в том числе в сфере градостроительства для регулирования среды жизнедеятельности. Отметим лишь ряд изданий, оказавших наибольшее влияние на исследование — книги [3–5], статьи [6–15].

Заинтересованные участники в градостроительной деятельности (ЗУГД¹) условно разделены на типы: «Власть», «Бизнес», «Общество», «Индивид» [16].

Такие ЗУГД вступают между собой во взаимодействие при перманентной градостроительной трансформации территории и объектов на ней. В настоящее время в сфере градостроительного регулирования за рубежом есть различные цифровые

инструменты, содержащие отдельные элементы предлагаемого градостроительного информационно-коммуникационного портала (ГИКП):

- веб-платформа информации данных² международной компании Urban Interface в Kohn Pedersen Fox, Scout (KPF.com) на основе открытого сбора информации с возможностью взаимодействовать с обществом;

- инструмент CityMatrix³ (США), который помогает как профессиональным, так и непрофессиональным пользователям лучше понять город, чтобы принимать совместные и обоснованные решения (обработка и анализ количественных и качественных данных) [17];

- программный фреймворк FixMyStreet.com⁴ с открытым исходным кодом от mySociety (Великобритания), который позволяет запустить веб-сайт для сбора информации об уличных проблемах и сообщениях о них, способен обрабатывать различные карты, включая OpenStreetMap;

- платформа CitizenLab⁵ для вовлечения граждан в работу местных органов власти в Бельгии — система моделирования городов с открытым исходным кодом для прогнозов потенциальных результатов различных транспортных инвестиций и политики землепользования, активного гражданского участия в зачастую спорных дебатах о транспортной инфраструктуре или земельной политике с неравномерным распределением выгод и затрат [18];

- портал UrbanSim⁶ с применением ИИ в США, Южной Африке, Европе (Франция, г. Париж; Швейцария г. Цюрих) и других странах и городах сокращает время, усилия и затраты на планирование проектов градостроительной трансформации, одновременно повышая уверенность в том, что они приведут к желаемым результатам.

Полных аналогов предлагаемого ГИКП за рубежом не имеется.

Значимые проекты городских цифровых двойников успешно развиваются, например, в Сингапуре, Австралии, Новой Зеландии. С 2023 г. управление Сингапура (MAS) совместно с Google Cloud запустило разработку на основе генеративного ИИ, официальную платформу для управления на уровне города. Такая платформа под названием AI Government Cloud Cluster (AGCC) на базе «облачных» технологий используется для разработки государственных проектов в сфере ИИ. Органам публичной власти («Власть») и частному сектору («Бизнес») будут доступны разнообразные модели ИИ для создания различных сервисов. В частности,

¹ В России ЗУГД («Власть», «Бизнес», «Общество», «Индивид») имеют следующие идентификационные признаки каждого типа по характерной деятельности:

1. «Власть» в соответствии с установленными полномочиями (Конституция РФ, Федеральный закон от 21.12.2021 № 414-ФЗ «Об общих принципах организации публичной власти в субъектах Российской Федерации» и от 06.10.2003 № 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации») осуществляет градостроительное регулирование как совокупность решений, определяющих цели, принципы и характер градостроительной деятельности, порядок ее регулирования, меры установления и обеспечения соблюдения этого порядка.

2. Коммерческие и некоммерческие организации, осуществляющие свою деятельность на территории или оказывающие воздействие на территории и объекты на ней кратко, обозначим «Бизнес» (от англ. слова business — дело). Бизнес — это деятельность, которую регламентирует Гражданский кодекс РФ, для организации и предприятия различных форм собственности.

3. «Общество» — различные общественные объединения в среде жизнедеятельности, идентифицируемые по использованию материальных объектов и (или) территорий или выражающие потребности в них; их деятельность регламентирует Федеральный закон от 19.05.1995 № 82-ФЗ «Об общественных объединениях».

4. «Индивид» — все физические и юридические лица, обладающие правами на землю и (или) на объекты в соответствии с Земельным кодексом Российской Федерации, Федеральным законом от 13.07.2015 № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости», их деятельность связана с обретением, защитой и трансформацией территории и объектов на ней.

² URL: <http://scout.build>

³ URL: <https://www.media.mit.edu/projects/citymatrix/overview/>

⁴ URL: <https://fixmystreet.org/>

⁵ URL: www.citizenlab.com

⁶ URL: www.urbansim.com

одним из первых планируется создание Государственным технологическим агентством (GovTech) Сингапура чат-бота, который государственные служащие смогут использовать для повышения производительности труда, контроля соблюдения нормативных требований и пр.

При этом многие исследователи [19–27] уже осознают, что любые карты, в том числе цифровые (несмотря на относительную концептуальную автономию математических и технических построений и действий, необходимых для изготовления карты), ни в коем случае не могут рассматриваться как нечто автономное.

Любая карта эмерджентна, существенно инструментальна, ситуативна и обладает значимостью лишь в той мере, в какой она является частью более широких систем, сетей и контекстов, в которые она функционально включена. Карта предполагает не только изготовителя, но и потребителя — того, кто ее читает. Причем процесс прочтения, вызываемый к жизни решением какой-либо конкретной задачи, может быть интерпретирован как творческая дорисовка имеющейся «несовершенной» карты до той ее необходимой экспликации, которая как можно более полно подходит для решения поставленной задачи [24].

В статье «Переосмысляя карты» [25], по мнению Роба Китчина из Ирландского национального университета в Мейноте (NUIM) и Мартина Доджа из Манчестерского университета Великобритании, карты ситуативны и порождаются практиками (телесными, социальными, техническими), а картографирование представляет собой процесс непрерывной ретерриториализации (это когда люди в каком-либо месте начинают сами создавать какой-либо аспект популярной культуры, осуществляя это в контексте своей местной культуры и делая его своим собственным) с использованием всего спектра картографических практик, в том числе профессиональной картографии, контркартографирований⁷, соучаствующего картографирования и перформативных⁸ картографирований [21].

Современные информационно-коммуникационные системы (ИКС) в виде веб-порталов и геоинформационные системы в виде веб-картографических порталов, в том числе содержащих 3D-графическое представление местности, а также СИМ-технологии (City Information Modeling) для целей градостро-

ительного управления, относятся к комплексному способу фиксации материального и нематериального мира [28–30]. Пока применение СИМ-технологии в градостроительстве только набирает обороты, но отдельные территории и объекты на них уже обрели цифровых двойников, что очень сильно упрощает прогнозирование, планирование, проектирование на территории.

Однако в России пока еще недостаточно проработаны возможности коммуникаций в градостроительном прогнозировании, планировании и проектировании, которые осуществляются в контексте множества обстоятельств, охватывают федеральные, региональные, муниципальные и корпоративные уровни управления, и при этом учитывают политические, экономические, социальные и технологические факторы, а также исторические и национальные особенности, градостроительную типологию территорий.

С учетом развития современных сквозных цифровых технологий (ЦТ) в градостроительстве и особенно с учетом стремительно развивающихся возможностей применения ИИ предлагается создание ГИКП в России для градостроительного регулирования среды жизнедеятельности с использованием обработки сведений и данных как от ЗУГД [16], так и о выявленных их релевантных факторах: 1) по отношению к существующей градостроительной среде жизнедеятельности; 2) к запросам на градостроительную трансформацию территории (по различным градостроительным типам территории) и 3) к планируемыми градостроительным решениям.

Создание системы поддержки принятия градостроительных решений (Схемы СППР) базируется на новом типе поколения совместного регулирования с принятием решений на основе метрик (G5) (т.е. последнем в смене поколений регулирования и являющемся по Справочнику Всемирного банка⁹ дополнением к предыдущим поколениям G1–G4); при этом количественные показатели G5 определяются с помощью инструмента отслеживания нормативно-правовой базы в области ИКТ (ICT Regulatory Tracker). Также в основу создания схемы СППР положены накопленные отечественные и зарубежные научные труды о регулировании среды жизнедеятельности с учетом взаимосвязанных (взаимовлияющих) градостроительных процессов разработки градостроительной документации (в том числе формируемых впервые в России мастер-планов, учитывающих вовлеченность ЗУГД, примеры которых

⁷ Примеры контркартирования включают: попытки разграничить и защитить традиционные территории; картографирование сообществ; географические информационные системы с участием общественности.

⁸ Перформатив (от ср.-век. лат. *performato* — действовать) — высказывание, эквивалентное действию, поступку. Перформатив входит в контекст жизненных событий, создавая ситуацию, влекущую за собой определенные последствия.

⁹ Комплексная модель оценки изменений активного влияния цифровой экономики в различных отраслях, позволяющая отслеживать смену поколений регулирования (от G1 до G5) // Справочник по цифровому регулированию. Женева : Международный союз электросвязи и Всемирный банк, 2020. URL: <https://www.itu.int/net4/itu-d/irt/#/generations-of-regulation>

есть на сайтах: Единого института пространственного планирования (ЕИПП.РФ), Дом.РФ и др.) для различных градостроительных типов территории.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения исследования выполнены изучение, обобщение отечественных и зарубежных веб-порталов/веб-сайтов¹⁰ (далее для настоящей статьи также равнозначное использование порталов/сайтов), анализ общемировых тенденций применения новых ЦТ. Теоретическую основу формирования схемы систематизации сведений и данных, необходимых для создания системы поддержки принятия градостроительных решений и взаимосвязи основных градостроительных процессов (схема СППР) для разработки ГИКП, составляют труды К. Линч [31] (основополагающими являются пять ключевых элементов, которые организуют человеческий опыт в городах: пути, границы, районы, узлы и ориентиры [32]) и идеолога «архитектурной машины» (Architecture machine) — MIT Architecture Machine Group Н. Негропonte, который проводил первые исследования человеко-компьютерного интерфейса в городском пространстве через формирование реагирующей среды (Responsive environment) [33], отечественные методы градостроительного исследования (краткий обзор которых с начала 70-х гг. XX в. представлен в работе [34]), а также труды методологов из Госстроя СССР Г.П. Щедровицкого [35], С.П. Никанорова [36], в том числе о создании ситуационных центров принятия решений, в основе которых научные школы организационно-деятельностных игр, организационного управления и методологии разработки информационных систем и концептуального анализа, системно-мыслительностной методологии [37–40], новые еще только формирующиеся подходы в цифровой картографии [24, 26], включающие определение градостроительных типов территории и их границ [41].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе элементарных кванторных формул $\forall xP(x)$, $\exists xP(x)$ в исследовании построены кванторные формулы для принятия градостроительных решений. Логические взаимосвязи между такими формулами представлены в логике предикатов (1)–(3).

Градостроительное решение на территории (1):

$$D(S, T, y, x), \quad (1)$$

где D — предикат (т.е. связка, отношение, которое существует в суждении) градостроительного решения на территории; S — градостроительное реше-

ние; T — территория; y — признаки территории T ; x — факторы территории T .

Словесный смысл выражения (1) в том, что градостроительное решение S учитывает множество допустимых решений с учетом всех признаков y и факторов x территории T .

Сформулировано выражение (2) для принятия градостроительного решения: «есть хотя бы одно градостроительное решение (S) на территории, для которого имеет место быть: для всех участников градостроительного решения ($R(x)$) учтены их релевантные факторы (x) в отношении одного или нескольких из множества признаков ($Y(y)$) территории»:

$$\exists x(R(x) \rightarrow \forall y(Y(y) \rightarrow X(y, x))), \quad (2)$$

где $\exists x$ — существует такое x , что: $R(x)$ — учтены релевантные факторы для всех участников градостроительного решения x ; \forall — квантор всеобщности — условие, которое верно для всех обозначенных () элементов; $Y(y)$ — один или несколько из признаков y ; $X(y, x)$ — учтены релевантные факторы участников градостроительного решения в отношении признаков y .

Словесный смысл выражения (2) в том, что существует хотя бы одно градостроительное решение S , для которого учтены один и более релевантных факторов x каждого участника градостроительного решения R (при том, что такие релевантные факторы были высказаны множеством участников R такого решения).

Сформулировано выражение (3) к выражению (2):

$$\exists S((\exists xR(C)((R(A) \vee R(B) \vee R(Pl) \vee R(Pn))) \wedge \exists y(S(y))), \quad (3)$$

где $\exists S$ — существует такое S , для которого учтены: $\exists x$ — релевантные факторы x для конкретного сообщества; R — участник градостроительного решения; $R(C)$ — тип «Общество»; $R(A)$ — тип «Власть»; \vee — логическая дизъюнкция; $R(B)$ — тип «Бизнес»; $R(P)$ — тип «Индивид»; (Pl) — юридическое лицо; (Pn) — физическое лицо; \wedge — логическая конъюнкция; $\exists y$ — признаки территории y ; $S(y)$ — градостроительное решение S на территории.

Словесный смысл выражения (3) в том, что существует градостроительное решение S , для которого учтены один или более релевантных факторов x каждого участника градостроительного решения R , относительно одного или нескольких признаков территории y , для которой осуществляется поиск градостроительного решения S на территории конкретным сообществом «Общество» (C). При этом релевантные факторы были высказаны множеством участников R градостроительного решения по группам с учетом заданных признаков их объединения: «Власть» (A), «Бизнес» (B), «Индивид» (P) — он же правообладатель территории/объекта недвижимости

¹⁰ What is the Difference between Website and Web Portal. URL: <https://www.geeksforgoeks.org/difference-website-web-portal/?ysclid=lypv6h987o934081599>

на ней, где «Индивид» (P) может быть как юридическим лицом Pl : «Властью» (A) или «Бизнесом» (B), так и физическим лицом Pn , относительно одного или нескольких признаков территории y , для которой осуществляется поиск градостроительного решения S на территории.

Такие выражения помогают формализовать условия принятия градостроительных решений, учитывая факторы и признаки, необходимые для определения варианта для территории в конкретных условиях и сложившейся исторически ситуации.

В основе создания ГИКП эти формулы, а также градостроительные типы территории; виды объектов строительства и инженерной инфраструктуры; типы градостроительных трансформаций территории (5 типов); типы ЗУГД: «Власть», «Общество», «Бизнес», «Индивид»; выявленные релевантные факторы для разных ЗУГД в программе¹¹ и ее планируемой модернизации, с учетом оценки по уровню полномочий (соответствие, несоответствие).

¹¹ Программа для ЭВМ RU № 2019667346. 2019.

Сформирована схема систематизации сведений и данных, требуемых для создания системы поддержки принятия градостроительных решений и взаимосвязи основных градостроительных процессов для разработки ГИКП, в которой выделены и систематизированы в двух блоках взаимосвязи основных градостроительных процессов (рисунок).

Блок 1 «Идентификация объекта T_x » включает четыре последовательных процесса: 1) идентификация типа территории; 2) идентификация динамических изменений на территории; 3) идентификация удовлетворенности пользователей среды; 4) выявление и идентификация релевантных факторов ЗУГД.

Блок 2 «Идентификация признаков T_y » включает три последовательных процесса: 1) конкурс предложений от градостроителей; 2) определение круга ЗУГД; 3) сравнение нескольких вариантов градостроительной трансформации территории.

Началом действий в схеме СППР является заявка на градостроительную трансформацию территории от лица, принимающего решение (ЛПР) (это может быть в логике предикатов любой из ЗУГД:

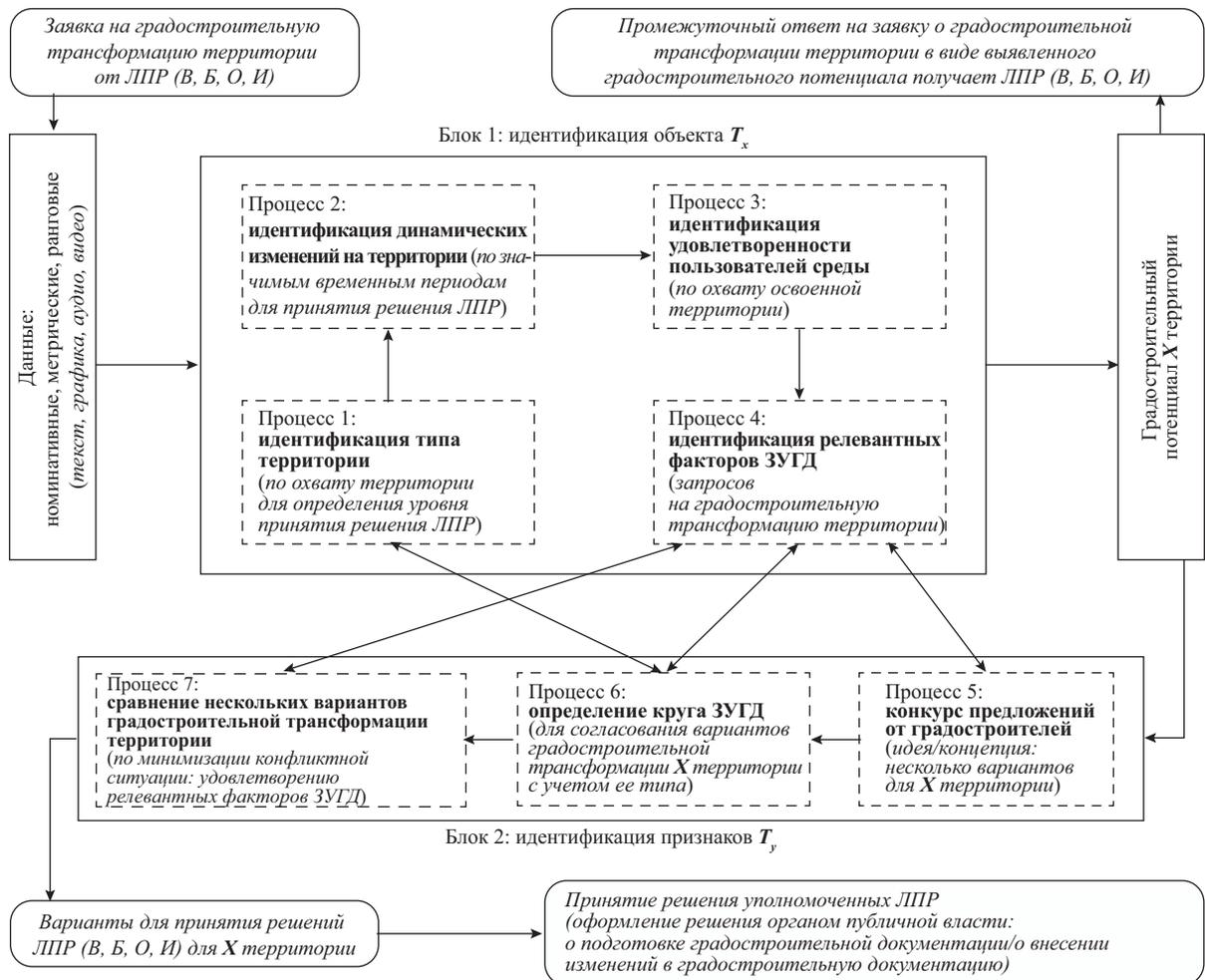


Схема систематизации сведений и данных, необходимых для создания системы поддержки принятия градостроительных решений и взаимосвязи основных градостроительных процессов для разработки градостроительного информационно-коммуникационного портала (схема СППР), Н.А. Самойлова

«Власть», «Общество», «Бизнес», «Индивид»). С использованием современных цифровых средств производится обработка номинативных, метрических и ранговых данных (графических, в том числе планов, карт, картосхем и т.п.; текстовых; числовых; звуковых и видеоданных), результатом генеративной обработки которых в блоке 1 является выявленный градостроительный потенциал X территории.

Завершением после прохождения блока 2 в схеме СППР стали варианты для принятия решений ЛПР для X территории (ЛПР может быть в логике предикатов любой из ЗУГД: «Власть», «Общество», «Бизнес», «Индивид»).

При необходимости в схеме от ЛПР «Общество» может выступать только легитимный орган, представляющий интересы конкретного сообщества в данном историческом контексте, а принимает решение о подготовке градостроительной документации или о внесении изменений в нее только орган публичной власти в соответствии с уровнем установленных полномочий (принятие решения уполномоченным ЛПР «Власть», а в отдельных случаях, установленных в нормативных актах, ЛПР «Бизнес»).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Авторы полагают, что предложение о создании ГИКП найдет достойное место в отечественной системе поддержки принятия градостроительных решений.

В настоящее время во многих субъектах РФ имеются разные порталы типа: «Активный гражданин» — система электронных опросов правительства Москвы; «Добродел», «Решаем проблемы вместе» — интернет-порталы правительства Московской области, в том числе косвенно затрагивающие взаимосвязи участников профессиональной деятельности в градостроительстве. Эти порталы/сайты поддерживаются таким типом ЗУГД как «Власть».

ГИКП — это новый инструмент взаимодействия для ЗУГД, в том числе с целью улучшения и защиты работы градостроителя. Градостроитель в результате внедрения ГИКП получит цифровой инструмент работы не только с органами власти (в настоящее время градостроителю заказы легитимно возможно получить на сайте «Госзакупки»), а с различными пользователями по группам, включая «Власть».

В России еще очень мало примеров таких электронных площадок. Примером одной из только начинающей свое развитие электронных площадок для проектировщиков и строителей является сайт компании «ИНКОЧ»¹², на котором каждый желаю-

щий может зарегистрироваться и размещать уже готовые проекты или брать заказы. Это как разновидность специализированной в сфере строительства краудфандинговой платформы. Краудфандинг — способ получения денег для финансирования проектов и бизнеса, который позволяет авторам проектов собирать деньги с большого количества людей через онлайн-платформы. Краудфандинг чаще всего используется стартапами или растущим бизнесом как способ доступа к альтернативным фондам. В основном это инновационный способ поиска источников финансирования для новых проектов, предприятий или идей. В России популярные платформы для краудфандинга¹³ — Boomstarter, Planeta.ru, ВДело, однако они применяются в основном такими типами ЗУГД, как «Бизнес» и «Общество», и практически не используются «Властью». Эта ситуация аналогична и для «ИНКОЧ».

В таблице представлено сравнение отечественных порталов/сайтов (в том числе по всем смежным базам данных, к которым имеется доступ через эти ресурсы) с предлагаемым ГИКП. А именно приведено сравнение порталов/сайтов по параметрам анализа данных с использованием возможностей для планирования и создания проектной документации для градостроительной трансформации территории и объектов на ней.

В предлагаемом ГИКП для всех пользователей планируется обеспечить поиск компромисса на предпроектной стадии проработки градостроительного проекта, что снимет конфликтную социальную напряженность на ранней стадии, не допуская негативных финансовых последствий, путем организации вовлеченности разных ЗУГД по группам: «Власть», «Бизнес», «Общество», «Индивид» в принятие решения (достижение компромисса) по выбору градостроительного варианта трансформации территории в онлайн-режиме с учетом необходимых регламентов взаимодействия и устанавливаемых уровней доступа к различным видам информации. Все четыре группы пользователей могут выступать в роли заказчиков градостроительной трансформации территории и/или соучаствовать в конкретных проектах на предпроектной стадии их проработки. Функционирование ГИКП по типу краудфандинга может быть способом создания градостроительного сообщества как для конкретного объекта, так и для различных типов территории (идентификация которых производится на научной основе, а не случайно).

Используя возможности идентификации на портале можно будет получить полезную информацию

¹³ ТОП-10 платформ для краудфандинга – 2023. URL: https://marketing-tech.ru/online-services_tags/crowdfunding/?ysclid=lp6k6z673v307547034.

¹² URL: <https://inkoch.ru>

Анализ параметров (возможностей) веб-порталов*/веб-сайтов для принятия градостроительного решения в части планирования и создания проектной документации для градостроительной трансформации территории и объектов на ней

Параметры для сравнения порталов (сайтов) *	ГИКП	ГИСОГД**	ФГИС ТП РФ	Гос-закупки	Booostarter	Planeta.ru	ВДело	ИНКОЧ
<i>Функционал</i>								
Полные данные из достоверных источников (да +/нет -)	+	+	+	+	-	-	-	-
Возможность получить научно-обоснованную оценку градостроительного потенциала территории и объектов на ней (да +/нет-)	+	-	-	-	-	-	-	-
Возможность инициации конкурса для подбора исполнителя градостроительного проекта для ЗУГД по типам (В/Б/О/И)*** соответственно (да +/нет -)	+/+//+	+/-/-/-	-/-/-/-	+/-/-/-	-/+//+	-/-/+//+	-/-/+//+	-/+//+
Регламентные требования к участнику через фильтр «регистрация» на портале (сайте) путем допуска к информации о конкурсе для исполнителей (градостроителей) по типам объектов, их значимости и другим заранее установленным требованиям, обеспечивающим безопасность ЗУГД от недобросовестных исполнителей (да +/нет -)	+	-	-	-	-	-	-	-
Учет запросов на градостроительную трансформацию ЗУГД, по типам (В/Б/О/И) соответственно (да+/нет-)	+//+//+	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-
Соучастное планирование: вовлечение на предпроектной стадии ЗУГД, по типам (В/Б/О/И) соответственно (да +/нет -)	+//+//+	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-
На предпроектной стадии выявление отношения у ЗУГД к планируемому проекту (да +/нет-):								
• с использованием встроенной подпрограммы ЭВМ СПИР у ЗУГД (по всем типам)	+	-	-	-	-	-	-	-
• с использованием данных о финансировании проекта по числу участников, внесших деньги (без их идентификации)	-	-	-	-	+	+	+	-
• с использованием данных о количестве, принявших участие в голосовании (без их идентификации) за готовый проект (т.е. уже подготовленный вариант градостроительной трансформации территории и объектов на ней)	-	+	-	-	-	-	-	-
Доступ на портал (сайт) для ЗУГД, по типам (В/Б/О/И) соответственно (есть+/нет -)	+//+//+	+/-/-/-	+/-/-/-	+/-/-/-	-/+//+	-/-/+//+	-/+//+	-/+//+
Цена использования портала (сайта), (бесплатно -/платно +):								
• для заказчика	+				+	+	+	+
• для исполнителя	+				-	-	-	+

Примечание: ГИКП — предлагаемый градостроительный информационно-коммуникационный портал, названия сайтов и их адреса в Интернете: ГИСОГД — государственная информационная система для обеспечения градостроительной деятельности Российской Федерации (С-тройкомплекс.РФ в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 26.08.2023 № 1389, с 2023 г. на сайте Минстроя России (gisogd.gov.ru)), ФГИС ТП РФ — Федеральная государственная информационная система территориального планирования Российской Федерации (URL: <https://fgispr.esompu.gov.ru>), Госзакупки — Единая информационная система в сфере закупок (ЕИС) — единая информационная система государственного пространства всей сферы государственных закупок в России (URL: <https://zakupki.gov.ru>); названия топовых платформ для краудфандинга в России и их адреса сайтов в интернете: Booostarter (URL: <https://boostarter.ru>), Planeta.ru (URL: <https://planetar.ru>), ВДело (URL: <https://vdelo.pro>); ИНКОЧ — сайт компании для проектировщиков и строителей от компании «ИНКОЧ» (URL: <https://inkoch.ru>), * — в том числе по всем смежным базам данных; ** — на примере Москвы (gisogd.mos.ru), *** ЗУГД — заинтересованные участники градостроительной деятельности (В/Б/О/И), где В — «Власть», Б — «Бизнес», О — «Общество», И — «Индивид».

о рынке труда в сфере градостроительства, его участниках, доступ к новым клиентам, узнать потребности реальных потребителей градостроительной среды и их запросы на градостроительные трансформации территории и круг ЗУГД для предпроектной проработки градостроительного проекта.

Такими возможностями лишь частично обладают зарубежные цифровые инструменты международной компании KPF.com, UrbanSim и CityMatrix (США), FixMyStreet.com (Великобритания), CitizenLab (Бельгия).

Таким образом, предлагаемая платформа ГИКП — это веб-сайт, который позволит взаимодействовать отечественным ЗУГД, включая инвесторов и сборщиков средств на финансирование проекта, посредников для нахождения клиентов заказчиками, в том числе самое главное — профессиональных ис-

полнителей проекта (градостроителей). Возможной перспективой развития ГИКП будет его интеграция в легитимные цифровые инструменты (например, в ГИС ОГД Москвы^{14, 15} или в национальный «Стройкомплекс.РФ»), адаптация и распространение в заинтересованных странах, так как цифровизация в градостроительной деятельности является международной и востребованной.

¹⁴ На конкурсе мэра Москвы среди инновационных проектов для лучших предпринимателей, ученых и изобретателей Москвы «Новатор Москвы» по направлению «Общественные проекты (новаторские решения в сфере креативных технологий)» в номинации «Проект будущего (идея/разработка прототипа)» представлен проект «Градостроительный информационно-коммуникационный портал (ГИКП)». URL: <https://i.moscow/novator>

¹⁵ URL: <https://gisogd.mos.ru/>

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Колясников В.А. Концепции системно-кибернетического градостроительства второй половины XX века // Архитектон: известия вузов. 2023. № 1 (81). DOI: 10.47055/19904126_2023_1(81)_17. EDN PCYGR L.
2. Янг С. Системное управление организацией / пер. с англ. под ред. С.П. Никанорова, С.А. Батасова. М.: Советское радио, 1972. 456 с.
3. As I., Basu P., Talwar P. Artificial Intelligence in Urban Planning and Design. Elsevier, 2022. DOI: 10.1016/C2019-0-05206-5
4. Picon A., Ratti C. Atlas of the Senseable City. Yale University Press, 2023. DOI: 10.12987/9780300-271737
5. Traunmueller M., Peters-Anders J., Kozłowska A., Buruzs A., Melnyk O. AI-Supported Approaches for Sustainable Urban Development: Analysis of Case Studies. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH and Austrian Institute of Technology, 2021. URL: <https://www.readkong.com/page/ai-supported-approaches-for-sustainable-urban-development-8710363>
6. As I., Pal S., Basu P. Artificial intelligence in architecture: generating conceptual design via deep learning // International Journal of Architectural Computing. 2018. Vol. 16. Issue 4. Pp. 306–327. DOI: 10.1177/1478077118800982
7. Ortega-Fernández A., Martín-Rojas R., García-Morales V.J. Artificial Intelligence in the Urban Environment: Smart Cities as Models for Developing Innovation and Sustainability // Sustainability. 2020. Vol. 12. Issue 19. P. 7860. DOI: 10.3390/su12197860
8. Pazdur-Czarnowska A. The Future of Public Spaces — towards Interactive Use of Artificial Intelligence in Urban Interiors // Space & Form. 2020. Vol. 2020. Pp. 209–244. DOI: 10.21005/pif.2020.43.c-08
9. Quan S.J., Park J., Economou A., Lee S. Artificial intelligence-aided design: smart design for sustainable city development // Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science. 2019. Vol. 46. Issue 8. Pp. 1581–1599. DOI: 10.1177/2399808319867946
10. Sanchez T.W., Shumway H., Gordner T., Lim T. The Prospects of Artificial Intelligence in Urban Planning // International Journal of Urban Sciences. 2022. Vol. 27. Issue 2. Pp. 179–194. DOI: 10.1080/12265934.2022.2102538
11. Shulin L. Artificial Intelligence to Assist Urban Planning // 2020 Conference on Social Science and Modern Science (SSMS2020). 2020. DOI: 10.38007/Proceedings.0000715
12. Yigitcanlar T., Kankanamge N., Regona M., Maldonado A.R., Rowan B., Ryu A. et al. Artificial Intelligence Technologies and Related Urban Planning and Development Concepts: How Are They Perceived and Utilized in Australia? // Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2020. Vol. 6. Issue 4. P. 187. DOI: 10.3390/joitmc6040187
13. Utami C.F., Mizuno K., Hasibuan H.S., Soesilo T.E. Discovering Spatial Development Control for Indonesia: a Systematic Literature Review // Geography, Environment, Sustainability. 2023. Vol. 15. Issue 4. Pp. 64–79. DOI: 10.24057/2071-9388-2021-119
14. Yigitcanlar T., Cugurullo F. The Sustainability of Artificial Intelligence: An Urbanistic Viewpoint from the Lens of Smart and Sustainable Cities // Sustainability. 2020. Vol. 12. Issue 20. P. 8548. DOI: 10.3390/su12208548

15. *Allam Z.* On Complexity, Connectivity and Autonomy in Future Cities // *Sustainable Urban Futures*. 2021. Pp. 31–47. DOI: 10.1007/978-3-030-59448-0_3
16. *Самойлова Н.А.* Система поддержки принятия решений в градостроительстве (наука + цифровые технологии) // *Фундаментальные поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2022–2023 годы : научные труды РААСН*. Т. 1. 2024. С. 574–582.
17. *Zhang Y.* CityMatrix: An Urban Decision Support System Augmented by Artificial Intelligence. The MIT Press, 2017.
18. *Alonso L., Zhang Y.R., Grignard A., Noyman A., Sakai Y., ElKatsha M. et al.* CityScope: a data-driven interactive simulation tool for urban design. Use case volpe // *Springer Proceedings in Complexity*. 2018. Pp. 253–261. DOI: 10.1007/978-3-319-96661-8_27
19. *The Politics of Mapping*. Wiley-ISTE, 2022. 288 p. DOI: 10.1002/9781119986751
20. *Della Dora V.* The Mantle of the Earth: Genealogies of a Geographical Metaphor. Chicago : University of Chicago Press, 2020. 416 p.
21. *Perkins C.* Cartography: Mapping Theory // *Progress in Human Geography*. 2003. Vol. 27. Issue 3. Pp. 341–351. DOI: 10.1191/0309132503ph430pr
22. *Wilmott C.* Mobile Mapping Space, Cartography and the Digital. Amsterdam University Press, 2020. 350 p. DOI: 10.2307/j.ctvx8b7zc
23. *Еремченко Е.* Цифровая Земля: геопроостранственная революция и ее мировоззренческие последствия // *Логос*. 2023. Т. 33. № 1 (152). С. 221–241. DOI: 10.22394/0869-5377-2023-1-221-240. EDN CUNFXM.
24. *Иванов К., Писарев А., Гавриленко С.* На изнанке карт: критические исследования картографии // *Логос*. 2023. Т. 33. № 1 (152). С. 1–32. DOI: 10.22394/0869-5377-2023-1-1-31. EDN QKPOWG.
25. *Китчин Р., Додж М.* Переосмысляя карты // *Логос*. 2023. Т. 33. № 1 (152). С. 33–60. DOI: 10.22394/0869-5377-2023-1-33-59. EDN HTXRZU.
26. *Новембер В., Камахо-Хюбнер Э., Латур Б.* Вступая на территорию риска: пространство в эпоху цифровой навигации // *Логос*. 2023. Т. 33. № 1 (152). С. 61–96. DOI: 10.22394/0869-5377-2023-1-61-95. EDN MGGXUZ.
27. *Пейнтер Д.* Переосмысляя территорию // *Городские исследования и практики*. 2022. Т. 7. № 2. С. 13–34. DOI: 10.17323/usp72202213-34. EDN CWVJRP.
28. *Greenhalgh P., King H.* Developing an Indicator of Property Market Resilience—Investigating the Potential of GIS to Analyse Business Occupier Displacement and Property Market Filtering: A Case Study of Tyne and Wear // *Urban Studies*. 2013. Vol. 50. Issue 2. Pp. 372–390. DOI: 10.1177/0042098012453860
29. *Marsal-Llacuna M.-L., López-Ibáñez M.-B.* Smart urban planning: designing urban land use from urban time use // *Journal of Urban Technology*. 2014. Vol. 21. Issue 1. Pp. 39–56. DOI: 10.1080/10630732.2014.884385
30. *Smith R.G., Doel M.A.* Questioning the Theoretical Basis of Current Global-City Research: Structures, Networks and Actor-Networks // *International Journal of Urban and Regional Research*. 2011. Vol. 35. Issue 1. Pp. 24–39. DOI: 10.1111/j.1468-2427.2010.00940.x
31. *Lynch K.* The Image of the City. The MIT Press, 1960. 194 p.
32. *Линч К.* Образ города / пер. с англ. В.Л. Глазычева. М. : Стройиздат, 1982. 328 с.
33. *Negroponte N.* The Architecture Machine. MIT Press, 1970. DOI: 10.7551/mitpress/8269.001.0001
34. *Самойлова Н.А.* Градостроительное регулирование среды жизнедеятельности с использованием информационного моделирования // *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 году : сб. науч. тр. РААСН*. 2019. С. 415–431. DOI: 10.22337/9785432303080-415-431. EDN SLXUMQ.
35. *Щедровицкий Г.П.* Избранные труды. М. : Изд-во шк. культ. политики, 1995. 759 с.
36. *Никаноров С.П., Никитина Н.К., Теслинов А.Г.* Введение в концептуальное проектирование АСУ: анализ и синтез структур. М. : Концепт, 2007. 235 с. EDN QMSGXT.
37. *Матирко В.И., Поляков В.В., Стариков И.М., Ткаченко Ю.А.* Сборник деловых игр, конкретных ситуаций и практических задач : метод. пособие. М. : Высш. шк., 1991. 254 с.
38. *Лепский В.Е.* Аналитика сборки субъектов развития. М. : Когито-Центр, 2016. 130 с. EDN WYZIUZ.
39. Тематический выпуск эссе к 80-летию Владимира Александровича Лефевра // *Рефлексивные процессы и управление*. 2016. Т. 16. № 1–2.
40. *Саати Т.Л.* Относительное измерение и его обобщение в принятии решений. Почему парные сравнения являются ключевыми в математике для измерения неосязаемых факторов // *Cloud of Science*. 2016. Т. 3. № 2. С. 171–262. EDN XDCIDF.
41. *Самойлова Н.А.* России нужна система градостроительных типов территории (территориальных объектов)!? // *Градостроительство*. 2019. № 3 (61). С. 42–52. EDN RKEDOT.

Поступила в редакцию 20 августа 2024 г.

Принята в доработанном виде 21 октября 2024 г.

Одобрена для публикации 21 октября 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: **Надежда Александровна Самойлова** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры градостроительства Института строительства и архитектуры, советник Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН); **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; старший научный сотрудник; **Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (ЦНИИП Минстроя России)**; 119331, г. Москва, пр-т Вернадского, д. 29; РИНЦ ID: 214212, Scopus: 57202819286, ResearcherID: J-6606-2016, ORCID: 0000-0001-8395-7358, IstinaresearcherID (IRID): 92608258; SamoylovaNA@gic.mgsu.ru;

Игорь Валентинович Москаленко — преподаватель кафедры цифровой картографии картографического факультета; **Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК)**; 105064, г. Москва, Гороховский пер., д. 4; SPIN-код: 1534-1067, РИНЦ ID: 1256399, ORCID: 0009-0007-3379-4926; info@roscartography.ru.

Вклад авторов:

Самойлова Н.А. — идея, сбор и обработка материала, написание статьи, итоговые выводы, научное редактирование текста.

Москаленко И.В. — сбор и обработка материала, написание статьи, итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

In general, abroad scientific and practical studies of the development of technical means and mathematical methods of process control since the second half of the XX century take into account both the increasing complexity of the situation, and the increasing requirements for management, and the need to create Authoritative methods to improve efficiency in decision-making, and the search for a “full digital” model of the control system with the introduction of computers and mathematical models. In domestic science since the second half of XX century there were scientific researches of system-cybernetic urban planning [1], and in the 70s of XX century in translation Spartak Nikanorov (who worked in the research institute of Gosstroy of the USSR) one of the first on system engineering and system analysis appeared the book by S. Young [2] for persons practically engaged in improving organization and management, as well as leading methodological and theoretical work in this area in the decision-making process.

The processes of globalization of research, the use of geographic information systems (GIS) and ultra-large volumes of data (big data) similar to the means of industrial production determine the need for their funding, identification of priority research areas. However, domestic urban planning science has not yet become a worthy element of public policy for the practical improvement of socio-economic, environmental, cultural and other spheres of existence of technogenic civilization.

In recent years, a new round of artificial intelligence (AI) capabilities has appeared in the development of the study of decision-making involving a wide range of stakeholders, including in the field of urban planning to regulate the living environment. Let us only mention a number of publications that have had the greatest impact on the research — books [3–5], papers [6–15].

Stakeholders in urban development (SUD¹) are conditionally divided into types: “Authority”, “Business”, “Society”, “Property owners” [16].

Such SUD interact with each other during the permanent urban development transformation of the territory and objects on it. Currently, in the field of urban

¹ In Russia, the SUD (“Authority”, “Business”, “Society”, “Property owners”) have the following identification features of each type by characteristic activity:

1. “Authority” in accordance with the established authorities (the Constitution of the Russian Federation, Federal Law No. 414-FZ of 21.12.2021 “General Principles of Organization of Public Authority in the Constituent Entities of the Russian Federation” and No. 131-FZ of 06.10.2003 “General Principles of Organization of Local Self-Government in the Russian Federation”) implements urban planning regulation as a set of decisions defining the goals, principles and nature of urban planning activities, the order of its regulation, measures to establish and ensure compliance with this order.
2. Commercial and non-commercial organizations that operate on the territory or have an impact on the territory and objects on it shall be briefly referred to as “Business” (from the English word business — business). Business is an activity regulated by the Civil Code of the Russian Federation for organizations and enterprises of various forms of ownership.
3. “Society” — various public associations in the environment of life, identified by the use of material objects and (or) territories or expressing needs in them; their activities are regulated by the Federal Law of 19.05.1995 No. 82-FZ “On Public Associations”.
4. “Property owners” — all individuals and legal entities with rights to land and (or) objects in accordance with the Land Code of the Russian Federation, Federal Law No. 218-FZ “State Registration of Real Estate” dated 13.07.2015; their activities are related to the acquisition, protection and transformation of the territory and objects on it.

planning regulation abroad there are various digital tools that contain some elements of the proposed urban information and communication portal (UICP):

- The web-based data information platform² of the international company Urban Interface at Kohn Pedersen Fox, Scout (KPF.com) based on open information collection with the possibility to interact with the community;

- CityMatrix tool³ (USA), which helps both professional and non-professional users to better understand the city in order to make collaborative and informed decisions (processing and analyzing quantitative and qualitative data) [17];

- FixMyStreet.com⁴ open source software framework from mySociety (UK), which enables the launch of a website to collect and report on street problems, capable of processing various maps including OpenStreetMap;

- CitizenLab⁵ platform for citizen engagement in local government in Belgium — an open source urban modelling system for predicting the potential outcomes of different transport investments and land use policies, active citizen participation in often contentious debates about transport infrastructure or land policies with unequal distribution of benefits and costs [18];

- UrbanSim⁶ portal using AI in the US, South Africa, Europe (France, Paris; Switzerland, Zurich) and other countries and cities reduces the time, effort and cost of planning urban transformation projects while increasing confidence that they will lead to desired outcomes.

There are no complete analogues of the proposed UICP abroad.

Significant urban digital twin projects are being successfully developed, for example, in Singapore, Australia, and New Zealand. Since 2023, the Singapore Metropolitan Administration of Singapore (MAS), together with Google Cloud, has launched a generative AI-based development, a formal platform for city-level governance. Such a cloud-based platform called AI Government Cloud Cluster (AGCC) is used to develop government AI projects. Public authorities (“Authority”) and the private sector (“Business”) will have access to a variety of AI models to create various services. In particular, the Government Technology Agency (GovTech) of Singapore is one of the first to create a chatbot that government employees can use to improve productivity, monitor compliance, etc., and many researchers [19–27] have suggested that AI can be used to improve productivity, monitor compliance, and so on.

² URL: <http://scout.build>

³ URL: <https://www.media.mit.edu/projects/citymatrix/overview/>

⁴ URL: <https://fixmystreet.org/>

⁵ URL: www.citizenlab.com

⁶ URL: www.urbansim.com

At the same time, many researchers [19–27] already realize that any maps, including digital maps (despite the relative conceptual autonomy of mathematical and technical constructions and actions necessary for map production), can by no means be considered as something autonomous.

Any map is emergent, essentially instrumental, situational and meaningful only to the extent that it is part of the wider systems, networks and contexts in which it is functionally embedded. The map presupposes not only a maker but also a consumer — someone who reads it. Moreover, the process of reading, triggered by the solution of a particular problem, can be interpreted as a creative refinement of the existing “imperfect” map to the necessary explication of it, which is as fully as possible suitable for the solution of the task at hand [24].

In the paper “Rethinking maps”^{7, 8} [25], according to Rob Kitchin of Ireland’s National University of Maynooth (NUIM) and Martin Dodge of the University of Manchester in the UK, maps are situational and generated by practices (corporeal, social, technical), and mapping is a process of continuous reterritorialization (this is when people in a place begin to create an aspect of popular culture themselves, doing so in the context of their local culture and making it their own) using the full range of cartographic practices, including the use of web-based mapping systems and geographic information systems in the form of web portals and web-based mapping portals, including 3D mapping portals.

Modern information and communication systems (ICS) in the form of web portals and geoinformation systems in the form of web-mapping portals, including those containing 3D-graphic representation of the terrain, as well as CIM-technologies (City Information Modelling) for the purposes of urban planning management, refer to a complex way of fixing the tangible and intangible world [28–30]. So far, the application of CIM-technology in urban planning is only gaining momentum, but some territories and objects on them have already acquired digital twins, which greatly simplifies forecasting, planning and design in the territory.

However, Russia has not yet sufficiently developed the possibilities of communications in urban planning forecasting, planning and design, which are carried out in the context of multiple circumstances, cover federal, regional, municipal and corporate levels of management, and at the same time take into account political, economic, social and technological factors, as well as

⁷ Examples of counter-mapping include: attempts to delineate and protect traditional territories; community mapping; participatory geographic information systems.

⁸ Performative (from the Middle Ages Latin *performo* — to act) is a statement equivalent to an action or deed. A performative is a statement that is equivalent to an action or deed. It enters into the context of life events, creating a situation that entails certain consequences.

historical and national peculiarities and urban typology of territories.

Taking into account the development of modern end-to-end digital technologies (DT) in urban planning, and especially taking into account the rapidly developing possibilities of AI application, it is proposed to create a UICP in Russia for urban planning regulation of the living environment using the processing of information and data both from the SUD [16] and on their identified relevant factors: 1) in relation to the existing urban planning living environment; 2) to the requests for urban transformation of the territory (for different urban planning types of the territory) and 3) to the urban planning and development of the territory.

Creation of the urban planning decision support system (DSS Scheme) is based on a new type of co-regulation generation with decision-making based on metrics (G5) (i.e. the last in the change of generations of regulation and being according to the World Bank Handbook⁹ an addition to the previous generations G1-G4); in this case, the quantitative indicators of G5 are determined using the ICT Regulatory Tracker tool. The DSS scheme is also based on the accumulated domestic and foreign scientific works on the regulation of the living environment taking into account the interconnected (mutually influencing) urban planning processes of developing urban planning documentation (including masterplans formed for the first time in Russia, taking into account the involvement of SUD, examples of which are available on the websites: Unified Institute of Spatial Planning (EIPP.RF), Dom.RF, etc.) for different urban planning types of the territory.

MATERIALS AND METHODS

To conduct the research, the study, generalization of domestic and foreign web portals/websites¹⁰ (hereinafter for this paper also equals the use of portals/sites), analysis of global trends in the application of new DT were carried out. The theoretical basis for the formation of the scheme of systematization of information and data necessary for the creation of the urban planning decision support system and the interrelation of the main urban planning processes (DSS scheme) for the development of UICP is formed by the works of C. Lynch [31] (the fundamental are five key elements that organize human experience in cities: paths, boundaries, districts, nodes and landmarks [32]) and the ideol-

⁹ A comprehensive model for assessing changes in the active influence of the digital economy across industries to track regulatory generational change (G1 to G5). *Handbook on Digital Regulation*. Geneva, International Telecommunication Union and the World Bank, 2020. URL: <https://www.itu.int/net4/itu-d/irt/#/generations-of-regulation>

¹⁰ What is the Difference between Website and Web Portal. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/difference-website-web-portal/?ysclid=lypv6h987o934081599>

ogist of the “architecture machine” — MIT Architecture Machine Group N. Negroponte, who conducted the first studies of human-computer interaction in the field of urban planning.

RESEARCH RESULTS

Based on elementary quantified formulas $\forall xP(x)$, $\exists xP(x)$ the study constructs quantified formulas for urban planning decisions. The logical relationships between such formulas are represented in predicate logic (1)–(3).

The urban planning decision in the area (1):

$$D(S, T, y, x), \quad (1)$$

where D is a predicate (i.e., a conjunction, a relation that exists in a judgement) of an urban planning decision on the territory; S is an urban planning decision; T is a territory; y is attributes of the territory T ; x is factors of the territory T .

The verbal meaning of expression (1) is that the town-planning decision S considers the set of admissible solutions taking into account all attributes y and factors x of the territory T .

Expression (2) for an urban planning decision is formulated: “there is at least one urban planning decision (S) in the territory for which it takes place: for all participants in the urban planning decision ($R(x)$) their relevant factors (x) with respect to one or more of the set of attributes ($Y(x)$) of the territory are taken into account”:

$$S\exists x(R(x) \rightarrow \forall y(Y(y) \rightarrow X(y, x))), \quad (2)$$

where $S\exists x$ — there exists such x that: $R(x)$ — relevant factors for all participants of the urban planning solution x are taken into account; \forall — universality quantifier — a condition that is true for all designated () elements; $Y(y)$ — one or more of the features of y ; $X(y, x)$ — relevant factors of the participants of the urban planning solution with respect to the features of y are taken into account.

The verbal meaning of expression (2) is that there exists at least one town-planning decision S for which one or more relevant factors x of each participant of town-planning decision R are taken into account (provided that such relevant factors have been expressed by the set of participants R of such decision).

Expression (3) to expression (2) is formulated:

$$\exists S((\exists xR(C)((R(A) \vee R(B) \vee R(Pl) \vee R(Pn))) \wedge \exists y(S(y))), \quad (3)$$

where $\exists S$ — there exists such S for which the following are taken into account: $\exists x$ — relevant factors x for a particular community; R — participant of an urban planning decision; $R(C)$ — type “Society”; $R(A)$ — type “Authority”; \vee — logical disjunction; $R(B)$ — type “Business”; $R(P)$ — type “Property owners”; (Pl) — legal entity; (Pn) — natural person; \wedge — logical conjunction;

$\exists y$ — attributes of territory y ; $S(y)$ — urban planning solution S on the territory.

The verbal meaning of expression (3) is that there exists an urban planning solution S , for which one or more relevant factors x of each participant of the urban planning solution R are taken into account, in relation to one or more attributes of the territory y , for which the urban planning solution S is searched on the territory by a particular community “Society” (C). At the same time, the relevant factors were expressed by a set of participants R of the town-planning solution by groups taking into account the given attributes of their association: “Authority” (A), “Business” (B), “Property owners” (P) — he is the right holder of the territory/property on it, where “Property owners” (P) can be either a legal entity Pl : “Authority” (A) or “Business” (B), or a natural person Pn , with respect to one or more attributes of the territory y , for which the urban planning solution S in the territory is searched.

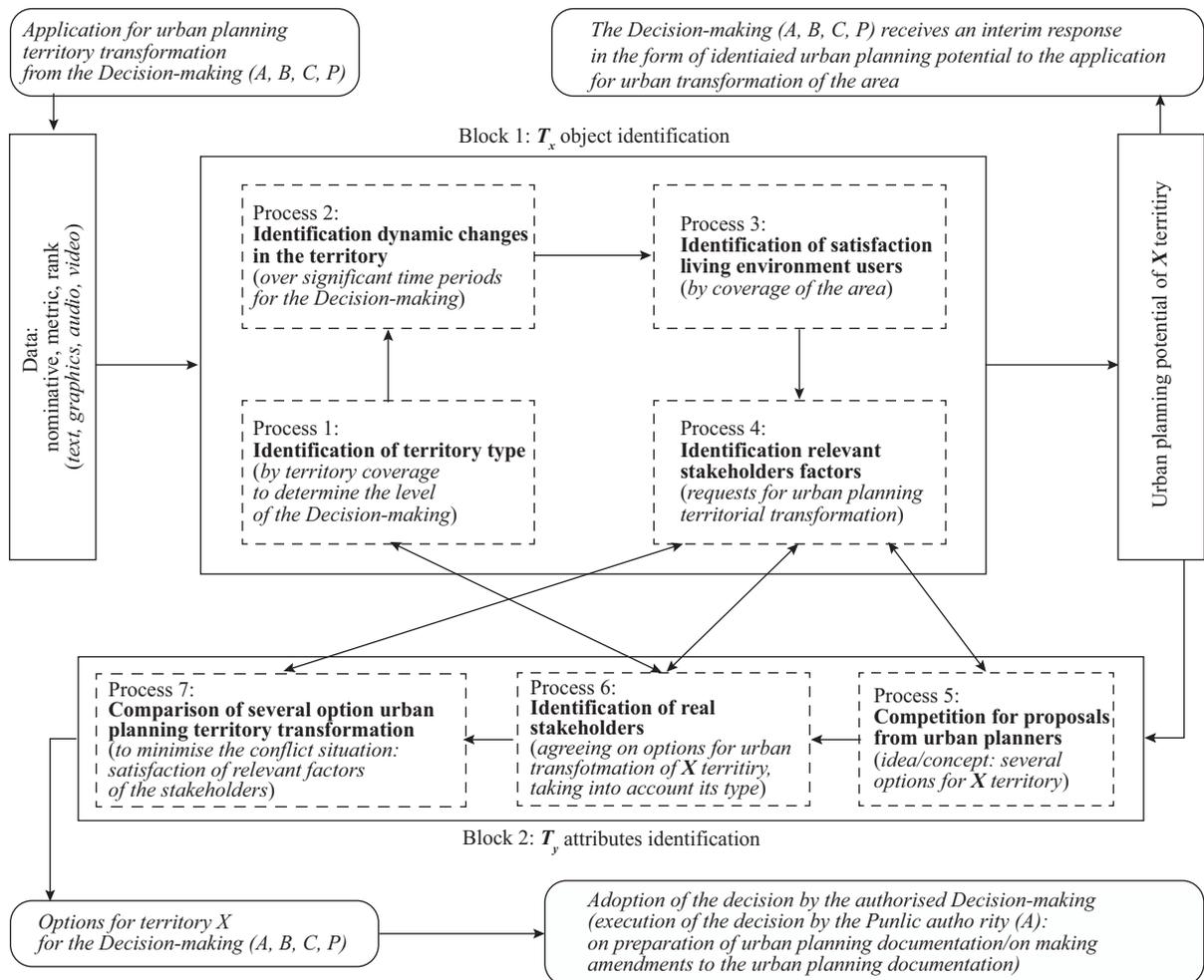
Such expressions help to formalize the conditions for making urban planning decisions, taking into account the factors and attributes necessary to determine

the option for the territory under specific conditions and the historically established situation.

These formulas are the basis for the creation of the UICP, as well as urban planning types of the territory; types of construction objects and engineering infrastructure; types of urban planning transformations of the territory (5 types); types of SUD: “Authority”, “Society”, “Business”, “Property owners”; identified relevant factors for different SDGs in the programme¹¹ and its planned modernization, taking into account the assessment by the level of authority (compliance, non-compliance).

A scheme of systematization of information and data required for the creation of an urban planning decision support system and interrelationships of the main urban planning processes for the development of UICP was formed, in which the interrelationships of the main urban planning processes were identified and systematized in two blocks (Figure).

¹¹ Computer programme RU No. 2019667346. 2019.



Scheme of systematization of information and data required for the creation of an urban planning decision support system and interrelation of the main urban planning processes for the development of an urban information and communication portal (DSS scheme), N.A. Samoylova

Block 1 “Identification of the object T_x ” includes four consecutive processes: 1) identification of the type of territory; 2) identification of dynamic changes in the territory; 3) identification of the satisfaction of users of the environment; 4) identification and identification of the relevant factors of the UICP.

Block 2 “Identification of T_y attributes” includes three sequential processes: 1) competition of proposals from urban planners; 2) identification of the range of SUD; 3) comparison of several options for urban transformation of the territory.

The beginning of actions in the DSS scheme is a request for urban transformation of the territory from a decision maker (DM) (it can be in the logic of predicates of any of the SUD: “Authority”, “Society”, “Business”, “Property owners”). Using modern digital means, nominative, metric and rank data (graphic, including plans, maps, cartographic schemes, etc.; text; numeric; sound and video data) are processed, the result of the generative processing of which in Block 1 is the identified urban planning potential of X territory.

Completion after passing Block 2 in the scheme of DSS became options for decision-making of the DM for X territory (The DM can be in the logic of predicates of any of the SUD: “Authority”, “Society”, “Business”, “Property owners”).

If necessary, in the scheme, only a legitimate body representing the interests of a particular community in a given historical context can act from the DM “Society”, and only a public authority makes a decision on the preparation of urban planning documentation or on making changes to it in accordance with the level of established Authority (decision-making by the authorized DM “Authority”, and in certain cases established in regulations, by the DM “Business”).

CONCLUSION AND DISCUSSION

The authors believe that the proposal to create UICP will find a worthy place in the domestic system of urban planning decision support.

Currently, in many constituent entities of the Russian Federation there are different portals such as: “Active Citizen” — a system of electronic surveys of the Moscow government; “Dobrodel”, “Solving Problems Together” — Internet portals of the Moscow Region government, including indirectly affecting the interconnection of participants of professional activities in urban planning. These portals/sites are supported by such type of SUD as “Authority”.

The UICP is a new interaction tool for the SUD, including for the purpose of improving and protecting the work of the urban planner. As a result of the UICP implementation, the urban planner will receive a digital tool for working not only with the authorities (currently, it is legitimately possible for an urban planner to obtain

orders on the “State Procurement” website), but also with various users by groups, including “Authority”.

There are still very few examples of such electronic platforms in Russia. An example of one of the electronic platforms for designers and builders, which is just beginning its development, is the site of the company “INCOCH”¹², where everyone can register and place ready-made projects or take orders. It is a kind of crowdfunding platform specialized in construction. Crowdfunding is a way to raise money to finance projects and businesses, which allows project authors to raise money from a large number of people through online platforms. Crowdfunding is most commonly used by startups or growing businesses as a way to access alternative funds. It is basically an innovative way to find sources of funding for new projects, businesses or ideas. In Russia, popular crowdfunding platforms¹³ are Boomstarter, Planeta.ru, and VDelo, but they are used mainly by such types of SUD as “Business” and “Society” and are practically not used by “Authority”. This situation is similar for “INCOCH”.

The table presents a comparison of domestic portals/sites (including all related databases accessed through these resources) with the proposed UICP. Namely, the comparison of portals/sites is given for the parameters of data analysis using the capabilities for planning and creation of project documentation for urban transformation of the territory and objects on it.

In the proposed UICP for all users, it is planned to ensure the search for compromise at the pre-project stage of urban development project elaboration, which will relieve conflicting social tensions at an early stage, preventing negative financial consequences, by organizing the involvement of different SUD by groups: “Authority”, “Business”, “Society”, “Property owners” in decision-making (compromise) on the choice of urban development option of transformation of the territory in online mode, taking into account the necessary regulations of interaction and established levels of access to different types of information. All four groups of users can act as customers of urban development transformation of the territory and/or participate in specific projects at the pre-project stage of their development. The crowdfunding-type functioning of the UICP can be a way of creating an urban planning community both for a specific site and for different types of territory (identification of which is done on a scientific basis, not randomly).

Using the possibilities of identification on the portal it will be possible to get useful information about the labour market in the field of urban planning, its

¹² URL: <https://inkoch.ru>

¹³ Top 10 crowdfunding platforms – 2023. URL: https://marketing-tech.ru/online-services_tags/crowdfunding/?ysclid=lp6k6z673v307547034.

Analysis of parameters (capabilities) of web portals*/websites for making urban planning decisions in terms of planning and creation of project documentation for urban transformation of the territory and objects on it

Parameters for comparison of portals (websites)	UICP	GISOGD**	FGIS TP RF	Zakupki	Boom- starter	Planeta.ru	VDelo	INCOCH
<i>Functionality</i>								
Complete data from credible sources (yes +/no -)	+	+	+	+	-	-	-	-
Possibility to obtain a scientifically-based assessment of the urban planning potential of the territory and facilities on it (yes +/no -)	+	-	-	-	-	-	-	-
Possibility to initiate a tender for the selection of an executor of the urban development project for the SUD by type (A/B/S/P)*** respectively (yes +/no -)	+/+/+/+	+/-/-/-	-/-/-/-	+/-/-/-	-/+//+/+	-/+//+/+	-/+//+/+	-/+//+/+
Regulatory requirements for the participant through the filter "registration" on the portal (website) by allowing access to information about the tender for executors (town planners) by types of objects, their importance and other pre-determined requirements that ensure the security of the SUD from unscrupulous executors (yes +/no -)	+	-	-	-	-	-	-	-
Record of requests for urban transformation of SUD, by type (A/B/S/P) respectively (yes+/no-)	+/+/+/+	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-
Participatory planning: involvement at the pre-project stage of the SUD, by type (A/B/S/P) respectively (yes +/no -)	+/+/+/+	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-
At the pre-project stage, identification of the attitude of the SUD towards the planned project (yes +/no -):								
• using the in-built DSS computer subprogramme at SUD (for all types)	+	-	-	-	-	-	-	-
• using project funding data on the number of contributors (without identifying them)	-	-	-	-	+	+	+	-
• using data on the number of people who participated in voting (without their identification) in favour of the ready project (i.e. already prepared variant of urban development transformation of the territory and objects on it)	-	+	-	-	-	-	-	-
Access to portal (website) for SUD, by type (A/B/S/P) respectively (yes+/no -)	+/+/+/+	+/-/-/-	+/-/-/-	+/-/-/-	-/+//+/+	-/+//+/+	-/+//+/+	-/+//+/+
The price of using the portal (site), (free -/paid +):								
• For the customer	+	Customers/executors are not foreseen		-	+	+	+	+
• For the executor	+			-	-	-	-	+

Note: UICP — proposed urban information and communication portal; names of sites and their Internet addresses: GISOGD — state information system to ensure town-planning activities of the Russian Federation (Stroycomplex.RF in accordance with the Resolution of the Government of the Russian Federation of 26.08.2023 No. 1389, from 2023 on the website of the Ministry of Construction of Russia (gisogd.gov.ru)), FGIS TP RF — Federal State Information System for Territorial Planning of the Russian Federation (URL: https://fgistp.economy.gov.ru), Zakupki — Unified Information System in the Procurement sector — Single information space of the whole sphere of public procurement in Russia a single information space for the whole sphere of public procurement in Russia (URL: https://zakupki.gov.ru); names of top crowdfunding platforms in Russia and their website addresses: Boomstarter (URL: https://boomstarter.ru), Planeta.ru (URL: https://planeta.ru), VDelo (URL: https://delo.pro), INCOCH — company website for designers and builders from the company "INCOCH" (URL: https://inkoch.ru), * — including all related databases; ** — on the example of Moscow (gisogd.mos.ru), *** SUD — interested participants of urban planning activities (A/B/S/P), where A — "Authority", B — "Business", S — "Society", P — "Property owners".

participants, access to new clients, to know the needs of real consumers of urban planning environment and their requests for urban transformations of the territory and the circle of SUD for pre-project development of the urban planning project.

Such opportunities are only partially possessed by foreign digital tools of the international company KPF.com, UrbanSim and CityMatrix (USA), FixMyStreet.com (UK), CitizenLab (Belgium).

Thus, the proposed UICP platform is a website that will allow interaction between domestic SUD, including investors and fundraisers for project financing, intermediaries for finding clients by customers, including most importantly — professional project implementers

(urban planners). A possible prospect for the development of UICP will be its integration into legitimate digital tools (e.g., in the GIS OGD of Moscow^{14,15} or in the national “Stroycomplex.RF”), adaptation and dissemination in interested countries, as digitalization in urban planning is international and in demand.

¹⁴ The project “Urban Information and Communication Portal (UICP)” was submitted to the Moscow Mayor's competition among innovative projects for the best entrepreneurs, scientists and inventors of Moscow “Innovator of Moscow” in the direction “Public projects (innovative solutions in the field of creative technologies)” in the nomination “Future project (idea/ prototype development)”. URL: <https://i.moscow/novator>

¹⁵ URL: <https://gisogd.mos.ru/>

REFERENCES

1. Kolyasnikov V.A. The 20th century concepts of systemic cybernetic urban development. *Architecton: Proceedings of Higher Education*. 2023; 1(81). DOI: 10.47055/19904126_2023_1(81)_17. EDN PCYGRL. (rus.).
2. Joung S. *Management: a systems analysis*. Moscow, Sovetskoe Radio, 1972; 456. (rus.).
3. As I., Basu P., Talwar P. *Artificial Intelligence in Urban Planning and Design*. Elsevier, 2022. DOI: 10.1016/C2019-0-05206-5
4. Picon A., Ratti C. *Atlas of the Senseable City*. Yale University Press, 2023. DOI: 10.12987/9780300271737
5. Traunmueller M., Peters-Anders J., Kozłowska A., Buruzs A., Melnyk O. AI-Supported Approaches for Sustainable Urban Development: Analysis of Case Studies. *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH and Austrian Institute of Technology, 2021*. URL: <https://www.readkong.com/page/ai-supported-approaches-for-sustainable-urban-development-8710363>
6. As I., Pal S., Basu P. Artificial intelligence in architecture: generating conceptual design via deep learning. *International Journal of Architectural Computing*. 2018; 16(4):306-327. DOI: 10.1177/1478077118800982
7. Ortega-Fernández A., Martín-Rojas R., García-Morales V.J. Artificial Intelligence in the Urban Environment: Smart Cities as Models for Developing Innovation and Sustainability. *Sustainability*. 2020; 12(19):7860. DOI: 10.3390/su12197860
8. Pazdur-Czarnowska A. *The Future of Public Spaces — towards Interactive Use of Artificial Intelligence in Urban Interiors*. *Space & Form*. 2020; 2020:209-244. DOI: 10.21005/pif.2020.43.c-08
9. Quan S.J., Park J., Economou A., Lee S. *Artificial intelligence-aided design: smart design for sustainable city development*. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. 2019; 46(8):1581-1599. DOI: 10.1177/2399808319867946
10. Sanchez T.W., Shumway H., Gordner T., Lim T. The Prospects of Artificial Intelligence in Urban Planning. *International Journal of Urban Sciences*. 2022; 27(2):179-194. DOI: 10.1080/12265934.2022.2102538
11. Shulin L. Artificial Intelligence to Assist Urban. *2020 Conference on Social Science and Modern Science (SSMS2020)*. 2020. DOI: 10.38007/Proceedings.0000715
12. Yigitcanlar T., Kankanamge N., Regona M., Maldonado A.R., Rowan B., Ryu A. et al. Artificial Intelligence Technologies and Related Urban Planning and Development Concepts: How Are They Perceived and Utilized in Australia? *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. 2020; 6(4):187. DOI: 10.3390/joitmc6040187
13. Utami C.F., Mizuno K., Hasibuan H.S., Soesilo T.E. *Discovering Spatial Development Control For Indonesia : a Systematic Literature Review*. *Geography, Environment, Sustainability*. 2023; 15(4):64-79. DOI: 10.24057/2071-9388-2021-119
14. Yigitcanlar T., Cugurullo F. The Sustainability of Artificial Intelligence: An Urbanistic Viewpoint from the Lens of Smart and Sustainable Cities. *Sustainability*. 2020; 12(20):8548. DOI: 10.3390/su12208548
15. Allam Z. On Complexity, Connectivity and Autonomy in Future Cities. *Sustainable Urban Futures*. 2021; 31-47. DOI: 10.1007/978-3-030-59448-0_3
16. Samoylova N.A. Decision support system in Urban planning (Science + Digital Technology). *Fundamental Search and Applied Research of the RAASN on Scientific Support for the Development of Architecture, Urban Planning and the construction industry of the Russian Federation in 2022–2023 years, scientific works*. Vol. 1. 2024; 574-582. (rus.).

17. Zhang Y. *CityMatrix: An Urban Decision Support System Augmented by Artificial Intelligence*. The MIT Press, 2017.
18. Alonso L., Zhang Y.R., Grignard A., Noyman A., Sakai Y., ElKatsha M. et al. CityScope: a data-driven interactive simulation tool for urban design. Use case volume. *Springer Proceedings in Complexity*. 2018; 253-261. DOI: 10.1007/978-3-319-96661-8_27
19. *The Politics of Mapping*. Wiley-ISTE, 2022; 288. DOI: 10.1002/9781119986751
20. Della Dora V. *The Mantle of the Earth: Genealogies of a Geographical Metaphor*. Chicago, University of Chicago Press, 2020; 416.
21. Perkins C. Cartography: Mapping Theory. *Progress in Human Geography*. 2003; 27(3):341-351. DOI: 10.1191/0309132503ph430pr
22. Wilmott C. *Mobile Mapping Space, Cartography and the Digital*. Amsterdam University Press, 2020; 350. DOI: 10.2307/j.ctvx8b7zc
23. Eremchenko E. Digital earth: the geospatial revolution and its worldview implications. *Logos*. 2023; 33(1):(152):221-241. DOI: 10.22394/0869-5377-2023-1-221-240. EDN CUHFXM. (rus.).
24. Ivanov K., Pisarev A., Gavrilenko S. On the inside of maps: critical cartography. *Logos*. 2023; 33(1):(152):1-32. DOI: 10.22394/0869-5377-2023-1-1-31. EDN QKPOWG. (rus.).
25. Kitchin R., Dodge M. Rethinking maps. *Logos*. 2023; 33(1):(152):33-60. DOI: 10.22394/0869-5377-2023-1-33-59. EDN HTXRZU. (rus.).
26. November V., Camacho-Hübner E., Latour B. *Entering a risky territory: space in the age of digital navigation*. *Logos*. 2023; 33(1):(152):61-96. DOI: 10.22394/0869-5377-2023-1-61-95. EDN MGGXUZ. (rus.).
27. Painter J. Rethinking territory. *Urban Studies and Practices*. 2022; 7(2):13-34. DOI: 10.17323/usp72202213-34. EDN CWVJRP. (rus.).
28. Greenhalgh P., King H. Developing an Indicator of Property Market Resilience—Investigating the Potential of GIS to Analyse Business Occupier Displacement and Property Market Filtering: A Case Study of Tyne and Wear. *Urban Studies*. 2013; 50(2):372-390. DOI: 10.1177/0042098012453860
29. Marsal-Llacuna M.-L., López-Ibáñez M.-B. Smart urban planning: designing urban land use from urban time use. *Journal of Urban Technology*. 2014; 21(1):39-56. DOI: 10.1080/10630732.2014.884385
30. Smith R.G., Doel M.A. Questioning the Theoretical Basis of Current Global-City Research: Structures, Networks and Actor-Networks. *International Journal of Urban and Regional Research*. 2011; 35(1):24-39. DOI: 10.1111/j.1468-2427.2010.00940.x
31. Lynch K. *The Image of the City*. The MIT Press, 1960; 194.
32. Glazychev V.L., Ikonnikov A.V. *The image of the city*. Moscow, Stroyizdat, 1982; 328. (rus.).
33. Negroponte N. *The Architecture Machine*. MIT Press, 1970. DOI: 10.7551/mitpress/8269.001.0001
34. Samoylova N. Urban planning and urban development of living environment using information modeling. *Fundamental, exploratory and applied research of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2018 : collection of scientific papers of RAASN*. 2019; 415-431. DOI: 10.22337/9785432303080-415-431. EDN SLXUMQ. (rus.).
35. Shchedrovitskiy G.P. *Selected Writings*. Moscow, Publishing House of School of Cultural Policy, 1995; 759. (rus.).
36. Nikanorov S.P. *Introduction to conceptual design of automated control system: analysis and structure synthesis*. Moscow, 1995. EDN QMSGXT. (rus.).
37. Matirko V.I., Polyakov V.V., Starikov I.M., Tkachenko Yu.A. *A collection of business games, case studies and practical tasks*. Moscow, Higher school, 1991; 254. (rus.).
38. Lepsky V.E. *Analytics of assembly of the subject of development*. Moscow, Kogito-Center, 2016; 130. EDN WYZIUZ. (rus.).
39. Thematic issue of essays for the 80th anniversary of Vladimir Alexandrovich Lefebvre. *Reflexive Processes and Management*. 2016; 16(1-2). (rus.).
40. Saaty T.L. Relative measurement and its generalization in decision making. Why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors. *Cloud of Science*. 2016; 3(2):171-262. EDN XDCIDF. (rus.).
41. Samoilova N.A. Russia needs a system of urban types of areas (urban units)!? *Urban Development*. 2019; 3(61):42-52. EDN RKEDOT. (rus.).

Received August 20, 2024.

Adopted in revised form on October 21, 2024.

Approved for publication on October 21, 2024.

BIONOTES: Nadezhda A. Samoylova — Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Urban Development of the Institute of Construction and Architecture, Advisor to the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAASN); **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavlshosse, Moscow, 129337, Russian Federation; senior researcher; **Central Institute for Research and Design of the Ministry of Construction and Housing and**

Communal Services of the Russian Federation; 29 Vernadskogo avenue, Moscow, 119331, Russian Federation; ID RSCI: 214212, Scopus: 57202819286, ResearcherID: J-6606-2016, ORCID: 0000-0001-8395-7358, IstinaresearcherID (IRID): 92608258; SamoylovaNA@gic.mgsu.ru;

Igor V. Moskalenko — lecturer at the Department of Digital Cartography, Faculty of Cartography; **Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK)**; 4 Gorokhovskiy lane, Moscow, 105064, Russian Federation; SPIN-code: 1534-1067, ID RSCI: 1256399, ORCID: 0009-0007-3379-4926; info@roscartography.ru.

Contribution of the authors:

Nadezhda A. Samoylova — conceptualization, data gathering and processing, writing of the article, scientific editing of the text, supervision etc.

Igor V. Moskalenko — data gathering and processing, writing of the article, supervision etc.

The authors declare that they have no conflict of interest.

Обеспеченность объектами образования при комплексном развитии жилой застройки в г. Москве

Ион Спиридонович Когутяк¹, Наталья Владимировна Бакаева^{1,2}

¹ *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия;*

² *Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН); г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Актуальность исследования заключается в том, что в крупнейших городах в процессе градостроительного развития появляется дефицит в обеспечении мест в детских садах и школах. Одновременно с проблемой количественной обеспеченности возникает вопрос о необходимости формирования учебно-воспитательных комплексов, которые предполагают объединение детских садов и школ, позволяя обеспечить преемственность в образовательном процессе, а также оптимизировать площадь земельного участка. Такие вопросы приводят к постановке территориально-пространственных задач в области градостроительной деятельности, которая, с одной стороны, формирует жилую застройку и увеличивает число потребителей объектов образования, с другой — выделяет пространство для их строительства.

Материалы и методы. Одной из целей механизма комплексного развития территории является обеспечение условий функционально-пространственной организации социальной инфраструктуры, однако на сегодняшний день решения ее развития не взаимосвязаны с обеспеченностью местами в детских садах и школах, что в долгосрочной перспективе неизбежно отразится на качестве городской среды. Рассматривается территория комплексной застройки; предмет исследования — методика обоснования потребности количественного обеспечения мест, способы и эффекты формирования детских садов и школ в качестве учебно-воспитательных комплексов.

Результаты. Выполнен анализ научных исследований, посвященных обеспеченности детскими садами и школами, в результате которого выявлены основные аспекты, а именно обеспечение потребности в местах с учетом возможности адаптации емкости к демографическим изменениям, преемственности программы дошкольников для обучения в школе; знакомство детей с практическими командными задачами, в том числе на природе в условиях крупнейших городов.

Выводы. В исследовании с использованием системного и математического анализа рассмотрены параметры комплексного развития территории в г. Москве, которые показывают направление изменений функционального назначения территории, позволяющие реализовать изученные подходы к обеспечению местами в объектах образования на территории комплексного развития.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: развитие территории, комплексное развитие территорий (КРТ), жилая застройка, образовательные учреждения, детские сады, школы, обеспеченность, доступность

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Когутяк И.С., Бакаева Н.В. Обеспеченность объектами образования при комплексном развитии жилой застройки в г. Москве // Строительство: наука и образование. 2025. Т. 15. Вып. 2. Ст. 6. URL: <http://ns-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.6

Автор, ответственный за переписку: Ион Спиридонович Когутяк, official.i.s@yandex.ru.

Provision of educational facilities in the integrated development of residential buildings in the Moscow city

Ion S. Cogutiac¹, Natalia V. Bakaeva^{1,2}

¹ *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation;*

² *Scientific Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN); Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The significance of this research lies in the observation that major urban centres face a shortage of available spaces in kindergartens and schools during their development. In addition to addressing the quantitative shortfall, there is a pressing need to establish educational complexes that integrate kindergartens and schools. This integration can facilitate continuity in the educational process and optimise land use. These challenges give rise to territorial and spatial planning issues within urban development, which, on one hand, drive residential construction and increase the population of educational facility users, while on the other hand, necessitate the allocation of space for the construction of these facilities.

Materials and methods. One objective of the mechanism for integrated territorial development is to establish conditions that promote the functional and spatial organisation of social infrastructure. However, to date, the solutions for this development have not been coordinated with the availability of spaces in kindergartens and schools. This disconnection is likely to have a long-term negative impact on the quality of the urban environment. The study focuses on areas designated for complex development, while the subject of inquiry is the methodology used to justify the quantitative need for available spaces and the methods and implications associated with the establishment of kindergartens and schools as educational complexes.

Results. A comprehensive analysis of scientific studies focused on the provision of kindergartens and schools has been conducted. This analysis identified several key aspects, including the need for adequate placements, the capacity for adaptation in response to demographic changes, the continuity of educational programmes for preschoolers transitioning to school, and opportunities for children to engage in practical team tasks, including those set in natural environments within major urban areas.

Conclusions. This study employs system and mathematical analysis to examine the parameters of integrated territorial development in the city of Moscow. It highlights the trends in the functional utilisation of the territory, thereby facilitating the application of the proposed methodologies for allocating spaces in educational facilities within the context of integrated development.

KEYWORDS: area development, Integrated Territorial Development (ITD), residential development, education facilities, kindergartens, schools, observation, accessibility

FOR CITATION: Cogutiac I.S., Bakaeva N.V. Provision of educational facilities in the integrated development of residential buildings in the Moscow city. *Construction: Science and Education*. 2025; 15(2):6. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.6

Corresponding author: Ion S. Cogutiac, official.i.s@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспеченность и доступность бесплатного дошкольного и школьного образования гарантируется Конституцией РФ. Однако в силу интенсификации градостроительных процессов, вызванных комплексным развитием территории¹ и связанных с реализацией жилой застройки на территориях бывших производственных зон, возникает угроза необеспеченности населения детскими садами и школами из-за отсутствия взаимной увязки решений по размещению жилой застройки и емкостью образовательных учреждений, располагаемых и планируемых к реализации, в том числе и на прилегающих территориях. На сегодняшний день в г. Москве сформированы более 500 участков для комплексного развития территории, существенная часть которых предполагает размещение жилой застройки².

Механизм комплексного развития территории ставит цели формирования гармоничного пространства для жизнедеятельности населения городов. Таким образом, в рамках настоящего исследования выявлена научная проблема, состоящая в несоответствии новых фактов и данных, вызванных необходимостью учета взаимосвязи параметров проектов планировки территории в части обеспеченности местами в детских садах и школах с новой и существующей застройкой, и старым способом их объяснения, не учитывающим параметры потребности прилегающей существующей и планируемой застройки, а также особенности вариантов образования участков размещения детских садов и школ.

За последние несколько десятилетий в научном знании сформировалось глубокое понимание

проблемы обеспеченности социальной инфраструктурой в градостроительной деятельности, которая напрямую связана с демографической ситуацией и определяет потребности в емкости детских садов и школ. В рамках выявленной проблемы рассмотрены исследования Л.В. Глебушкиной, И.Ю. Чубаркиной, Е.Н. Белой, А.В. Сидоровой, Г.В. Леонидовой, З.А. Асадова, И.М. Лапцевич, О.С. Сачава, С.П. Кудрявцева, Н.С. Долотказина и других, направленные на решение проблемной ситуации по обеспечению объектами образования, в частности детскими садами и школами, с учетом возникающих потребностей населения и необходимости формирования учебно-воспитательных комплексов, а также их рационального расположения на территории жилой застройки. Так, например, в работе «Реконструкция территорий жилой застройки городов Восточной Сибири» Л.В. Глебушкиной предложено анализировать потребность в социальных объектах исходя из классификации квартир по уровню комфорта: социальный, деловой и престижный. Уровень определяется на основе оценки износостойкости конструктивных систем типовых серий жилых домов, и чем выше показатель конструктивных систем, тем выше уровень комфорта квартиры, при этом норма общей площади в расчете на одного человека возрастает соответственно уровню комфорта. Для оптимизации жилой застройки предложены пять объемно-пространственных приемов:

1. Модернизация путем перепланировки для существующего фонда социального фонда.

2. Надстройка жилых домов, существующих домов социального фонда предусматривает деловой фонд в надстройке.

3. Вставки между жилыми домами существующего фонда социальных домов предусматривают деловой фонд во вставках.

¹ Об образовании в Российской Федерации : Федеральный закон Российской Федерации от 29.12.2012 № 273-ФЗ.

² Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (в ред. от 08.08.2024).

4. Уширение корпуса жилого дома с получением квартир делового типа.

5. Комплексная реконструкция, использующая сочетание представленных приемов, социальный тип жилья получает при модернизации деловой уровень, а надстраиваемый тип — престижный уровень.

В рамках анализа научных работ по проблеме обеспечения местами в детских садах и школах для определения размещения объектов обслуживания применялись натурное обследование и опрос, которые показали неравномерное распределение по исследуемой территории таких объектов. По результатам исследования детские сады и школы оказались расположены в центре квартала первого периода индустриального домостроения [1].

В работе Л.Л. Никульшина «Градостроительное обоснование размещения образовательных учреждений при реконструкции городской застройки» предложено определять размещение образовательного учреждения на основе расчета потребности от численности населения и нормативных радиусов доступности с учетом документации территориального планирования в части сносимого жилого фонда и планируемой новой жилой застройки. Главным приоритетом при выборе местоположения образовательного учреждения представляется экологическая ситуация. В данной научной работе рассматриваются последовательность действий по определению территориального ресурса и необходимых для размещения исходя из потребностей населения участков, формирование перечня оценочных факторов, присвоение балльных оценок и расчет рейтинга оценочного фактора. Представленная методика предлагает мониторинг экологического состояния городских территорий для сокращения заболеваемости детей в 2,5 раза. Таким образом, в работе предложено использование информационной системы в качестве инструмента контроля обеспечения мест образовательных учреждений с учетом экологических требований [2].

В работе «Методические основы воспроизводства объектов социальной инфраструктуры урбан-блоков с использованием ценностного подхода» И.Ю. Чубаркиной приведен новый термин «урбан-блок» в качестве комплексного инвестиционно-строительного проекта, в который входят жилищный фонд и социальная инфраструктура. Однако, согласно исследованию, в рамках термина «социальная инфраструктура» предполагается совокупность трудовой, общественной, культурной и социально-бытовой деятельности без учета детских садов и школ [3].

Е.Н. Белой в своем исследовании «Экономическое обоснование размещения дошкольных образовательных учреждений при реконструкции городской застройки» представил алгоритм на основе балльной оценки по социальным и экономическим

факторам для обоснования размещения детских садов. Предложенная методика в рамках факторов социального обоснования учитывает демографическую ситуацию, потребность населения в дошкольных образовательных учреждениях (ДОУ), оценку состояния сети ДОУ в городе, а в рамках экономического обоснования размещения ДОУ оценку транспортной доступности и экономических условий. Для реализации данной оценки предусматривается алгоритм, состоящий из этапов: 1 — выбор участка на основании показателей существующих ДОУ; 2 — определение потребностей населения в ДОУ путем установления разницы между фактической и проектной мощностью; 3 — анализ территории на соответствие градостроительным регламентам правил землепользования и застройки; 4 — расчет балльной оценки участков согласно пространственным и статистическим данным; 5 — формирование таблицы социально-экономической ценности по каждому участку; 6 — выбор участка по максимальному баллу. В рамках балльной оценки предложены диапазоны влияния каждого учитываемого фактора так, что демографический показатель оценивается в 2 балла; плотность населения, озеленения и обеспеченности ДОУ — 5; транспортная доступность — 5; состояние среды — 5; экономический показатель — 5 [4, 5].

А.В. Сидоровой в труде «Креативная образовательная среда дошкольного образования: вопросы преемственности» рассматривается проблема адаптации у первоклассников. На основе общения с педагогами в формате круглого стола сформулированы следующие проблемы адаптации первоклассников:

1. Неспособность договариваться между собой в группах 3–4 человека.
2. Неспособность к организации пространства для работы.
3. Отсутствие навыка поиска информации.
4. Отсутствие элементарных математических основ.

Для решения этих проблем предлагается формирование креативной предметно-развивающей среды в качестве единого учебно-воспитательного комплекса, учитывающей особенности образовательной среды за счет преемственности, позволяющей решить вопросы начального общего образования [6].

Г.В. Леонидовой («Дошкольное образование в России: обеспеченность и доступность») уделяется особое внимание проблеме доступности детских садов с учетом активной демографической динамики, влияющей на их потребность с начала 1990-х гг. до 2010-х гг. в РФ. В работе рассматриваются напряженность в социальной сфере в связи с существенными и резкими различиями в потребности в детских садах в 1990-х и 2000-х гг. В качестве альтернативного ресурса мест в детских садах предлагаются частные дошкольные учреждения, группы

кратковременного пребывания, группы семейного воспитания, семейные детские сады, с целевым показателем 5 % от общей мощности. Эта доля в г. Москве на момент исследования уже составляла более 6 %. Такие показатели объясняются нежеланием частных структур проходить необходимые процессы лицензирования и несоответствием используемых помещений действующим стандартам. В публикации демонстрируется прямое влияние демографического цикла на нагрузку в детских садах. В качестве специфики обеспеченности детских садов представляется особая актуальность в местах для детей от 1–3 лет, нежели от 3–6 лет. Отмечена низкая вариативность видов ДООУ. Так, детские сады компенсирующего типа составляют 2 %, а детские сады для детей раннего возраста 0,5 %. Предлагаются два направления работы для решения этого вопроса: 1) развитие альтернативных видов дошкольного образования; 2) повышение уровня социальной защиты семей с детьми дошкольного возраста в виде материальной компенсации семьям, которые не имеют возможности устроить ребенка в государственный детский сад [7].

В рамках публикации З.А. Асадовой «О формах связи детского сада и школы» был выполнен опрос, в результате которого формируется потребность в участии школьных педагогов в процессе подготовки детей дошкольного возраста к школьной программе. Необходимо привлечение детей к практическим командным задачам самообслуживания, активной деятельности. В исследовании поставлен эксперимент продолжительностью 2 года с участием воспитателей и преподавателей, направленный на взаимодействие между детским садом и школой посредством взаимодействия между педагогом и детьми, педагогом и воспитателем, с учетом пространственных особенностей детского сада и школы. Такое тесное взаимодействие на долгосрочной основе представляется возможным при формировании надежных и стабильных административных и пространственных связей [8, 9].

И.М. Лапцевич и О.С. Сачава в своей работе «Единое образовательное пространство “Детский сад – школа”»: от теории к практике» анализируют преимущества, риски и практические проблемы при объединении детских садов и школ. Предлагается рассмотреть сопоставление требований к выпускнику детского сада и школы согласно действующим федеральным нормативным требованиям в части личностных, предметных результатов, которые демонстрируют принципиальную преемственность и готовность к объединению функции детского сада и школы. Как преимущество от объединения детского сада и школы приводится эффект снижения нагрузки на ребенка в период с 5–10 лет за счет преемственности, вторым плюсом является возможность долгосрочной и планомерной работы с ребенком в случае наличия логопедических

или психологических и других проблем, третьим — нормативно-правовое регулирование дошкольной деятельности в качестве образовательной, и именно объединенный со школьной опцией вариант способствует образовательной функции реализоваться наиболее эффективно. В части рисков от объединения детского сада и школы приводится перенос методов работы со школьниками на дошкольников, т.е. ситуация, при которой программа первого класса проводится на раннем этапе, не предполагающая развитие необходимых для обучения в школе качеств. Таким образом, преемственность не отменяет старое, а развивает его на следующем этапе становления. Очередной риск связан с неверной трактовкой понятия «готовности к школе», часто это воспринимается как готовность к изучению конкретных предметов, таких как навыки счета, чтения и письма. Однако готовность в школе предусматривается, в первую очередь, не на содержательном, а на деятельном уровне. В данном исследовании также отражены позиции различных ролей: для родителей — в преемственности процесса развития, близком пространственном расположении детского сада и школы, возможностей дополнительного образования, обеспечения бесшовного психолого-педагогического сопровождения детей; для педагогов — в увеличении контингента воспитанников и обучающихся, повышении педагогического мастерства и улучшении материально-технической базы; для детей — в единой траектории требований на различных уровнях, преемственности образовательных программ, формировании долгосрочных личностных отношений внутри коллектива. В отношении социально-психологического аспекта объединение коллективов требует анализа доминирующих в коллективах систем ценностей, среди которых могут быть жизненная мудрость, красота природы, любовь, материально обеспеченная жизнь, познание и т.д., на основе этих факторов поставлен эксперимент, в рамках которого коллективы оцениваются и определяется общность их ценностей. В исследовании представлены детализированные практические рекомендации по поэтапному объединению школы и детского сада [10].

С.П. Кудрявцева, Н.С. Долотказина в труде «Современные направления создания детских образовательных учреждений» рассматривают возможность формирования адаптивных пространств образовательных учреждений, приводится понятие «открытого пространства» в качестве единого свободного пространства для детей, где не предусмотрены различные возрастные группы. В виде ответа на демографические изменения предлагается адаптировать емкость объекта, использовать модульные, контейнерные блоки. Представлен экспериментальный архитектурный проект, в рамках которого предложены емкости детского сада на 75, 140 и 200 мест на основе модульной концепции. В рамках проектных решений предложены игровые площадки

на стилобатной части, доказывающие возможность эксплуатации надземного уровня территории [11].

Рассмотренные выше исследования во многом сформировали научно обоснованное представление об обеспеченности детскими садами и школами проектов жилой застройки и их взаимосвязи. Однако в части определения территориального ресурса ранее предложенные подходы неактуальны для применения в крупнейших городах, таких как Москва, например, ввиду более высоких требований к городской среде, а также экономических условий, требующих более высокой плотности застройки. Наиболее релевантным территориальным ресурсом для крупнейших городов могут выступать участки комплексного развития территории (КРТ), которые позволяют, с одной стороны, формировать жилую застройку с учетом современных требований к городской среде и плотности застройки, делая возможным экономическую целесообразность реализации жилой застройки; с другой — создавать места в детских садах, обеспечивающих потребности проектируемой и примыкающей к ней существующей и планируемой жилой застройки. Также в анализируемых исследованиях не представлены особенности территориально-пространственной организации различных вариантов размещения детских садов и школ, которые могут коренным образом изменить рассматриваемые в научных работах проблемы. С этой целью необходимо использовать инструменты, направленные на достижение устойчивого развития территории, высоких показателей жилищного строительства, условий развития инфраструктурных городских систем. Таким механизмом может служить КРТ — особый вид градостроительной деятельности, который представляет собой совокупность мероприятий в рамках советующего договора, таких как: разработка документации по планировке территории, разработка архитектурно-градостроительных решений, разработка проектной и рабочей документации и т.д. вплоть до ввода объектов капитального строительства в эксплуатацию и передачи инфраструктурных объектов на баланс городских организаций [12–15].

В Москве данный механизм приобрел специфику развития, прежде всего, производственных зон [16]. На сегодняшний день механизм и эффекты от реализации КРТ являются активно исследуемым объектом в части правового регулирования [17, 18], выявления негативных факторов, препятствующих достижению целей КРТ [19, 20]. В отношении утверждения направления градостроительного развития КРТ в г. Москве сформулирован порядок обоснования и установления предельных параметров комплексного развития территории — это параметры, установленные в постановлении Правительства Москвы и включающие: границы комплексного развития территории, площадь участка комплексного развития территории, максимальную суммарную

поэтажную площадь в границах наружных стен, виды разрешенного использования территории, сроки подготовки документации по планировке территории, сроки реализации КРТ, оператора КРТ [16, 21–23].

С учетом существующего опыта функционально-пространственной организации жилой застройки целью настоящего исследования является изучение проблемы обеспечения местами в детских садах и школах при комплексном развитии жилой застройки г. Москвы.

Гипотеза исследования — механизм комплексного развития территории жилой застройки (на примере г. Москвы) при реализации жилой застройки может стать территориальным ресурсом для обеспечения прилегающих территорий местами в детских садах и школах, учитывающий потребности населения во взаимосвязи со спецификой и требованиями размещения объектов образования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Область исследования — с учетом многочисленности и существенной пространственной диверсификации участков комплексного развития в г. Москве³ предлагается рассмотреть эти участки для возможности обеспечения местами в детских садах и школах (рис. 1) [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ 40 постановлений Правительства Москвы о комплексном развитии территории показал, что на исследуемых участках, на которых на сегодняшний день расположены производственные объекты и объекты, обслуживающие их, планируется размещение преимущественно жилой застройки с объектами дошкольного и школьного образования. Рассмотрим планируемую застройку до 20 тыс. м² суммарной поэтажной площади (СПП) в отношении 40 участков КРТ, по которым утверждены постановления Правительства Москвы. Распределение участков КРТ представлено по горизонтали, а показатель СПП — по вертикали (рис. 2)⁴.

Объекты образования, среди которых школы и детские сады, расположены в диапазоне 6–20 тыс. м², объекты спорта — до 8 тыс. м², гостиницы варьируются от 10 до 20 тыс. м², а медицинские — до 15 тыс. м². При этом необходимо отметить, что общественно-деловая функция занимает весь рассматриваемый диапазон площадных характеристик. Площадь объ-

³ О мерах по реализации проектов комплексного развития территорий нежилой застройки города Москвы : Постановление Правительства Москвы от 23.03.2021 № 331-ПП.

⁴ Классификатор видов разрешенного использования земельных участков : приказ Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 10.11.2020 № П/0412.

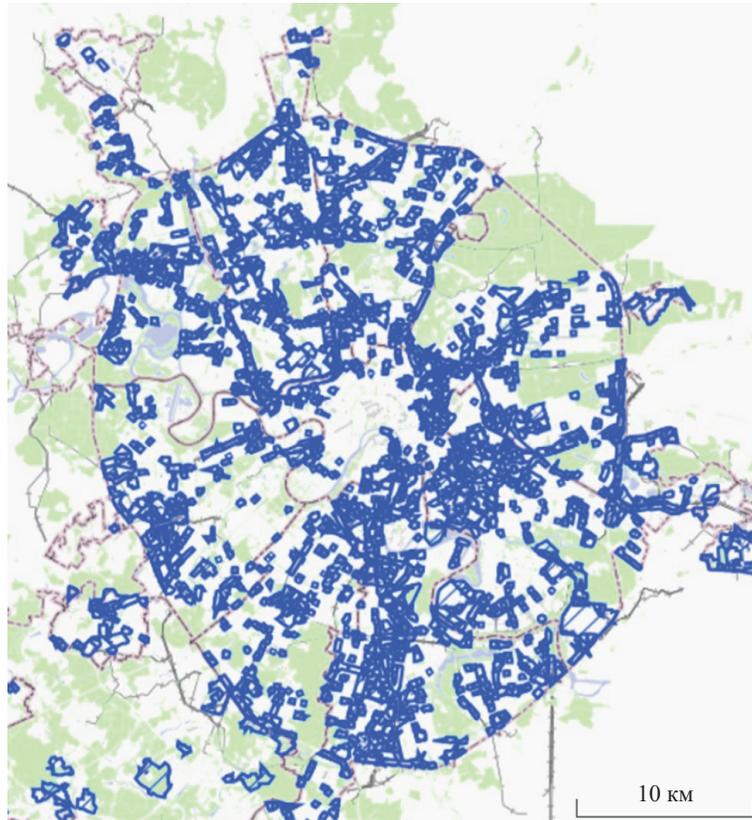


Рис. 1. Схема границ участков комплексного развития в г. Москве

ектов административного назначения — 6–8 тыс. м² (рис. 3)⁵.

Анализ сравнения существующей и планируемой плотности застройки в границах КРТ предлага-

⁵ Перечень документов // Сайт мэра Москвы. Департамент инвестиционной и промышленной политики города Москвы. 2023. URL: <https://www.mos.ru/dipp/documents/proekty-reshenii-o-kompleksnom-razvitii-territorii-nezhiloi-zastroiki/>

ется путем сопоставления числовых показателей (рис. 3). В большинстве случаев планируемая плотность многократно превышает существующую, однако есть исключение — КРТ, расположенное по адресу: ул. Пресненский Вал, вл. 27 в существующем положении имеет 9,25 тыс. м² на га, а планируется размещение застройки с плотностью 6,25 тыс. м² [19].

Рассмотрим изменение функций, предлагаемых в рамках КРТ (рис. 4). На представленной аллюви-

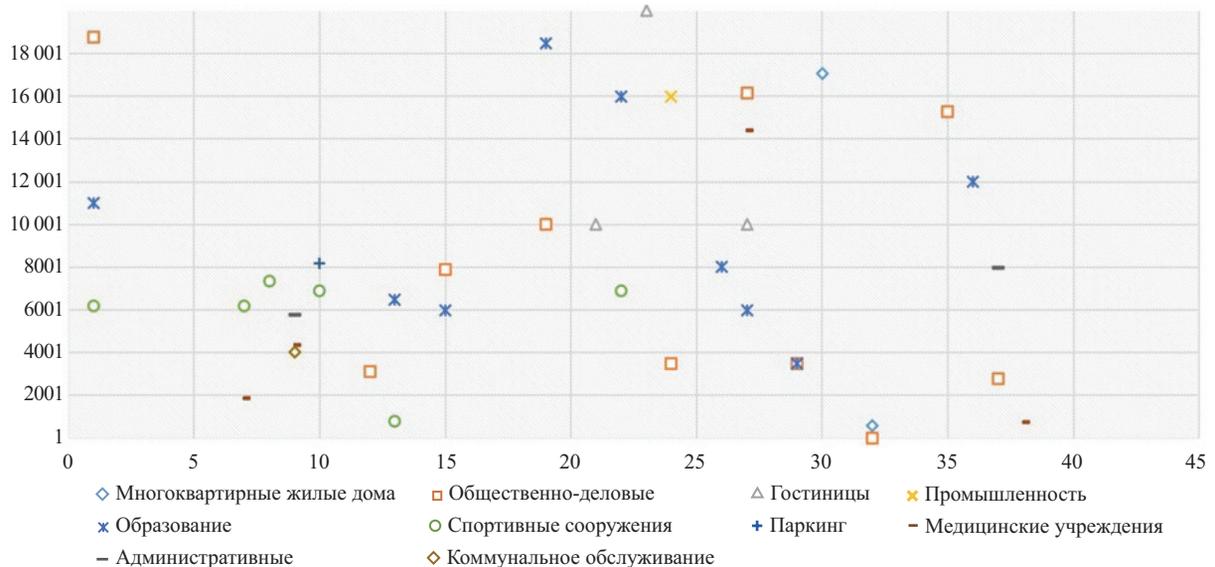


Рис. 2. Анализ площадных показателей планируемой застройки в диапазоне 1–20 тыс. м²

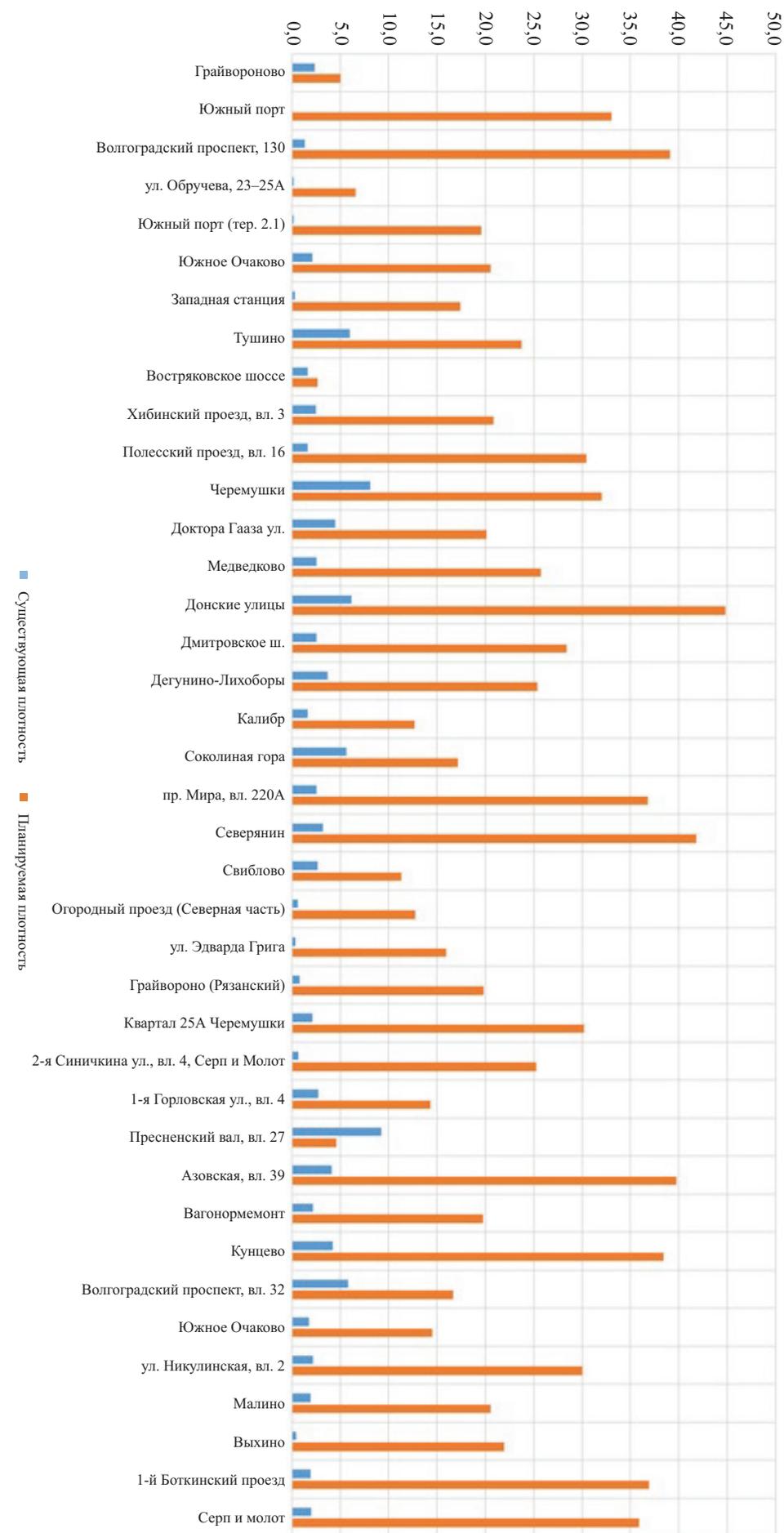


Рис. 3. Диаграмма сравнения существующей и планируемой плотности застройки в границах КРТ

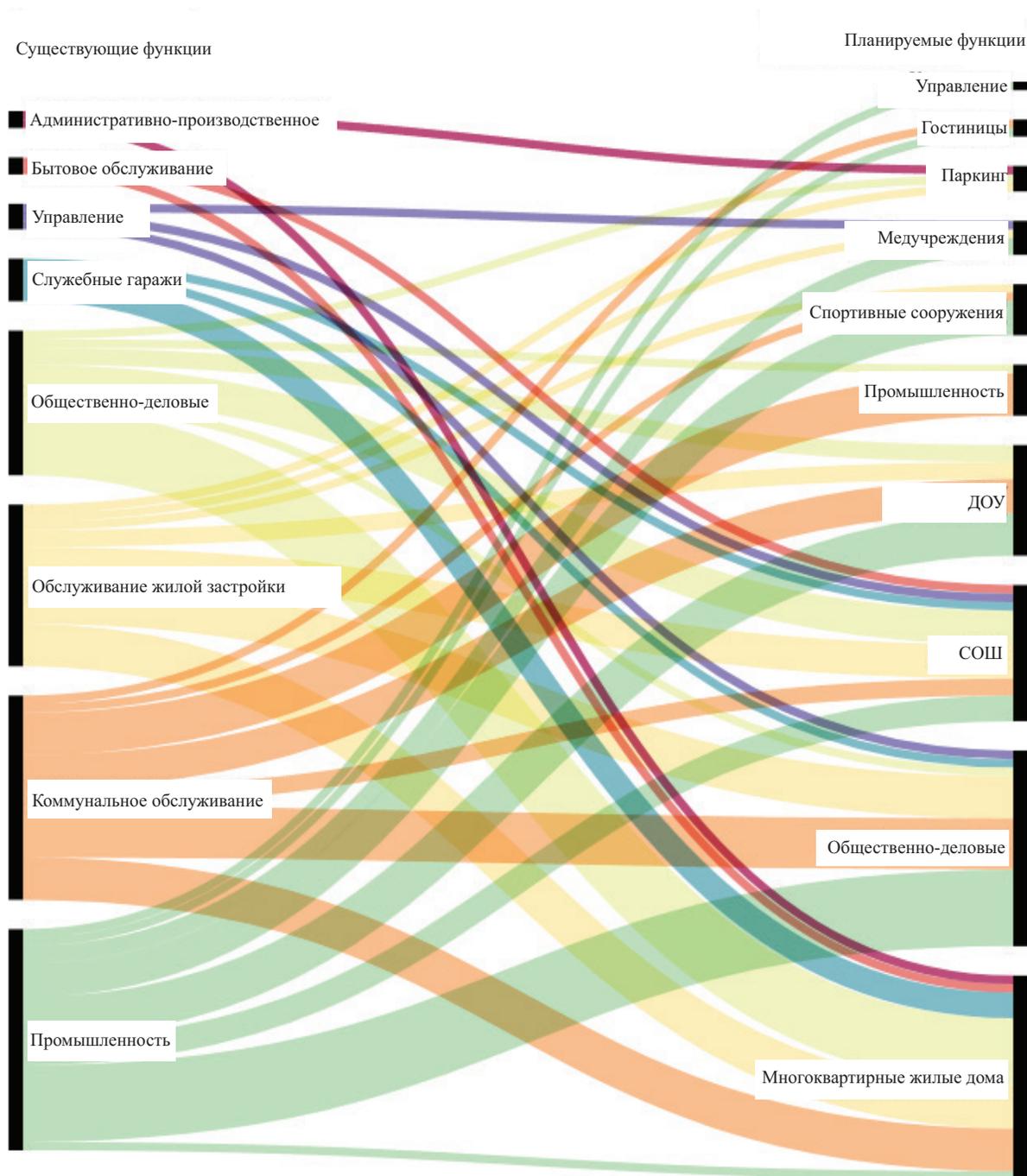


Рис. 4. Аллювиальная диаграмма изменения функций в рамках КРТ

альной диаграмме слева представлены существующие функции, справа — планируемые. Под наименованием каждой функции написано количество выявленных функций в перечне исследуемых участков КРТ. Исходя из диаграммы, можно сделать вывод, что на сегодняшний день в рамках механизма КРТ часто располагают детские сады и школы.

Проведенный анализ показывает интенсивное развитие бывших производственных территорий. На реорганизуемой территории предусматриваются различные функции, однако одной из наиболее часто встречаемых является жилая застройка, которая

в соответствии с социальными нормами предполагает обеспечение местами в детских садах и школах⁶. Тем не менее многие планировочные решения, принятые в рамках размещения детских садов и школ, не имеют научного обоснованного подхода к определению типа формирования образовательного учреждения и емкостей мест [20, 22, 23].

⁶ О комплексном развитии территории нежилой застройки города Москвы № 551, расположенной по адресу: г. Москва, ул. Пресненский Вал, вл. 27 : Постановление Правительства Москвы от 28.06.2023 № 1219-ПП.

Определение потребности населения в местах в детских садах и школах и способы формирования земельных участков для ДОУ и СОШ

Вопрос размещения детских садов и школ представляется целесообразным рассматривать с позиций учета потребностей населения и требований их доступности в рамках действующей нормативно-правовой базы. Если говорить о динамично развивающихся городах, то потребность населения может меняться в прямой зависимости от меняющейся СПП жилой застройки согласно региональным нормативам градостроительного регулирования. Иначе говоря, за ростом жилой застройки растет потребность в детских садах и школах. Следует отметить, что вопрос обеспеченности местами в детских садах и школах может быть усложнен в случае одновременного не взаимно учитываемого профицита обеспечения территории. Например, если в существующей жилой застройке с избыточной (профицитной) обеспеченностью мест в детских садах и школах единовременно планируется размещение жилой застройки, которая не учитывают нагрузку на места в детских садах, от реализации проектов друг друга возникает ситуация, при которой образуется нехватка мест в детских садах и школах [24].

С целью предотвращения такого рода ситуаций требуется комплексная оценка обеспеченности территории местами в детских садах и школах с учетом прилегающей территории. Из этого утверждения возникает закономерный вопрос, что можно считать территорией прилегающей, которую необходимо учитывать таким образом, чтобы при реализации проекта планировки учесть возможные существующие и планируемые потребности в местах в детских

садах и школах? Для определения прилегающей территории стоит, пользуясь математическим и системным методами, учесть территорию, способную влиять на обеспеченность мест в детских садах и школах, соответственно это территория, расположенная в зоне доступности детского сада или школы (рис. 5). Таким образом, прилегающей территорией можно назвать территорию, расположенную на расстоянии удвоенного радиуса нормативной доступности детского сада или школы.

Важно отметить, что доступность детского сада и школы отличается, это означает, что и учитываемая прилегающая территория детского сада и школы будет отличаться. Так, например, при доступности детских садов 300 м прилегающая территория — 600 м от проектируемой, а при доступности школ 500 м прилегающая территория составит 1000 м². Необходимость учета доступности объекта образования во всех направлениях заключается в том, что в границах доступности с противоположной стороны может располагаться жилая застройка, влияющая на нагрузку учитываемой школы или детского сада. Помимо планируемой жилой застройки могут быть планируемые детские сады и школы, емкость которых также следует принимать во внимание, так как они могут не только покрывать потребности планируемой застройки, но и предусматривать обеспечение прилегающей территории. Таким образом, для комплексной оценки потребности в детских садах и школах следует рассчитывать потребность

⁷ Об утверждении нормативов градостроительного проектирования города Москвы в области образования : Постановление Правительства Москвы от 21.12.2021 № 2151-ПП.

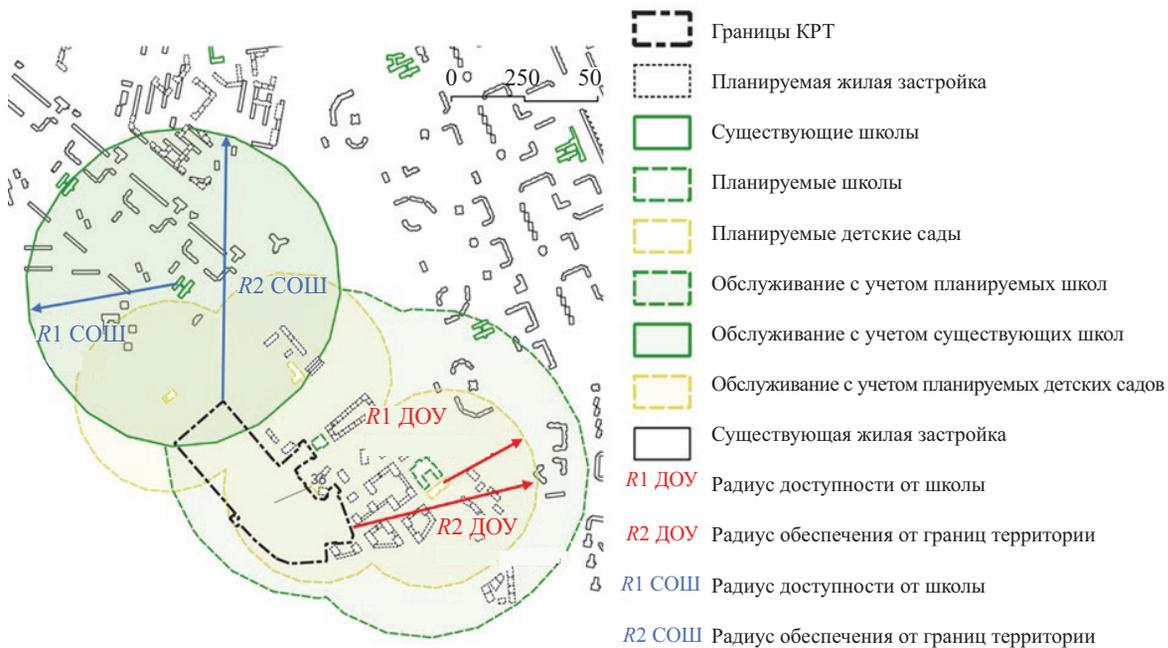


Рис. 5. Схема доступности и обеспеченности существующей и планируемой застройки местами в детских садах и школах

прилегающей территории, определив требуемую доступность, а затем оценить мощность детских садов и школ на прилегающей застройке и рассчитать существующую и планируемую обеспеченность местами в детских садах и школах [25, 26].

Результаты анализа 40 постановлений о комплексном развитии территории показали переход от функций производственной и прочей нежилой застройки в 13 детских садах и 16 школах. Важно рассматривать эти детские сады и школы в контексте 24 случаев размещения многоквартирных жилых домов. Результаты анализа также позволили оценить площадь образовательных учреждений от 6 до 19 тыс. м², а также определить масштаб увеличения плотности застройки на территории комплексного развития 5–35 тыс. м².

Для определения размещения и емкости детского сада и школы предлагается подход на основе установления потребностей населения и доступности. Совмещение этих двух условий учитывает специфику обеспечения школ и детских садов. Определение потребностей формируется из суммы населения в существующей, планируемой и проектируемой застройке; выявление доступности, прилегающей к проектируемой территории, устанавливается как зона доступности детского сада и школы, которая может влиять на обеспеченность проектируемой территории и брать на себя нагрузку от прилегающей территории.

На сегодняшний день сформировался объем научных работ, направленный на обеспечение потребности в детских садах и школах. Одним из наиболее частых вопросов обеспеченности приводится удовлетворенность потребности населения в местах в детских садах и школах. Реальная (фактическая) потребность в местах детских садов и школ обладает существенной изменчивостью как в большую, так и в меньшую сторону, в зависимости от общей демографической ситуации в стране. Для улучшения качества обеспечения детскими садами и школами необходимо развитие альтернативных видов дошкольного образования с учетом формирования частного обеспечения таких мест. Реализация различных вариантов объектов образования лежит в плоскости градостроительной деятельности и представляет собой задачу, требующую применения комплексного подхода. Размещение образовательного учреждения предлагается на основе балльных систем, учитывающих определение потребности населения, оценку градостроительных ограничений и балльной оценки по факторам плотности населения, транспортной доступности и экономического состояния, нормативной доступности и постоянной оценки экологических показателей для сохранения здоровья детей.

Отсутствие соответствующей подготовки после детского сада может препятствовать наилучшему началу обучения в школе в связи с отсутствием пре-

емственности. Решение этой проблемы представляется возможным за счет формирования учебно-воспитательного комплекса. Для интеграции детей в школьное образование требуется специальная подготовка и формирование определенных навыков. В этом смысле учебно-воспитательный комплекс может способствовать более плавному переходу детей в среду школьного обучения. У объединения детского сада и школы есть преимущества в виде снижения нагрузки в период начального образования, долгосрочная работа позволяет педагогам более эффективно работать и индивидуально учитывать особенности детей, а среди рисков объединения детского сада и школы — перенос школьных методов работы в детский сад.

В силу того, что плотность и территориальные характеристики мегаполисов делают пространство, пригодное для размещения загородных домов, более конкурентным и недоступным для большей части населения, отсутствует возможность знакомства детей в крупнейших городах с культурой народного хозяйства, теряется возможность тактильного восприятия естественных природных текстур (почва, листья, кора, плоды растений), рекреационной составляющей от прямого взаимодействия с растениями и ответственность за окружающую среду в виде биосферы. В рамках модульных объемно-пространственных решений возможно предусмотреть в несезонное (летнее) время создание на эксплуатируемых кровлях детских садов и школ садов, где дети могли бы ухаживать и наблюдать за развитием растений. С одной стороны, это могло бы сформировать практическую задачу для детей, которую они бы могли выполнять сообща, с другой — это могло бы послужить альтернативой дефициту взаимодействия с природой детей, живущих в больших городах.

Также для обеспечения с точки зрения пространственной организации важным является организация открытых пространств, которые положительно сказываются на креативной составляющей воспитанников и школьников, а ответом на демографические изменения предлагается модульное строительство, которое может как увеличивать, так и уменьшать емкость образовательного объекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день существуют различные варианты образовательных учреждений, располагающих преимуществами, рисками и условиями. Одновременно с этим потребность населения в обеспечении мест в детских садах и школах обладает изменчивостью, однако на сегодняшний день наука не располагает исследовательскими работами, предлагающими территориально-пространственное решение данных вопросов.

Механизм комплексного развития территории формирует новую жилую застройку на месте быв-

ших производственных зон, на прилегающей территории которых располагается существующая и планируемая жилая застройка, что создает уплотнение населенных территорий и позволяет воздействовать на обеспечение населения детскими садами и школами. Комплексное развитие может быть рассмотрено в качестве территориального ресурса для реализации обеспечения мест в детских садах и школах.

Одна из ключевых проблем обеспечения местами в детских садах и школах при комплексном

развитии — отсутствие взаимной увязки потребностей проектируемой и прилегающей территории с учетом существующей и планируемой жилой застройки.

Таким образом, для научного сообщества градостроительного направления складывается острая необходимость в продолжении исследования для комплексного определения потребности и выбора варианта реализации образовательных учреждений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Глебушкина Л.В. Реконструкция территорий жилой застройки городов Восточной Сибири : дис. ... канд. тех. наук. М., 2012. 237 с. EDN QGADTZ.
2. Никульшина Л.Л. Градоекологическое обоснование размещения образовательных учреждений при реконструкции городской застройки : дис. ... канд. тех. наук. М., 2011. 201 с. EDN QFJWCF.
3. Чубаркина И.Ю. Методические основы воспроизводства объектов социальной инфраструктуры урбан-блоков с использованием ценностного подхода // Экономика и предпринимательство. 2018. № 11 (100). С. 816–819. EDN YPFIEH.
4. Белая Е.Н. Экономическое обоснование размещения дошкольных образовательных учреждений при реконструкции городской застройки : автореф. дис. ... канд. экон. наук. Ростов н/Д., 2014. 22 с. EDN ZPPQWL.
5. Долгов А.В., Сычева Е.Б. Особенности формирования фонда дошкольных объектов в условиях демографической динамики // Академический вестник УралНИИПроект РААСН. 2014. № 4. С. 53–55. EDN TJOJML.
6. Сидорова А.В. Креативная образовательная среда дошкольного образования: вопросы преемственности // Воспитание и обучение детей младшего возраста : сб. мат. Междунар. науч.-практ. конф. 2016. № 5. С. 897–899. EDN WFQHFJ.
7. Леонидова Г.В. Дошкольное образование в России: обеспеченность и доступность // Проблемы развития территории. 2015. № 5 (79). С. 7–17. EDN UIWGZX.
8. Асадова З.А. О формах связи детского сада и школы // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 2–2. С. 288–292. EDN SGRUAN.
9. Славко А.Л. Организация учебно-воспитательного процесса по дисциплине «Физическая подготовка» в образовательных организациях МВД России на основе личностно-ориентированного подхода // Психология и педагогика служебной деятельности. 2024. № 1. С. 119–121. DOI: 10.24412/2658-638X-2024-1-119-121. EDN CMSPNL.
10. Латцевич И.М., Сачава О.С. Единое образовательное пространство «Детский сад – школа»: от теории к практике // Управление образованием: теория и практика. 2014. № 3 (15). С. 46–66. EDN QRIRZO.
11. Кудрявцева С.П., Долотказина Н.С. Современные направления создания детских образовательных учреждений // Архитектура и современные информационные технологии. 2016. № 3 (36). С. 13. EDN WQRXXX.
12. Fisher A.G.B. Production, primary, secondary and tertiary // Economic Record. 1939. Vol. 15. Issue 1. Pp. 24–38. DOI: 10.1111/j.1475-4932.1939.tb01015.x
13. Clark C. The Conditions of Economic Progress. London : Macmillan, 1940.
14. Fourastié J. Le Grand Espoir du XXe siècle : Progrès technique, progrès économique, progrès social. Paris : Presses Universitaires de France, 1949.
15. Dewey J. The school and society. Chicago, 1915. 164 p.
16. Cogutiac I.S., Bakaeva N.V. Analysis of the integrated development of the territory of the industrial zones of the city of Moscow // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 403. P. 01026. DOI: 10.1051/e3sconf/202340301026
17. Маликов В.В. Понятие и правовые признаки комплексного развития территории // Проблемы экономики и юридической практики. 2022. Т. 18. № 2. С. 92–95. EDN WQYUSG.
18. Ербягина М.В. Нормативно-правовое регулирование в вопросе комплексного развития городских территорий // Архитектура и дизайн. 2021. № 2. С. 29–38. DOI: 10.7256/2585-7789.2021.2.37323. EDN AOIQEZ.
19. Ковалёва А.В., Глебов М.П. Факторы, препятствующие эффективному комплексному развитию городских территорий // Труды Братского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2010. Т. 1. С. 147–150. EDN SEJGQL.
20. Алексеев Ю.В. Основы планирования, проектирования поселений региона и организации и координации профессиональной деятельности : монография. М. : Изд-во АСВ, 2022. 295 с.
21. Кирсанов А.Р. Комплексное развитие территорий: от глобальных планов к конкретным пробле-

мам // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2022. № 11 (254). С. 35–42. EDN QBGXJK.

22. Страшинова Ю.Г., Страшинова Л.Ф., Макарова И.Е. Роль сферы услуг в социально-экономическом развитии Москвы // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2020. № 52. С. 233–249. DOI: 10.17223/19988648/52/14. EDN MMPDLL.

23. Киреенко С.Г., Гринишон И.Э. Элементы теории множеств : учебное пособие. Томск, 2003.

24. Бестужев-Лада И.В. Социальное прогнозирование. М. : Знание, 1969. 62 с.

25. Седякина А.В. Зарубежный опыт исследования проблем развития объектов социальной инфраструктуры // Экономика. Право. Менеджмент : сб. тр. молодых исследователей БГУ. 2015.

26. Волкова А.А. Воздействие сферы услуг на социальную сферу и качество экономического роста // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2015. № 3 (33). С. 89–93. EDN UYVCLL.

Поступила в редакцию 22 сентября 2024 г.

Принята в доработанном виде 15 ноября 2024 г.

Одобрена для публикации 28 ноября 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: **Ион Спиридонович Когутяк** — аспирант кафедры градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ResearcherID: LSI-8574-2024, ORCID: 0009-0000-9557-1559; official.i.s@yandex.ru;

Наталья Владимировна Бакаева — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН)**; 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21; Scopus: 56826095700, ResearcherID: P-1152-2015, ORCID: 0000-0003-0518-6521; natbak@mail.ru.

Вклад авторов:

Когутяк И.С. — обзор научной литературы, подготовка анализа исследуемых материалов, написание проекта статьи.

Бакаева Н.В. — научное руководство, концепция исследования, развитие методологии, написание исходного текста, итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

The provision and accessibility of free pre-school and school education is guaranteed by the Constitution of the Russian Federation. However, due to the intensification of urban planning processes caused by the integrated development of the territory¹ and associated with the implementation of residential development on the territories of former production zones, there is a threat of failure to provide the population with kindergartens and schools due to the lack of mutual coordination of decisions on the location of residential development and the capacity of educational institutions located and planned for implementation, including in the adjacent territories. As of today, more than 500 plots have been formed in Moscow for integrated development of the territory, a significant part of which involves residential development².

¹ On Education in the Russian Federation : Federal Law of the Russian Federation of 29.12.2012 No. 273-FZ.

² Town-planning Code of the Russian Federation from 29.12.2004 No. 190-FZ (in edition from 08.08.2024).

The mechanism of integrated development of the territory sets the goals of forming a harmonious space for the life activity of the population of cities. Thus, the present study reveals a scientific problem consisting in the discrepancy between the new facts and data caused by the need to take into account the relationship between the parameters of territory planning projects in terms of the provision of places in kindergartens and schools with new and existing development, and the old way of explaining them, which does not take into account the parameters of the needs of the adjacent existing and planned development, as well as the peculiarities of the options for the formation of kindergarten and school sites.

Over the past few decades, scientific knowledge has developed a deep understanding of the problem of social infrastructure provision in urban planning, which is directly related to the demographic situation and determines the needs in the capacity of kindergartens and schools. In the framework of the identified problem the studies of L.V. Glebushkina, I.Yu. Chubarkina, E.N. Belaya, A.V. Sidorova, G.V. Leonidova, Z.A. Asadova, I.M. Lapcevich, O.S. Sachava, S.P. Kudryavtsev, N.S. Dolotkazin and others, aimed at solv-

ing the problematic situation of providing educational facilities, in particular kindergartens and schools, taking into account the emerging needs of the population and the need to form educational complexes, as well as their rational location on the territory of residential development. For example, in the work "Reconstruction of residential areas of Eastern Siberian cities" L.V. Glebushkina proposed to analyze the need for social facilities based on the classification of flats by comfort level: social, business and prestigious. The level is determined on the basis of assessment of wear resistance of structural systems of typical series of residential buildings, and the higher the index of structural systems, the higher the comfort level of the flat, while the norm of the total area per person increases accordingly to the comfort level. Five volumetric and spatial techniques are proposed for the optimization of residential buildings:

1. Modernization through redevelopment for existing social housing stock.
2. Superstructure of residential buildings, existing social housing provides for business stock in the superstructure.
3. Inserts between dwellings of existing social housing stock provide for business stock in the inserts.
4. Extension of the block of flats to provide business type flats.
5. Complex reconstruction using a combination of the presented techniques, the social type of housing receives a business level during modernization, and the superstructure type receives a prestige level.

Within the framework of the analysis of scientific works on the problem of providing places in kindergartens and schools, field survey and interviews were used to determine the location of service facilities, which showed an uneven distribution of such facilities in the study area. According to the results of the study, kindergartens and schools were located in the centre of the quarter of the first period of industrial housing construction [1].

In the work of L.L. Nikulshin "Urban-ecological substantiation of educational institutions location in the reconstruction of urban development" it is proposed to determine the location of educational institutions based on the calculation of the need from the population and the standard radius of accessibility, taking into account the documentation of territorial planning in terms of demolished housing stock and planned new residential development. The main priority in selecting the location of the educational institution is the environmental situation. This research paper considers the sequence of actions to determine the territorial resource and the necessary sites for location based on the needs of the population, the formation of a list of evaluation factors, the assignment of point estimates and the calculation of the rating of the evaluation factor. The presented methodology offers monitoring of the ecological state of urban areas to reduce the incidence of child morbidity by 2.5 times. Thus, the paper proposes the use

of an information system as a tool to control the provision of places of educational institutions taking into account environmental requirements [2].

In the paper "Methodological bases of reproduction of social infrastructure objects of urban blocks using the value approach" by I.Yu. Chubarkina gives a new term "urban block" as a complex investment and construction project, which includes housing stock and social infrastructure. However, according to the study, the term "social infrastructure" assumes the totality of labour, social, cultural and welfare activities without taking into account kindergartens and schools [3].

E.N. Beloi in his study "Economic justification of pre-school educational institutions placement in the reconstruction of urban development" presented an algorithm based on the scoring of social and economic factors to justify the placement of kindergartens. The proposed methodology within the framework of social justification factors takes into account the demographic situation, the need of the population in pre-school educational institutions, the assessment of the state of the network of pre-school institutions in the city, and within the framework of economic justification of the location of pre-school institutions the assessment of transport accessibility and economic conditions. To realize this assessment, an algorithm consisting of stages is envisaged: 1 — site selection based on the indicators of existing preschools; 2 — determination of the population's needs in preschools by determining the difference between the actual and design capacity; 3 — analysis of the territory for compliance with urban planning regulations of land use and development rules; 4 — calculation of the score assessment of sites according to spatial and statistical data; 5 — formation of a table of socio-economic value for each site; 6 — selection of the site for the maximum score. Within the framework of the score assessment, the ranges of influence of each factor taken into account are proposed so that the demographic indicator is evaluated in 2 points; population density, landscaping and provision of preschools — 5; transport accessibility — 5; environmental condition — 5; economic indicator — 5 [4, 5].

A.V. Sidorova in her work "Creative educational environment of preschool education: issues of continuity" considers the problem of adaptation in first-graders. On the basis of communication with teachers in the round table format the following problems of adaptation of first-graders are formulated:

1. Inability to negotiate among themselves in groups of 3–4 people.
2. Inability to organize space for work.
3. Lack of information retrieval skill.
4. Lack of basic math fundamentals.

To solve these problems, it is proposed to form a creative subject-developmental environment as a unified educational complex, taking into account the peculiarities of the educational environment at the expense

of continuity, allowing to solve the issues of primary general education [6].

G.V. Leonidova (“Preschool Education in Russia: Availability and Accessibility”) pays special attention to the problem of kindergarten availability, taking into account the active demographic dynamics affecting their need from the early 1990s to the 2010s in the Russian Federation. The paper considers the tensions in the social sphere due to significant and sharp differences in the need for kindergartens in the 1990s and 2000s. As an alternative resource of places in kindergartens, private pre-school institutions, short-term stay groups, family education groups, family kindergartens are proposed, with a target of 5 % of the total capacity. This share in Moscow at the time of the survey was already more than 6 %. Such indicators are explained by the reluctance of private structures to undergo the necessary licensing processes and the non-compliance of the premises used with the current standards. The publication demonstrates the direct impact of the demographic cycle on the load in kindergartens. As a specific feature of kindergarten provision, there is a special urgency in places for children from 1–3 years of age, rather than from 3–6 years of age. The low variability of types of preschools is noted. Thus, kindergartens of compensatory type make up 2 per cent, and kindergartens for young children 0.5 per cent. Two directions of work to address this issue are proposed: 1) development of alternative types of preschool education; 2) increasing the level of social protection of families with preschool children in the form of financial compensation to families who are unable to place a child in a state kindergarten [7].

Within the framework of Z.A. Asadova’s publication “The forms of kindergarten-school connection”, a survey was carried out, as a result of which a need for school teachers’ participation in the process of preparing pre-school children for the school programme is formed. It is necessary to involve children in practical team tasks of self-care, active activity. The study set up a 2-year experiment with the participation of kindergarten teachers and educators aimed at interaction between kindergarten and school through the interaction between teacher and children, teacher and educator, taking into account the spatial features of kindergarten and school. Such close interaction on a long-term basis is possible if reliable and stable administrative and spatial links are formed [8, 9].

I.M. Lapcevich and O.S. Sachava in their paper “Unified educational space “Kindergarten – School”: from theory to practice” analyze the advantages, risks and practical problems in combining kindergartens and schools. It is proposed to consider the comparison of requirements for a kindergarten and school graduate according to the current federal normative requirements in terms of personal and subject results, which demonstrate the fundamental continuity and readiness to unite the function of kindergarten and school. The advan-

tage of combining kindergarten and school is the effect of reducing the load on the child from 5–10 years of age due to continuity, the second advantage is the possibility of long-term and systematic work with the child in case of speech therapy or psychological and other problems, the third advantage is the legal and regulatory regulation of preschool activities as educational activities, and it is the combined with school option that helps the educational function to be realized most effectively. The risks of combining kindergarten and school include the transfer of working methods from schoolchildren to preschoolers, i.e. the situation in which the first grade programme is passed at an early stage, which does not involve the development of the qualities necessary for schooling. Thus, continuity does not cancel the old, but develops it at the next stage of formation. Another risk is related to the misinterpretation of the concept of “school readiness”, often it is perceived as readiness to learn specific subjects, such as numeracy, reading and writing skills. However, school readiness is not primarily envisaged at the content level, but at the activity level. This study also reflects the positions of different roles: for parents — in the continuity of the development process, close spatial location of kindergarten and school, opportunities for additional education, providing seamless psychological and pedagogical support for children; for teachers — in increasing the number of pupils and students, improving pedagogical skills and improving the material and technical base; for children — in a common trajectory of requirements at different levels, the continuity of educational programmes, and the continuity of educational programmes. With regard to the socio-psychological aspect, the unification of collectives requires the analysis of the value systems dominating in the collectives, among which may be life wisdom, beauty of nature, love, materially secure life, cognition, etc., on the basis of these factors, an experiment is set, in which the collectives are evaluated and the commonality of their values is determined. The study presents detailed practical recommendations for the gradual integration of school and kindergarten [10].

S.P. Kudryavtseva and N.S. Dolotkazina in their work “Modern directions of creating children’s educational institutions” consider the possibility of forming adaptive spaces of educational institutions, the concept of “open space” as a single free space for children where different age groups are not provided. As a response to demographic changes it is proposed to adapt the capacity of the facility, to use modular, container blocks. An experimental architectural design is presented, proposing kindergarten capacities for 75, 140 and 200 places based on a modular concept. As part

of the design solutions, playgrounds on the stylobate part are proposed, proving the possibility of exploitation of the above-ground level of the territory [11].

The above studies have largely formed a scientifically sound idea of the provision of kindergartens and schools in residential development projects and their interrelation. However, in terms of determining the territorial resource, the previously proposed approaches are not relevant for application in the largest cities, such as Moscow, for example, due to higher requirements to the urban environment, as well as economic conditions that require a higher density of development. The most relevant territorial resource for the largest cities may be the areas of integrated territory development (ITD), which allow, on the one hand, to form residential development taking into account modern requirements to the urban environment and building density, making possible the economic feasibility of the implementation of residential development; on the other hand, to create places in kindergartens to meet the needs of the projected and adjacent existing and planned residential development. Also, the analyzed studies do not present the peculiarities of territorial and spatial organization of various options for the location of kindergartens and schools, which can fundamentally change the problems considered in scientific works. To this end, it is necessary to use tools aimed at achieving sustainable development of the territory, high rates of housing construction, and conditions for the development of infrastructural urban systems. Such a mechanism can serve as ITD — a special type of urban planning activity, which is a set of activities under the advisory contract, such as: development of documentation on territory planning, development of architectural and urban planning solutions, development of design and working documentation, etc. up to commissioning of capital construction objects and transfer of infrastructure facilities to the balance of urban organizations [12–15].

In Moscow, this mechanism has acquired the specifics of development, first of all, of production zones [16]. To date, the mechanism and effects from the implementation of ITD are actively studied in terms of legal regulation [17, 18], identification of negative factors that hinder the achievement of ITD goals [19, 20]. With regard to the approval of the direction of urban development of ITD in the city of Moscow, the procedure for justification and establishment of the limit parameters of integrated development of the territory is formulated — these are the parameters established in the resolution of the Moscow City Government and include: the boundaries of integrated development of the territory, the area of the area of the complex development of the territory, the maximum total floor area within the boundaries of external walls, the types of permitted use of the territory, the terms of preparation of documentation on the planning of the territory, the terms of ITD implementation

Taking into account the existing experience of functional-spatial organization of residential development, the purpose of this study is to examine the problem of providing places in kindergartens and schools in the integrated development of residential development in Moscow. Moscow.

Hypothesis of the study — the mechanism of integrated development of the territory of residential development (on the example of Moscow) in the implementation of residential development can become a territorial resource to provide adjacent territories with places in kindergartens and schools, taking into account the needs of the population in relationship with the specifics and requirements of the location of educational facilities.

MATERIALS AND METHODS

Research area — taking into account the large number and significant spatial diversification of complex development sites in Moscow³ it is proposed to consider these sites for the possibility of providing places in kindergartens and schools (Fig. 1) [18].

RESULTS AND DISCUSSION

The analysis of 40 Moscow Government resolutions on integrated development of the territory has shown that on the studied sites, where production facilities and facilities serving them are currently located, it is planned to locate predominantly residential development with pre-school and school education facilities. Let's consider the planned development of up to 20 thousand sq. metres of total floor area (TFA) in respect of 40 ITD plots, for which resolutions of the Moscow City Government have been approved. The distribution of ITD plots is presented horizontally, and the TFA indicator is presented vertically (Fig. 2)⁴.

Educational facilities, including schools and kindergartens, are located in the range of 6–20 thousand m², sports facilities — up to 8 thousand m², hotels range from 10 to 20 thousand m², and medical facilities — up to 15 thousand m². It should be noted that the public-business function occupies the entire range of area characteristics under consideration. The area of administrative facilities is 6–8 thousand m² (Fig. 3)⁵.

An analysis of the comparison between the existing and planned density of development within the ITD

³ Measures to implement projects of integrated development of non-residential building territories in the city of Moscow : Resolution of the Moscow City Government No. 331-PP of 23.03.2021.

⁴ On approval of the classifier of types of permitted use of land plots : Order of the Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography of 10.11.2020 No. P/0412.

⁵ List of documents // Moscow Mayor's website. Department of Investment and Industrial Policy of Moscow. 2023. URL: <https://www.mos.ru/dipp/documents/proekty-reshenii-o-kompleksnom-razviii-territorii-nezhiloi-zastroiki/>

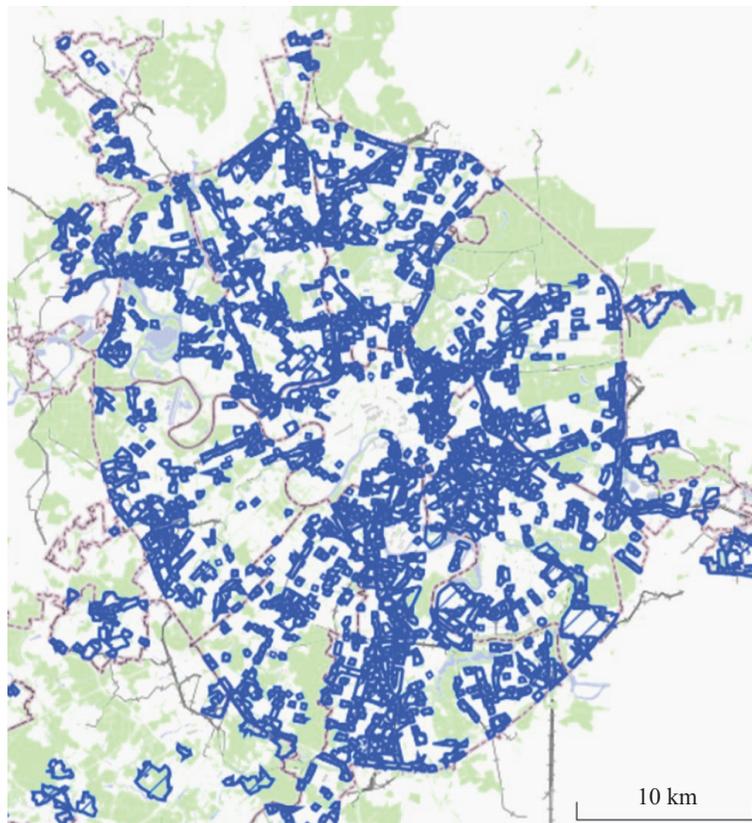


Fig. 1. Scheme of boundaries of integrated development sites in Moscow

boundaries is proposed by comparing numerical indicators (Fig. 3). In most cases, the planned density is many times higher than the existing one, but there is an exception — the ITD, located at the address: Presnensky Val St., bld. 27 in the existing situation has 9.25 thousand m² per ha, and it is planned to locate the development with a density of 6.25 thousand m² [19].

Let’s consider the change of functions proposed within the ITD (Fig. 4). In the presented alluvial dia-

gram, existing functions are shown on the left and planned functions on the right. Under the name of each function is written the number of identified functions in the list of ITD study sites. Based on the diagram, it can be concluded that today kindergartens and schools are often located within the ITD mechanism.

The analysis shows intensive development of former industrial areas. Various functions are envisaged in the reorganized territory, but one of the most common

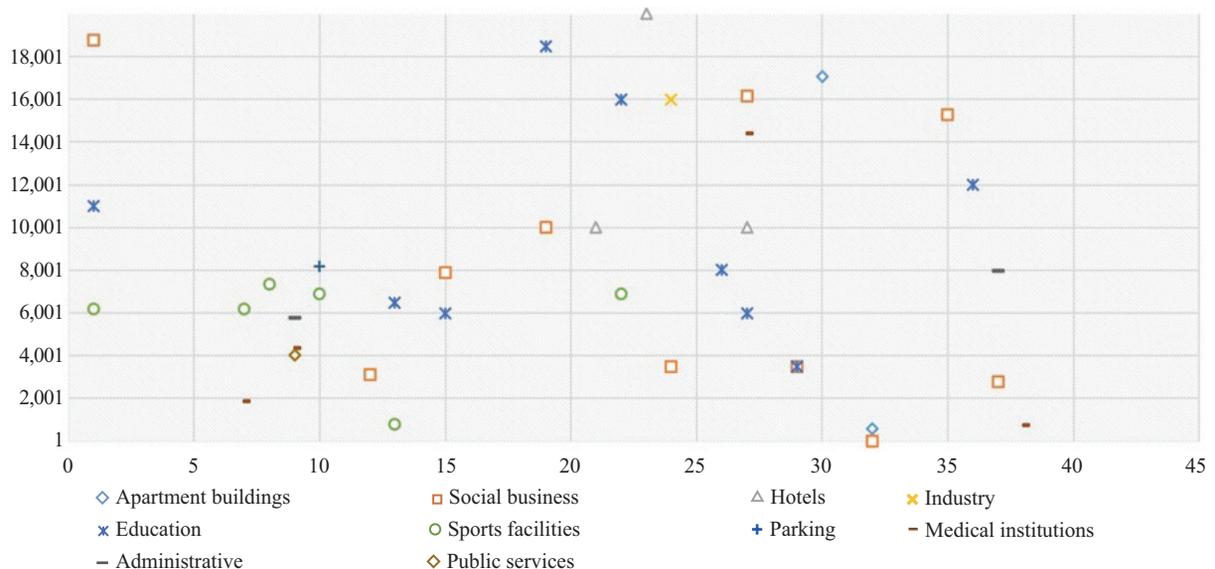


Fig. 2. Analysis of the area indicators of the planned development in the range of 1–20 thousand sq. metres

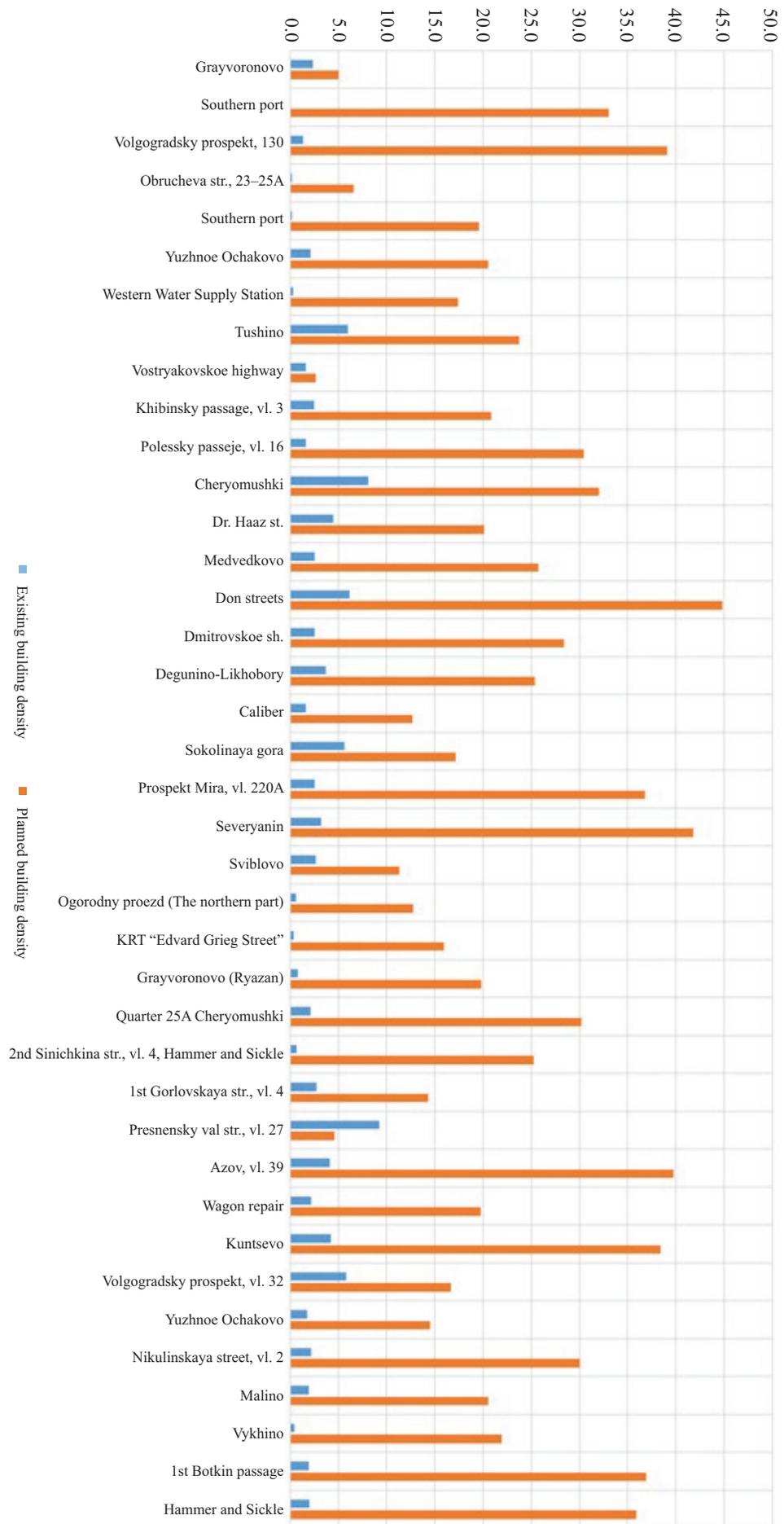


Fig. 3. Diagram comparing the existing and planned density of development within the KRT boundaries

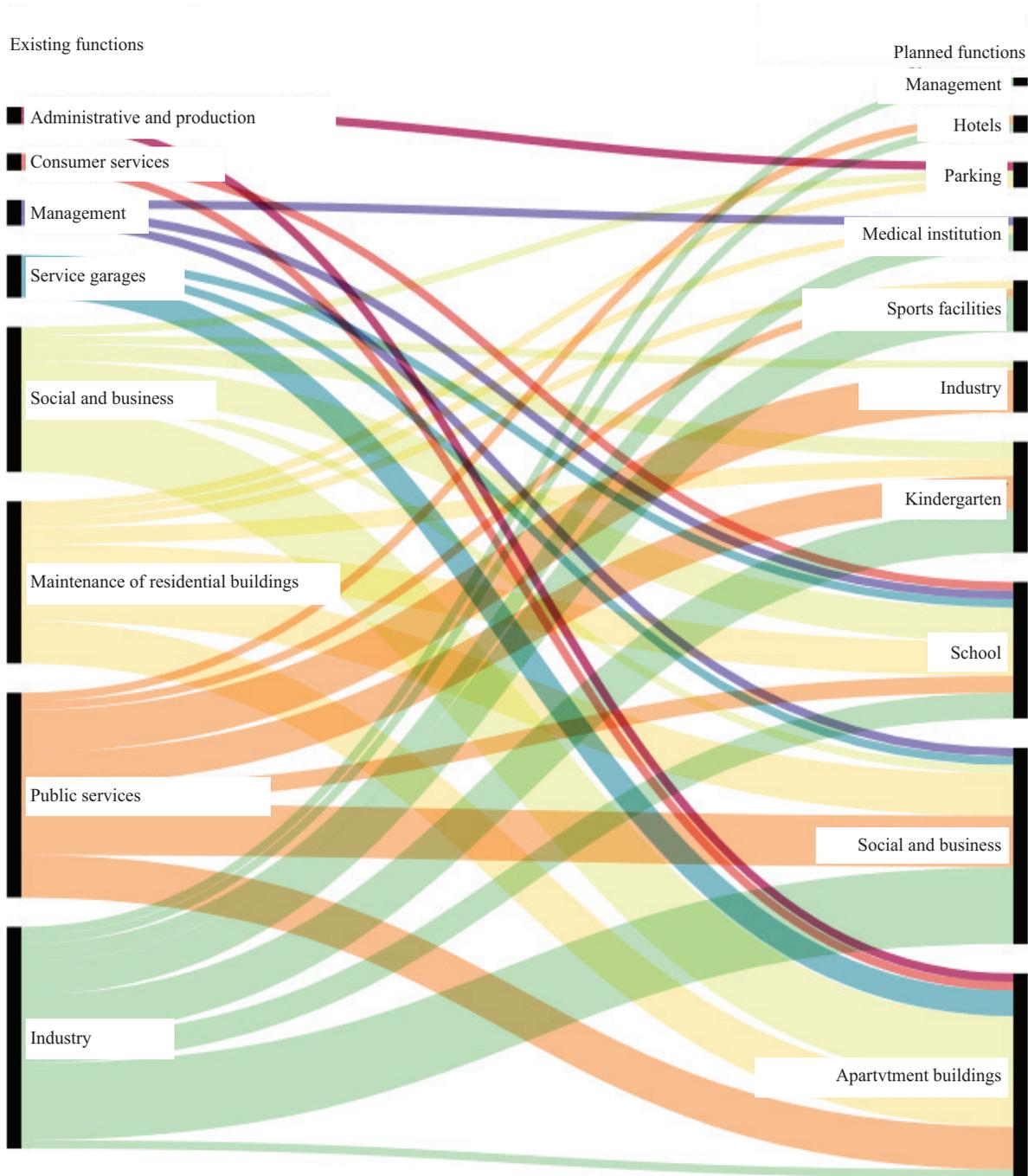


Fig. 4. Alluvial diagram of function changes within the ITD framework

is residential development, which, in accordance with social norms, involves the provision of places in kindergartens and schools⁶. Nevertheless, many planning decisions taken within the framework of kindergartens and schools' location do not have a scientifically grounded approach to determining the type of educational institution formation and capacity of places [20, 22, 23].

⁶ Comprehensive development of the territory of non-residential development of the city of Moscow No. 551, located at: Moscow, Presnensky Val str., bld. 27: Resolution of the Government of Moscow of 28.06.2023 No. 1219-PP.

Determination of the population's demand for kindergarten and school places and ways to form land plots for pre-schools and secondary schools

It seems reasonable to consider the issue of kindergartens and schools' location from the perspective of taking into account the needs of the population and the requirements of their accessibility within the current legal framework. If we talk about dynamically developing cities, then the need of the population can change in direct dependence on the changing SPP of residential development according to the regional norms of urban

planning regulation. In other words, the need for kindergartens and schools grows behind the growth of residential development. It should be noted that the issue of provision of places in kindergartens and schools can be complicated in case of simultaneous non-mutually accounted surplus of provision of the territory. For example, if in the existing residential development with excess (surplus) provision of places in kindergartens and schools there is a simultaneous planned placement of residential development, which does not take into account the load on places in kindergartens, from the implementation of each other's projects there is a situation in which there is a shortage of places in kindergartens and schools [24].

In order to prevent such situations, a comprehensive assessment of the provision of kindergarten and school places in the territory, taking into account the adjacent territory, is required. From this statement, a natural question arises: what can be considered as the adjacent territory, which should be taken into account in such a way as to take into account possible existing and planned needs for kindergarten and school places during the implementation of the planning project? In order to define the adjacent territory, it is necessary, using mathematical and system methods, to take into account the territory that can influence the provision of places in kindergartens and schools, respectively, it is the territory located in the zone of accessibility of kindergarten or school (Fig. 5). Thus, the adjacent territory can be called the territory located at a distance of twice the radius of normative accessibility of kindergarten or school.

It is important to note that the accessibility of kindergartens and schools is different, which means that

the considered adjacent territory of kindergartens and schools will also be different. So, for example, if kindergartens are 300 m accessible, the adjacent territory is 600 m from the designed territory, and if schools are 500 m accessible, the adjacent territory will be 1,000 m⁷. The need to take into account the accessibility of the educational facility in all directions is that within the boundaries of accessibility from the opposite side may be located residential development, affecting the load of the school or kindergarten taken into account. In addition to the planned residential development can be planned kindergartens and schools, the capacity of which should also be taken into account, as they can not only cover the needs of the planned development, but also provide for the provision of the adjacent territory. Thus, for a comprehensive assessment of the need for kindergartens and schools it is necessary to calculate the need of the adjacent territory, having determined the required accessibility, and then to assess the capacity of kindergartens and schools in the adjacent development and to calculate the existing and planned provision of places in kindergartens and schools [25, 26].

The results of the analysis of 40 ordinances on complex development of the territory showed the transition from the functions of industrial and other non-residential development in 13 kindergartens and 16 schools. It is important to consider these kindergartens and schools in the context of 24 cases of multi-apartment residential buildings. The results of the analysis also made it

⁷ Approval of standards of urban planning design of the city of Moscow in the field of education : Resolution of the Government of Moscow from 21.12.2021 No. 2151-PP.

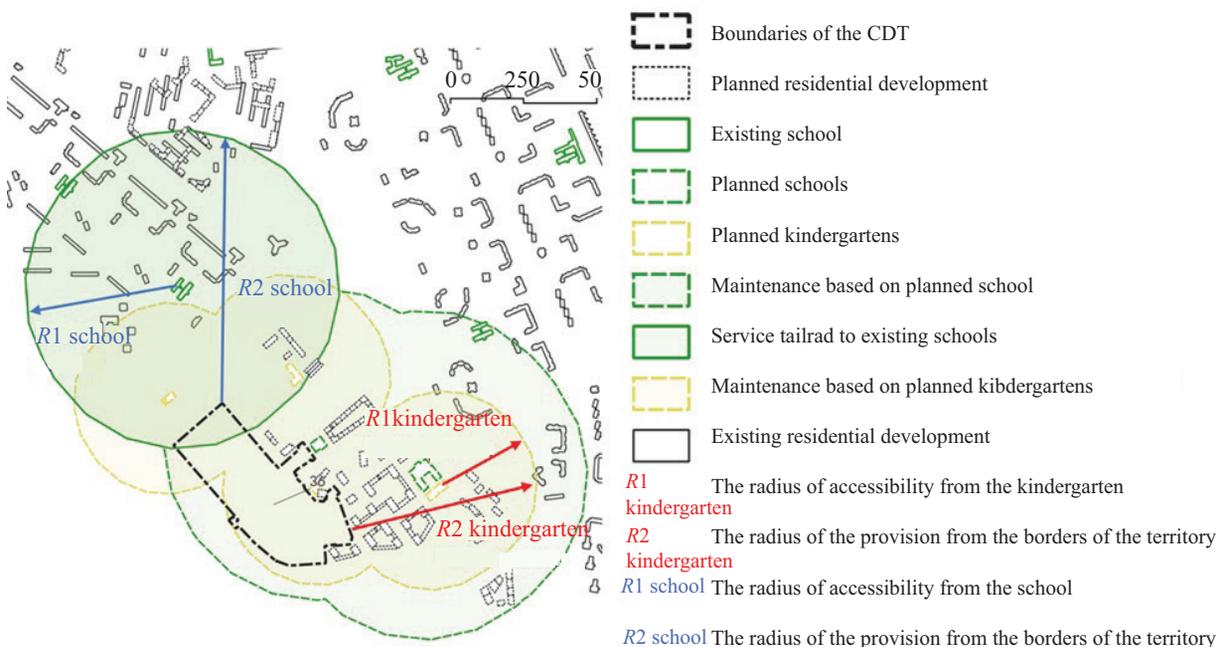


Fig. 5. Scheme of accessibility and provision of places in kindergartens and schools in the existing and planned developments

possible to estimate the area of educational institutions from 6 to 19 thousand sq. metres, as well as to determine the scale of increase in building density in the integrated development area of 5–35 thousand sq. metres.

To determine the location and capacity of kindergartens and schools, an approach based on establishing the needs of the population and accessibility is proposed. The combination of these two conditions takes into account the specificity of provision of schools and kindergartens. Determination of needs is formed from the sum of the population in the existing, planned and projected development; identification of accessibility adjacent to the projected area is established as the zone of accessibility of kindergarten and school, which can influence the provision of the projected area and take the load from the adjacent area.

To date, the volume of scientific works aimed at ensuring the need for kindergartens and schools has been formed. One of the most frequent issues of provision is the satisfaction of the population's need for places in kindergartens and schools. The real (actual) need for places in kindergartens and schools has significant variability, both upward and downward, depending on the general demographic situation in the country. In order to improve the quality of kindergarten and school provision, it is necessary to develop alternative types of preschool education, taking into account the formation of a private provision of such places. The implementation of various options of educational facilities lies in the plane of urban planning and is a task that requires a comprehensive approach. Placement of educational facilities is proposed on the basis of point systems that take into account the definition of population needs, assessment of urban planning constraints and scoring on the factors of population density, transport accessibility and economic condition, normative accessibility and continuous assessment of environmental indicators for the preservation of children's health.

The lack of appropriate preparation after kindergarten can hinder the best possible start at school due to a lack of continuity. This problem can be solved through the formation of a learning and education centre. The integration of children into school requires special training and skills development. In this sense, a learning and education centre can contribute to a smoother transition of children into the school environment. Combining kindergarten and school has advantages in the form of reduced workload during the primary education period, long-term work allows teachers to work more effectively and to take into account the individual characteristics of children, and among the risks of combining kindergarten and school is the transfer of school methods of work to kindergarten.

Due to the fact that the density and territorial characteristics of megacities make the space suitable for country houses more competitive and inaccessible for the majority of the population, there is no opportunity for children in the largest cities to get acquainted with culture of the national economy, the possibility of tactile perception of natural textures (soil, leaves, rind, fruits of plants), recreational component from direct interaction with plants and responsibility for the environment in the form of biosphere is lost. Within the framework of modular volumetric and spatial solutions it is possible to envisage in the off-season (summer) time the creation of gardens on the exploited roofs of kindergartens and schools, where children could care for and observe the development of plants. On the one hand, this could form a practical task for children, which they could fulfil together, on the other hand, it could serve as an alternative to the deficit of interaction with nature of children living in big cities.

Also important for provision in terms of spatial organization is the organization of open spaces, which have a positive effect on the creative component of pupils and schoolchildren, and the answer to demographic changes is offered by modular construction, which can both increase and decrease the capacity of the educational facility.

CONCLUSION

Today, there are various options for educational facilities with advantages, risks and conditions. At the same time, the population's demand for kindergarten and school places is variable, but to date there is no research work that offers a spatial and spatial solution to these issues.

The mechanism of integrated development of the territory forms new residential development on the place of former production zones, on the adjacent territory of which the existing and planned residential development is located, which creates densification of populated areas and allows to influence the provision of kindergartens and schools. Integrated development can be considered as a territorial resource for realizing the provision of places in kindergartens and schools.

One of the key problems of providing places in kindergartens and schools in integrated development is the lack of mutual coordination of the needs of the projected and adjacent territory, taking into account the existing and planned residential development.

Thus, there is an urgent need for the urban planning research community to continue the study for a comprehensive determination of the need and choice of option for the implementation of educational facilities.

REFERENCES

1. Glebushkina L.V. *Reconstruction of residential areas in Eastern Siberia : dis. ... cand. of technical sciences*. Moscow, 2012; 237. EDN QGADTZ. (rus.).
2. Nikulshina L.L. *Urban ecological justification of placement of educational institutions during reconstruction of urban development : dis. ... cand. of technical sciences*. Moscow, 2011; 201. EDN QFJWCF. (rus.).
3. Chubarkina I.Yu. Methodical bases of reproduction of objects of social infrastructure of urban blocks with the use of value approach. *Economy and Entrepreneurship*. 2018; 11(100):816-819. EDN YPFIEH. (rus.).
4. Belaya E.N. *Economic justification for the placement of preschool educational institutions during the reconstruction of urban development : author's abstract dis. ... candidate of economic sciences*. Rostov-on-Don, 2014; 22. EDN ZPPQWL. (rus.).
5. Dolgov A.V., Sycheva E.B. Peculiarities of formation of the fund pre-school facilities in terms of demographic dynamics. *Akademicheskii Vestnik UralNII-Proekt RAASN*. 2014; 4:53-55. EDN TJOJML. (rus.).
6. Sidorova A.V. Creative educational environment of preschool education: issues of continuity. *Education and training of young children : collection of materials of the International scientific and practical conference*. 2016; 5:897-899. EDN WFQHFJ. (rus.).
7. Leonidova G.V. Preschool education in Russia: availability and accessibility. *Problems of Territory's Development*. 2015; 5(79):7-17. EDN UIWGZX. (rus.).
8. Asadova Z.A. On the forms of communication between kindergarten and school. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2014; 16(2-2):288-292. EDN SGRUAN. (rus.).
9. Slavko A.L. Organization of the educational process in the discipline "Physical training" in educational organizations of the ministry of internal affairs of Russia based on a person-oriented approach. *Psychology and Pedagogy of Service Activities*. 2024; 1:119-121. DOI: 10.24412/2658-638X-2024-1-119-121. EDN CMSPNL. (rus.).
10. Lapcevich I.M., Sachava O.S. Integrated educational space "kindergarten-school": from theory to practice. *Education Management: Theory and Practice*. 2014; 3(15):46-66. EDN QRIRZO. (rus.).
11. Kudryavtseva S., Dolotkazina N. Modern trends in organisation of the pre-school education institutions. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2016; 3(36):13. EDN WQRXXX. (rus.).
12. Fisher A.G.B. Production, primary, secondary and tertiary. *Economic Record*. 1939; 15(1):24-38. DOI: 10.1111/j.1475-4932.1939.tb01015.x
13. Clark C. *The Conditions of Economic Progress*. London, Macmillan, 1940.
14. Fourastié J. *Le Grand Espoir du XXe siècle : Progrès technique, progrès économique, progrès social*. Paris, Presses Universitaires de France, 1949.
15. Dewey J. *The school and society*. Chicago, 1915; 164.
16. Cogutiac I.S., Bakaeva N.V. Analysis of the integrated development of the territory of the industrial zones of the city of Moscow. *E3S Web of Conferences*. 2023; 403:01026. DOI: 10.1051/e3sconf/202340301026
17. Malikov V.V. The concept and legal features of the complex development of the territory. *Economic Problems and Legal Practice*. 2022; 18(2):92-95. EDN WQYUSG. (rus.).
18. Erbyagina M.V. Regulatory and legal regulation in the issue of integrated development of urban areas. *Architecture and Design*. 2021; 2:29-38. DOI: 10.7256/2585-7789.2021.2.37323. EDN AOIQEZ. (rus.).
19. Kovaleva A.V., Glebov M.P. Factors hindering effective integrated development of urban areas. *Proceedings of Bratsk State University. Series: Economics and Management*. 2010; 1:147-150. EDN SEJGQL. (rus.).
20. Alekseev Yu.V. *Fundamentals of planning, designing regional settlements and organizing and coordinating professional activities : monograph*. Moscow, ASV Publishing House, 2022; 295. (rus.).
21. Kirsanov A.R. Integrated development of territories: from global plans to specific problems. *Property Relations in the Russian Federation*. 2022; 11(254):35-42. EDN QBGXJK. (rus.).
22. Strashnova Yu.G., Strashnova L.F., Makarova I.E. The role of the service sector in the socio-economic development of Moscow. *Bulletin of Tomsk State University. Economics*. 2020; 52:233-249. DOI: 10.17223/19988648/52/14. EDN MMPDLL. (rus.).
23. Kireenko S.G., Grinshpon I.E. *Elements of set theory : tutorial*. Tomsk, 2003. (rus.).
24. Bestuzhev-Lada I.V. *Social forecasting*. Moscow, Knowledge, 1969; 62. (rus.).
25. Sedyakina A.V. Foreign experience in studying the problems of development of social infrastructure facilities. *Economy. Law. Management : collection of works of young researchers of BSU*. 2015. (rus.).
26. Volkova A.A. Impact of the services sector on the social sphere and quality of economic growth. *Technical and Technological Problems of Service*. 2015; 3(33):89-93. EDN UYVLCL. (rus.).

Received September 22, 2024.

Adopted in revised form on November 15, 2024.

Approved for publication on November 28, 2024.

B I O N O T E S : **Ion S. Cogutiac** — postgraduate student of the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ResearcherID: LSI-8574-2024, ORCID: 0009-0000-9557-1559; official.i.s@yandex.ru;

Natalia V. Bakaeva — Doctor of Technical Sciences, Professor, of the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; **Scientific Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Lokomotivny proezd, Moscow, 127238, Russian Federation; Scopus: 56826095700, ResearcherID: P-1152-2015, ORCID: 0000-0003-0518-6521; natbak@mail.ru.

Contribution of the authors:

Ion S. Cogutiac — review of the scientific literature, formal analysis, initial draft preparation.

Natalia V. Bakaeva — scientific guidance, conceptualization, curation of data and preparation of the initial draft, results.

The authors declare no conflict of interest.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗДАНИЙ. ПРОБЛЕМЫ ЖКК. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЯ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 556:004.9

DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.7

Состояние природно-технической системы бассейна реки Грузской Еланчик Донецкой Народной Республики

Татьяна Викторовна Иванкова¹, Лев Николаевич Фесенко¹,
Виталий Сергеевич Рожков²

¹ Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова;
г. Новочеркасск, Россия;

² Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (ДОННАСА);
Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В 2024 г. Президенту РФ представлена Стратегия устойчивого развития Приазовья до 2040 года, цель которой создание национального рекреационного центра мирового уровня на основе экологического восстановления Азовского моря, бассейнов, впадающих в него рек и обеспечения устойчивого развития инфраструктуры. Данная Стратегия в том числе направлена на развитие пляжного туризма на берегу Азовского моря. В связи с чем выполняется научно-исследовательская работа, ее цель — исследование современного геоэкологического состояния бассейнов рек Северного Приазовского гидрологического района на примере малой р. Грузской Еланчик ($L = 91$ км, $F = 1250$ км²). Задачи для выбранного бассейна реки: создать базы данных в бассейне р. Грузской Еланчик, содержащие информацию: о параметрах сооружения, функциональном назначении, морфометрических признаках, геоморфологических особенностях, физико-химических пробах воды, о техническом состоянии сооружений.

Материалы и методы. Работа основана на фактическом материале, собранном в полевых исследованиях. Проведен анализ проектной, строительной и эксплуатационной документации комплексов сооружений по руслу реки; выполнена оценка их конструктивных элементов; отобраны пробы воды для проведения комплексных лабораторных исследований.

Результаты. Для выбранного бассейна реки разработаны схемы градаций для объектов водохозяйственного строительства. Созданы геоинформационные базы данных.

Выводы. Собраны данные для определения степени экологической безопасности, составленные по результатам натурного обследования, систематизирующие сведения об объектах водохозяйственного строительства: проведены исследования эксплуатируемых объектов водохозяйственного и мелиоративного строительства; дана оценка техническому состоянию и уровню безопасности, согласно действующим сводам и правилам; приведены рекомендации по проведению комплекса мероприятий для повышения безопасности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водное хозяйство, малые реки, водохранилища, природно-технические системы, мониторинг, прогнозирование, ГИС, базы данных

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Иванкова Т.В., Фесенко Л.Н., Рожков В.С. Состояние природно-технической системы бассейна реки Грузской Еланчик Донецкой Народной Республики // Строительство: наука и образование. 2025. Т. 15. Вып. 2. Ст. 7. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.7

Автор, ответственный за переписку: Татьяна Викторовна Иванкова, academy-design@mail.ru.

State of natural and technical system of the Gruzskoy Elanchik River basin of the Donetsk People's Republic

Tat'yana V. Ivankova¹, Lev N. Fesenko¹, Vitalii S. Rozhkov²

¹ M.I. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI); Novochoerkassk, Russian Federation;

² Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture (DonNACEA);
Donetsk People's Republic, Makeyevka, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. In 2024 the President of the Russian Federation has instructed to approve the Strategy for the Sustainable Development of the Azov Region until 2040 and the action plan for its implementation, ensuring the synchronization of decisions on the financing of these activities with national projects and strategic planning documents; significant plans are connected with this, including improvement in living standards in the Azov region. This strategy, among other things, is aimed to develop beach tourism, as well as the fish industry with a great potential of the Azov Sea. In this regard, we are carrying out this research, focusing on studying the current geocological state of the river basins of the Northern Azov hydrological region as exemplified by the small river Gruzskoy Elanchik ($L = 91$ km, $F = 1,250$ km²). Aims for the selected river basin are the following: create databases of construction and urban facilities in the basin of the Gruzskoy Elanchik river containing structural parameters, its functional purpose, morphometric features, geomorphological features, physicochemical water specimens.

Materials and methods. The work is based on factual material collected in the field research in the basin of the Gruzskoy Elanchik River. The analysis of the design, construction and operational documentation of the complexes of structures along the riverbed were carried out, their structural elements were evaluated; water specimens were taken for complex laboratory studies.

Results. Gradation schemes for reclamation and water management facilities have been developed for the selected river basin. Geoinformation databases including spatial data have been created.

Conclusions. Data were collected to determine the degree of environmental safety, compiled based on the results of a field survey, systematizing information about water management construction facilities in the river basin: studies of operated water management and reclamation construction facilities were conducted; certified devices and equipment were used to ensure the accuracy and reproducibility of the results; the data obtained were analyzed and the results evaluated; the assessment of the technical condition and safety level, according to the current codes and rules, was given at the moment of examination; recommendations on carrying out a set of measures to strengthen the safety of structures were given.

KEYWORDS: water management, small rivers, reservoirs, natural engineering systems, monitoring, forecasting, GIS, databases

FOR CITATION: Ivankova T.V., Fesenko L.N., Rozhkov V.S. State of natural and technical system of the Gruzskoy Elanchik River basin of the Donetsk People's Republic. *Construction: Science and Education*. 2025; 15(2):7. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.7

Corresponding author: Tat'yana V. Ivankova, academy-design@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно Конституции РФ, Донецкая Народная Республика (ДНР), Луганская Народная Республика (ЛНР), Запорожская и Херсонская области включены в перечень регионов страны¹. Для решения водообеспеченности населения и объектов экономики в период СССР (до 1991 г.) использовались воды из бассейна Днепра и Северского Донца (правого притока р. Дон). Сегодня реальный забор водных ресурсов из малых рек новых субъектов РФ $\approx 1,0$ км³/год, при проживающем населении $N = 7,5$ млн чел. удельный забор (2024 г.) ≈ 130 м³/(чел. год). Для сопоставления: удельные расходы воды на человека в год: для Италии ≈ 910 м³/(чел. год), для Испании ≈ 750 м³/(чел. год). Суммарно речной сток ДНР, ЛНР, Запорожской и Херсонской обл.² $\Sigma W_{\text{мест. р.}=50\%} = 3232,0$ млн м³, удельные водные ресурсы (2024 г.) — 431 м³/чел. (1991 г.) — 231 м³/чел. [1]. Площадь четырех новых субъектов (ДНР, ЛНР, Херсонской и Запорожской областей) составляет 108,9 тыс. км². Дефицит воды оценивается $W_{\text{реч}} \approx 12$ км³/год. Площадь ДНР $F_{\text{ДНР}} = 26,5 \cdot 103$ км², для года средней водности $W_{\text{реч}} \approx 0,3$ км³/год.

¹ О принятии в Российскую Федерацию Донецкой Народной Республики и образовании в составе Российской Федерации нового субъекта — Донецкой Народной Республики : Федеральный конституционный закон от 04.10.2022 № 5-ФКЗ (ред. от 25.12.2023).

² Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 06. Украина и Молдавия. Выпуск 3. Бассейн Северского Донца и реки Приазовья / под ред. М.С. Каганера. Л. : Гидрометиз, 1967. 492 с.

В период СССР были построены и эксплуатировались каналы межбассейновой переброски, наливные водохранилища, водохранилища многолетнего разлива. Водный баланс Азовского моря составляет $W \approx 290$ км³ (что сопоставимо с двумя годовыми стоками р. Волга). При этом сток р. Дон (средне-многолетний) — 27 км³/год, р. Кубань — 13 км³/год, что в сумме $\Sigma = 40$ км³/год. Основываясь на данных государственного доклада³, мы вошли в цикл маловодных лет, сток р. Дон — 12 км³/год (2020 г.), р. Кубань — 6 км³/год (2020 г.), в сумме $\Sigma = 18$ км³/год. Именно поэтому соленость Азовского моря увеличивается. Если в ДНР местные ресурсы составляют (для среднего по водности года) 750 млн м³/год, то в водохранилищах и прудах аккумулируется 80 % стока — 600 млн м³.

Проблемы с водоснабжением питьевой водой в ДНР начались в 2022 г., именно тогда была нарушена работа канала «Северский Донец – Донбасс». Для их решения были построены: водовод от р. Дон и ряд водоводов из местных источников и малых водохранилищ, а также пробурены десятки новых скважин. В связи с продолжающимся дефицитом водных ресурсов в ДНР, вызванным отсутствием подачи воды из основного источника — канала «Северский Донец – Донбасс» и ограниченными возможностями резервного Волынцевского водо-

³ О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году : государственный доклад. М. : Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2021. 864 с.

хранилища, подача воды потребителям осуществляется по графику. Строительство водовода «Дон – Донбасс» улучшило ситуацию, но не устранило проблему нехватки воды. Так, мощность водовода в стандартном режиме — менее 300 тыс. м³/сут, что обеспечивает не более четверти объема от потребления ресурса на 2010 г. Экономика в таких условиях не может нормально восстанавливаться, а тем более развиваться. Азовское море сталкивается с серьезным экологическим кризисом, вызванным маловодьем р. Дон. Начиная с 2007 г., сток воды в Дону значительно снизился, что привело к повышению солености Азовского моря [2]. Среднегодовая соленость моря, которая в 2006 г. составляла 9,6 ‰, достигла рекордных 15,1 ‰ в 2020 г. [3]. Дефицит речного стока и возросшие расходы воды на испарение, наряду с прочими факторами, спровоцировали беспрецедентный рост солености вод Азовского моря, среднегодовое значение которой в 2021 г. достигло высокого уровня (14,97 ‰). При наиболее вероятном сценарии (60 %) с сохранением маловодного периода и материковым стоком рек Дон и Кубань в Азовское море суммарным объемом около 22 км³ среднегодовая соленость Азовского моря, включая Таганрогский залив, может достичь значений $15 \pm 0,40$ ‰ с диапазоном колебаний в собственно море в интервале от 14,5 до 16,5 ‰ [3].

Бассейн р. Дон занимает территорию 422 тыс. км², на которой размещены 15 субъектов РФ: Тульская, Орловская, Рязанская, Липецкая, Воронежская, Тамбовская, Курская, Белгородская, Пензенская, Саратовская, Волгоградская и Ростовская области, Ставропольский, Краснодарский края и Республика Калмыкия (369,0 тыс. км² или 87,4 % бассейна), а также Харьковская, Луганская и Донецкая области (53,0 тыс. км² или 12,6 % территории бассейна). Длина водотока составляет 1870 км, площадь водосборного бассейна — 422 тыс. км²; средний расход воды — 680 м³/с; уклон реки — 0,096 м/км, возраст \approx 23 млн лет⁴. Вода р. Дон активно забирается для различных нужд еще до впадения реки в Цимлянское водохранилище, поэтому проект водовода «Дон – Донбасс», хотя и может временно улучшить ситуацию с водоснабжением в ДНР, не станет долгосрочным решением. В бассейне р. Дон продолжится тенденция снижения объемов речного стока вследствие уменьшения годовых осадков и увеличения испарения в теплый сезон. В бассейне р. Кубань полностью или частично располагаются четыре субъекта РФ: Республика Адыгея, Карачаево-Черкесская Республика, Краснодарский край и Ставропольский край. Длина водотока составляет 870 км;

⁴ Джамалов Р.Г., Киреева М.Б., Косолатов А.Е., Фролова Н.Л. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние : монография / Федеральное агентство научных организаций, Институт водных проблем РАН и др. М. : ГЕОС, 2017. 204 с.

площадь водосборного бассейна — 57,9 тыс. км²; средний расход воды — 398 м³/с; уклон реки — 1,53 м/км, возраст \approx 5–9 млн лет.

Следует ожидать, что сток рек в южных регионах России снизится на 3 % до 2030 г. и на 4 % до 2041–2060 и 2080–2099 гг. [3]. Освобождение всей территории ДНР является единственным путем для восстановления нормального водоснабжения и прекращения водной блокады со стороны Украины.

В ДНР нет крупных рек, кроме Северского Донца с длиной водотока 1053 км и площадью водосбора 98,9 тыс. км². Крупнейшие водохранилища в бассейне р. Северский Донец: Червонооскольское (445 млн м³), Печенежское (383 млн м³), Краснопавловское (414 млн м³), Угледорское (162 млн м³) и Мироновское (76,3 млн м³). В бассейне этой реки расположено более 240 малых водохранилищ и прудов со средней площадью зеркала около 2 км².

Использование подземных вод в ДНР невозможно из-за высокой плотности шахт, разработка которых влияет как на глубину залегания грунтовых вод, так и на их качество. Воды непригодны в силу их крайней загрязненности тяжелыми металлами^{5, 6, 7} [4]. Тем не менее подземные воды в ряде городов используются в качестве теплоносителя для систем централизованного отопления. Если до начала СВО в г. Донецке подавали 280–320 тыс. м³ воды/сут, то к ноябрю 2022 г. — лишь 42–55 тыс. м³/сут, из которых 20 % воды применяли для работы котельных. Ситуация усугубляется особенностями эксплуатации: перебоями с электроснабжением, возникновением гидравлических ударов, авариями на водоводах, порывами на водопроводной сети; аналогичная ситуация с оборудованием: насосы выходят из строя. Таким образом, тысячи людей до сих пор живут в условиях нехватки воды.

В соответствии с поручениями Президента Российской Федерации В.В. Путина от 01.04.2023 № Пр-650 и от 27.07.2023 № Пр-1477 о разработке Стратегии развития акватории Азовского бассейна и территорий приазовского побережья была разработана «Стратегия устойчивого развития Приазовья до 2040 года»⁸. Стратегия направлена на восстановление экологии Азовского моря и азовского побере-

⁵ Воронич И.И., Горелов А.С., Горстко А.Б. и др. Рациональное использование водных ресурсов бассейна Азовского моря : мат. модели / под ред. И.И. Воронича. М. : Наука, 1981. 359 с.

⁶ Пельтихин А.С. Особенности рек Донбасса и рекреация // Туризм — перспективная отрасль экономики Украины : сб. мат. науч.-практ. конф. Донецк, 1995. 267 с.

⁷ Ветров С.Ф., Ермаченко А.Б., Грищенко С.В. и др. Гигиеническая оценка питьевого водоснабжения населения отдельных районов Донецкой Народной Республики // Вестник гигиены и эпидемиологии. 2019. Т. 23. № 3. С. 236–244.

⁸ Стратегия устойчивого развития Приазовья до 2040 года. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/74442>

жья, развитие рыбохозяйственного, туристического и рекреационного потенциала четырех новых субъектов РФ (ДНР, ЛНР, Херсонская и Запорожская области), территорий Республики Крым, Краснодарского края и Ростовской области, прилегающих к Азовскому морю, в целях повышения благосостояния людей.

Развитие туризма и качества жизни людей невозможно без полноценного доступа к безопасной питьевой воде. В связи с этим изучение малых и средних речных бассейнов становится все более важным в свете текущих проблем, включая изменение климата и увеличение антропогенного воздействия [5]. Несмотря на их относительно небольшие размеры, эти бассейны играют ключевую роль в глобальных системах круговорота воды, вещества и энергии, влияя на социально-экономические процессы [6]. Поэтому изучение данных бассейнов в создавшихся условиях является сложной и важной областью научных исследований [7, 8].

Водный фонд ДНР включает 1695 поверхностных водных объектов (реки, водохранилища, пруды, озера), а также подземные воды. По территории Донецкой Народной Республики протекает 4 средние реки общей протяженностью в границах республики 410 км и 851 малых рек и ручьев. Основные водотоки в ДНР — это реки: Кальмиус, Миус, Крынка, Грузской Еланчик, верховья рек Лугань, Сухой и Мокрый Еланчик, Осикова, Лозовая, Водяная, общая протяженность речной сети по территории — 5843,9 км⁹, 10 [9]. Густота речной сети ДНР — 0,22 км/км².

Большие запасы полезных ископаемых в Донцеком угольном бассейне способствовали в XX в. бурному развитию промышленности и значительной концентрации населения в регионе. Сформировавшиеся в области более чем за столетие отрасли промышленности характеризуются значительным водопотреблением, поэтому в регионе существует острая проблема загрязнения водных ресурсов и связанный с этим дефицит качественных вод

⁹ Речная сеть в ДНР. URL: <https://gkvrh.ugletele.com/vodnye-obekty-natsionalnye-dostoyanie-naroda-dnr/>

¹⁰ Волосухин В.А., Мельников В.В. Азово-Каспийский водный путь: история, проблемы, перспективы. Ростов н/Д. : Изд-во ЮФУ, 2008. 242 с.

для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения, сельского хозяйства, перерабатывающей промышленности и т.д. Архивные сведения по химическим анализам воды водоносных горизонтов в этом районе свидетельствуют о наличии соленых подземных вод на глубине 1,25 м с концентрацией солей 39 г/л и с преимущественным содержанием ионов натрия и хлора¹¹.

Основная масса воды рек ДНР (60–70 % от года) стекает в зимне-весенний период. Реки ДНР питаются за счет весеннего таяния снега, что дает 40–80 % годового стока. Дождевое питание незначительно.

Сток рек ДНР высоко зарегулирован водохранилищами и прудами, построенными в 1950–1970 гг., используется для питьевого, сельскохозяйственного и промышленного водоснабжения, рыбозахвата и орошаемого земледелия. Общая площадь водного зеркала расположенных на территории ДНР водных объектов (799) составляет 11 097,68 га. Объем водных ресурсов для среднего по водности года — 525,142 млн м³. В ДНР 46 водохранилищ с общей площадью водного зеркала 7491,7 га, объемом 464,417 млн м³.

Разработкой и реализацией государственной политики в сфере управления, использования и воспроизводства поверхностных водных ресурсов, развития водного хозяйства и мелиорации земель, эксплуатации государственных водохозяйственных объектов комплексного назначения, хозяйственных оросительных и осушительных систем занимается Комитет водного и рыбного хозяйства Донецкой Народной Республики. По данным последней инвентаризации на территории ДНР насчитывается около 800 гидротехнических сооружений (ГТС), большинство из них находится в неудовлетворительном и аварийном состоянии.

Состояние гидротехнических объектов и качество вод

В качестве объекта выбран бассейн р. Грузской Еланчик, на котором расположено три водохранилища: Михайловское, Михайловское I (рис. 1) и Шев-

¹¹ Доклад о состоянии окружающей среды в Донецкой области / под ред. С. Третьякова, Г. Аверина. Донецк, 2007. 116 с.



Рис. 1. Вид с верхового откоса плотины, шахтный водосброс Михайловского I водохранилища



Рис. 2. Вид на прибрежную водоохранную зону Шевченковского водохранилища

ченковское (рис. 2, 3). Кроме паспорта объекта^{12, 13, 14} (1981, 1984 и 1984 гг. соответственно), никакой иной документации не сохранилось.

Согласно российскому законодательству, на всех ГТС должен осуществляться федеральный государственный надзор. Предоставление декларации безопасности ГТС и проведение ее экспертизы — обязательное требование, невыполнение которого рассматривается как нарушение законодательства в области обеспечения безопасности ГТС. В соответствии с требованиями Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» № 117-ФЗ в обязанности собственника ГТС, а также эксплуатирующей организации входит регулярная процедура разработки и утверждения декларации безопасности ГТС на всех этапах жизненного цикла. Согласно ст. 3¹⁵ декларация безопасности ГТС — документ, в котором обосновывается безопасность ГТС и определяются меры по обеспечению безопасности ГТС с учетом его класса.

Еще одной значимой проблемой для изученных территорий является прибрежная водоохранная зона. Все три водохранилища расположены у дорог, что привлекает рыбаков. Судя по данным эхолота, средняя глубина водохранилищ около 2,5–3,5 м, рыба фиксировалась на глубине 2,0–2,7 м. В зонах свободного подъезда машин выявлены очаги свалок мусора, пластика, отходов (рис. 2, 3).

Приведены основные параметры трех водохранилищ, расположенных в бассейне р. Грузской

¹² Водохозяйственный паспорт водохранилища Шевченковское, Запорожье. 1983. 25 с.

¹³ Водохозяйственный паспорт Михайловского водохранилища, г. Донецк. 1981. 32 с.

¹⁴ Водохозяйственный паспорт водохранилища Михайловского I, Запорожье. 1983. 26 с.

¹⁵ О безопасности гидротехнических сооружений : Федеральный закон от 21.07.1997 № 117-ФЗ (с изм. и доп. от 29.07.2018). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15265/



Рис. 3. Вид на акваторию Шевченковского водохранилища

Табл. 1. Основные параметры Михайловского I водохранилища (проектные)

Длина, км	Ширина максимальная, км	Ширина средняя, км	Глубина максимальная, м	Глубина средняя, м	Площадь зеркала (при НПУ, км ²)	Объем полный, млн м ³	Объем полезный, млн м ³
2,4	0,54	0,22	4,8	2,04	0,52	1,06	0,75

Еланчик: Михайловское I (табл. 1), Михайловское (табл. 2) и Шевченковское II (табл. 3).

Отметка «Нормальный подпорный уровень» (НПУ) — 30,48 м;

отметка «Уровень мертвого объема» (УМО) — 28,48 м;

отметка «Форсированный подпорный уровень» (ФПУ) — 31,68 м.

Максимальный расход воды — 71,1 м³/с.

Плотина — глухая, земляная, проезжая, длина по гребню — 663 м, ширина по проекту — 10 м, фактическая — 25 м, максимальная высота — 8,99 м.

Отметка гребня:

- проектная — 33,18 м;
- максимальная — 33,71 м;
- минимальная — 32,69 м;
- средняя — 33,40 м.

Заложение откосов:

- верхового: $m = 3,0$;
- низового: $m = 2,5$.

Крепление откосов:

- верхового — плитами до отметки 32,95 м;
- низового — посевом многолетних трав.

Водосброс — шахтный, автоматического действия, расположен в левом примыкании плотины, внутренний диаметр шахты — 9,0 м, высота — 5,23 м (по проекту 5,0 м) из бутобетона; толщина стенки = 0,8 м, отметка верха шахты — 30,48 м. Две нитки

отводящих труб размером 2,0 × 2,3 м сборно-моноконструкцией заканчиваются бетонным расширяющимся в плане гасителем, ширина бетонного гасителя в начале 6,8 м, в конце 10,5 м. Отводящий канал на длине 20 м крепится камнем. *Донный водовыпуск* совмещен с шахтным водосбросом и представлен двумя стальными трубами $D = 300$ мм; по проекту донный водовыпуск оборудован рыбозащитой в виде перфорированной трубы — стояка высотой 1,5 м и стержневой сетки на входной воронке. Расход при НПУ — 0,53 м³/с. *Насосная станция* расположена в нижнем бьефе водохранилища, расход 0,20 м³/с. Забор воды насосной станции (НС) производится из донного водовыпуска двумя нитками стального трубопровода $D = 400$ мм длиной 57 м. Водоучетными средствами НС не оборудована.

Основные гидрологические характеристики водотока р. Грузской Еланчик:

- площадь водосборного бассейна до створа гидроузла — 150 км²;
- характер питания — снеговое, дождевое, грунтовое с преобладанием снегового;
- объем стока 50%-ная обеспеченность, годовой — 5,80 млн м³, за половодье — 3,48 млн м³;
- период половодья — 40 дней;
- объем стока в расчетный маловодный год 75%-ной обеспеченности составляет 3,59 млн м³.

Табл. 2. Основные параметры Михайловского водохранилища (проектные)

Длина, км	Ширина максимальная, км	Ширина средняя, км	Площадь зеркала (при НПУ, га)	Глубина максимальная, м	Глубина средняя, м	Площадь зеркала (при НПУ, км ²)	Объем полный, млн м ³	Объем полезный, млн м ³
5,45	0,420	0,176	96	13,0	4,6	2,6	4,652	2,6

Отметка НПУ — 48,0 м;

- отметка УМО — 36,0 м;
- отметка ФПУ — 50,0 м.

Максимальный расчетный расход воды с заданной вероятностью превышения, нормальный 1% обеспеченности — 224 м³/с.

1. *Земляная плотина* высотой 18,0 м, шириной по гребню 6 м, длина плотины — 269 м.

Заложение откосов:

- верхового $t = 3,0$;
- низового $t = 2,5$.

Плотина возводится из суглинков с объемным весом 1,65 г/см³. Верховой откос крепится сборными железобетонными (ж.б.) плитами 300 × 200 × 8 см

на щебне 20 см. Под швы укладывается стеклоткань и стеклохолст. Зуб упора из сборных ж.б. плит 300 × 80 × 20 см. Крепление верхового откоса от 37,50 до отметки 50,90; отметка гребня плотины 51,30. Коэффициент устойчивости низового 1,3. В основании низового откоса плотины уложена дренажная лента с отводящей дренажной трубой.

2. *Водосбросное сооружение* — открытого типа расположено на левом склоне балки, подводящий канал с быстротоком. Ширина подводящего канала по дну — 50 м, длина — 54,5 м. Ширина быстротока — 15,2 м, длина — 88 м, уклон — 0,18, заложение откосов — 1,5.

Дно и откосы лотка крепятся сборными плитами 300 × 200 × 20 см и 300 × 150 × 20 см на слое тощего бетона 15 см. Для гашения энергии в нижнем бьефе предусмотрен водобойный колодец глубиной 2,45 м, длиной 16 м и заложением откосов $t = 1,5$.

Колодец выполнен из монолитного ж.б. толщиной по дну 80–100 см. Под дном колодца имеется обратный фильтр из щебня, песка.

Рисберма длиной 12,6 м крепится сборным ж.б. плитами 300 × 200 × 20 см. Крепление рисбермы заканчивается зубом из камня глубиной 2 м. Подготовка под плиты крепления из щебня 10 см.

3. *Донный водовыпуск* расположен на левом склоне балки Каменка, выполнен из стальных труб, $D = 400$ мм, толщиной стенки 12 мм в три нитки. Пропускная способность — 1,98 м³/с. Время опорожнения пруда — 42 суток. Трубы уложены в защитный кожух из железобетона М200.

Входная часть крепится каменным мощением 15 см. На выходе устраивается два смотровых колодца для размещения запорной арматуры. Через трубы донного водовыпуска осуществляется забор воды на орошение.

Основные гидрологические характеристики водотока правый приток р. Грузской Еланчик:

- площадь водосборного бассейна до створа гидроузла — 163/72,0* км²;
- характер питания — снеговое, дождевое;
- объем стока 50%-ная обеспеченность, годовой — 3,4 млн м³, за половодье — 1,44 млн м³;
- период половодья — 40 дней.

Табл. 3. Основные параметры Шевченковского водохранилища (проектные)

Длина, км	Ширина максимальная, средняя, км	Глубина максимальная, средняя, м	Площадь зеркала (при НПУ, км ²)	Объем полный, млн м ³	Объем полезный, млн м ³
5,0	$\frac{0,500*}{0,155}$	$\frac{8,60*}{4,32}$	0,77	3,33	3,04

Примечание: * в графе 2 числитель — общая площадь водосбора водохранилища, знаменатель — собственная. Собственная — часть его общей водосборной площади, за-

ключенной между створами плотин и ближайших к нему водохранилищ, расположенных вверх по течению основного водотока и его притоков и регулирующих сток со своих водосборных площадей; в графах 3, 4 приведены объемы стока в створе водохранилища: общий с учетом сбросов с вышерасположенного Шевченковского III водохранилища (числитель) и с собственной водосборной площади (знаменатель); объем стока в расчетный маловодный год $P = 75 \%$, с собственной водосборной площади (сбросов из Шевченковского III не будет) составляет 0,28 млн м³.

Отметка НПУ — 56,83 м;

отметка УМО — 49,83 м;

отметка ФПУ — 58,83 м;

Плотина — земляная, проезжая, длина по гребню — 195 м, ширина по проекту — 6 м, максимальная высота — 12,4 м.

Отметка гребня:

- проектная — 60,23 м;
- фактическая — 60,66 м.

Заложение откосов:

- верхового: $m = 3,0$;
- низового: $m = 2,5$.

Крепление откосов:

- верхового — ж.б. плитами до отметки 57,80 м;
- низового — посевом многолетних трав.

В низовом откосе плотины устроена дренажная лента.

Открытый водосброс расположен на правом берегу водохранилища. Состоит из подводящего канала, быстротока, водобойного колодца, рисбермы и отводящего канала. Водосброс выполнен в скальных грунтах без крепления. Подводящий канал и быстроток трапецидального сечения с заложением откосов $m = 0,5$, шириной по дну 20 м, общей длиной 182,5 м. Водобойный колодец глубиной 1,0 м, длиной 15,0 м и шириной по дну 22,0 м выполнен без крепления.

Рисберма и отводящий канал по длине 27,5 м крепятся камнем 0,5 м. Канал трапецидального сечения с заложением откосов $m = 3,0$ м, шириной по дну 26,9 м. *Донный водовыпуск* — из стальных труб, $D = 400$ мм в две нитки длиной 106,5 м. В пределах насыпи плотины трубы заключены в монолитный ж.б. кожух. По проекту донный водовыпуск оборудован рыбозащитой зонтичного типа. Расход при НПУ — 1090 л/с. Максимальный расход воды с заданной вероятностью превышения — 185 м³/с. Пропускная способность водосбросных сооружений (с учетом регулирующего влияния водохранилища) — 172 м³/с.

Основные гидрологические характеристики водотока:

- площадь водосборного бассейна до створа гидроузла — 2,00/21,4 км²;
- характер питания — снеговое, дождевое, грунтовое с преобладанием снегового;
- объем стока 50%-ная обеспеченность, годовой — 2,25/0,61 млн м³, за половодье — 1,94/0,30 млн м³*;
- период половодья — 40 дней.

Результаты лабораторных исследований

Было отобрано 16 проб на всем протяжении русла реки. Отборы проводились в устьевой части, подмостовых пространствах, в притоках, водохранилищах, прудах и истоке. Для оценки качества воды анализ осуществлялся по показателям приборов: MAPK-303; портативного цифрового тестера Water Test для измерения pH; фотометра «Эксперт-003» и «Эксперт 003-3»; RealUVT REALTECH для измерения мутности; эхолота Lucky Knight FF718LIC-WT для определения рельефа дна, а также кондуктометра с лабораторным проточным датчиком Эксперт-002-2-6-Пр для измерения соленосодержания. Характеристика отобранных проб по руслу приведена в табл. 4.

Табл. 4. Результаты лабораторных исследований на содержание солей, PO₄, NH₄, NO₃

Километров от истока	Номер пробы	Источник	Минерализация, г/л	PO ₄ , мг/л	NH ₄ , мг/л	NO ₃ , мг/л
8,00	16	р. Грузской Еланчик, Победа	1,97	0,14	0,09	32
12,20	15	Правый приток, Лужки	3,16	0,15	0,3	13,42
15,32	14	р. Грузской Еланчик, Глинки	2,25	0,37	0,24	32,4
17,89	Проба 13	Левый приток в Шевченковское водохранилище	3,68	0,36	7,08	35
21,45	Проба 12	р. Грузской Еланчик, Шевченковское водохранилище	2,43	0,14	0,22	0,2
27,96	Кузнецово-Михайловское водохранилище	р. Грузской Еланчик, Кузнецово-Михайловское водохранилище	2,66	0,14	1,61	8,28
36,96	Мост 8	р. Грузской Еланчик, Александро-Грековское водохранилище	2,97	0,035	0,8	5,97
39,24	Михайловское водохранилище	Левый приток, Михайловское водохранилище	3,64	0,14	6,6	7,36
46,43	Мост 7	р. Грузской Еланчик, Ивановка	3,16	0,13	0,63	0,19

Окончание табл. 4

Километров от истока	Номер пробы	Источник	Минерализация, г/л	PO ₄ , мг/л	NH ₄ , мг/л	NO ₃ , мг/л
53,28	Пруд 1	Левый приток, Самсоново	3,82	0,01	0,53	9,83
63,03	Мост 6	р. Грузской Еланчик, Витава	3,37	0,68	1,3	6,61
65,58	Мост 5	р. Грузской Еланчик, Хомутово	3,31	0,035	0	2,17
76,38	Мост 4	р. Грузской Еланчик, Розы Люксембург	3,49	0,32	5	8,99
85,79	Мост 3	р. Грузской Еланчик, Гусельщиконо	3,51	0,07	3,5	16,69
89,66	Мост 1	р. Грузской Еланчик, Новоазовск	3,11	0,054	3,3	10,1
92,52	Устье	Устье реки	8,54	0,18	0,15	27,2

Солесодержание в изучаемом регионе высокое. Следует отметить, что проблема качества воды в реках Донбасса существует более 60 лет. Зарегулирование стока большинства рек водохранилищами привело к уменьшению их водообильности. Например, если до 1958 г. (до введения канала Северский Донец – Донбасс) сток р. Северский Донец был близкий к природному и безвозвратный забор воды составлял 2–3 м³/с, то к 2000 г. он вырос до 23,2 м³/с. Данные 2005–2010 гг. показывают¹¹, что в Северском Донце значительно возросло содержание ионов кальция, увеличилась общая минерализация вод. Изменение солевого состава является нетипичным для природных процессов и больше всего свидетельствует о хозяйственной деятельности человека в бассейне реки. В воде практически всех рек ДНР наблюдается повышенное содержание солей. Одна из основных причин этого — сброс высокоминерализованных шахтных вод, с которыми в реки за год поступает более 1 млн т солей.

Река Грузской Еланчик имеет площадь водосбора 1190 км², расход воды — 0,91 м³/с, объем — 0,029 км³. Ресурсы пресных вод, доступные для использования в течение доли, %, времени: 50 % — 0,022 км³; 75 % — 0,011 км³; 95 % — 0,0029 км³.

В Докладе о состоянии окружающей среды в Донецкой области (2007 г.) приведена оценка опасности загрязнения воды по основным показателям (рис. 4) и экологическая оценка состояния воды в р. Грузской Еланчик на 2006 г. (рис. 5), превышение сульфатов фиксировалось в два раза. Природными условиями изучаемой территории обусловлено распространение в регионе соленоватых сульфатно-натриевых вод, которые имеют ограниченное использование в хозяйственно-питьевом водоснабжении населения, сельском хозяйстве и перерабатывающей промышленности. Количество таких вод в области из года в год растет. Приоритетные загрязнители поверхностных вод региона — сульфаты и биогенные вещества (соединения азота и фосфора), а также другие органические вещества.

В отобранных пробах также фиксируются скачки фосфатов, азота аммонийного и азота нитратов. Сбросы фосфатов наблюдаются у с. Витава (63 км от истока), азот аммонийный у с. Роза Люксембург (76 км от истока), с. Гусельщиконо (85,7 км от истока), г. Новоазовск (89,6 км от истока); азот нитраты фиксируются вблизи истока: с. Победа (8 км от истока), с. Глинки (15 км от истока), так и ближе к устью с. Гусельщиконо (89,6 км от истока) (рис. 6).

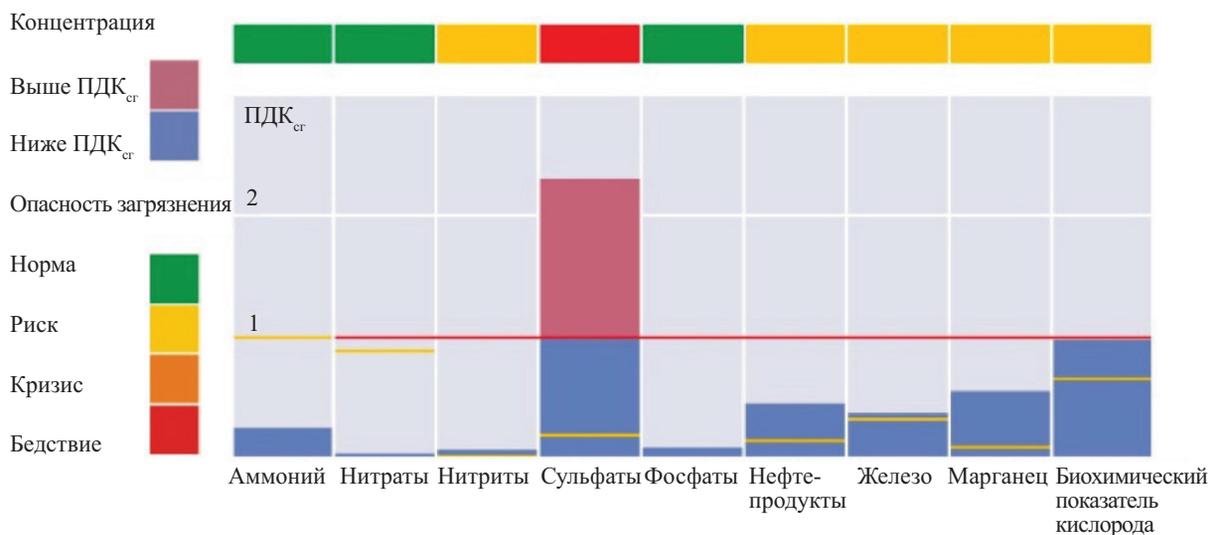


Рис. 4. Оценка опасности загрязнения воды по основным показателям для р. Грузской Еланчик (2006 г.): ПДК_{ср} — санитарно-гигиенические предельно допустимые концентрации

	— ПДК _{гр} Санитарно-гигиенические предельно допустимые концентрации, мг/л	— ПДК _{рх} Рыбохозяйственные предельно допустимые концентрации, мг/л
Аммоний	—	0,500
Нитраты	45,00	40,00
Нитриты	3,300	0,080
Сульфаты	500,0	100,0
Фосфаты	3,500	—
Нефтепродукты	0,300	0,050
Железо	0,300	0,100
Марганец	0,100	0,010
БПК ₅	3,000	2,000

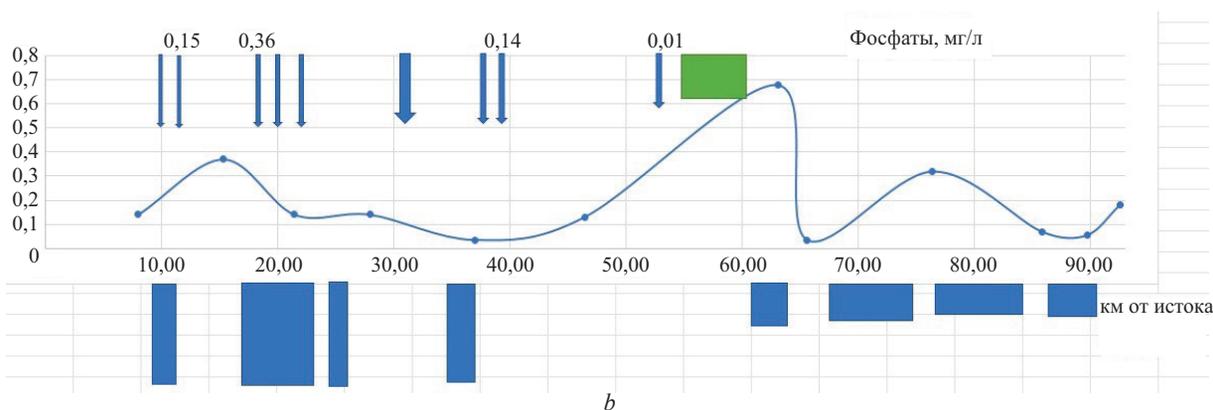
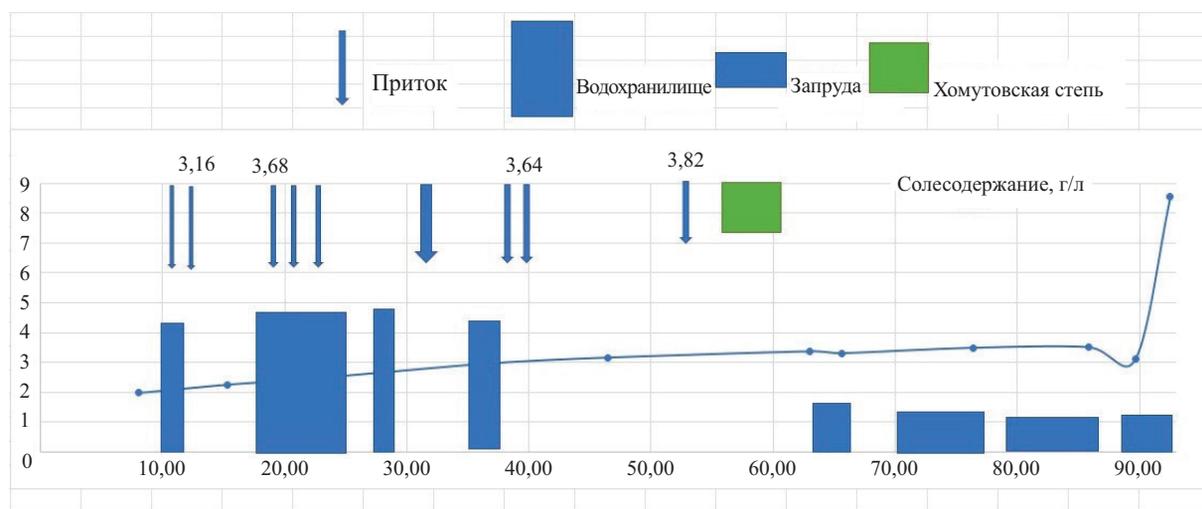
Рис. 5. Экологическая оценка состояния воды в р. Грузской Еланчик в 2006 г.: ПДК_{рх} — рыбохозяйственные предельно допустимые концентрации

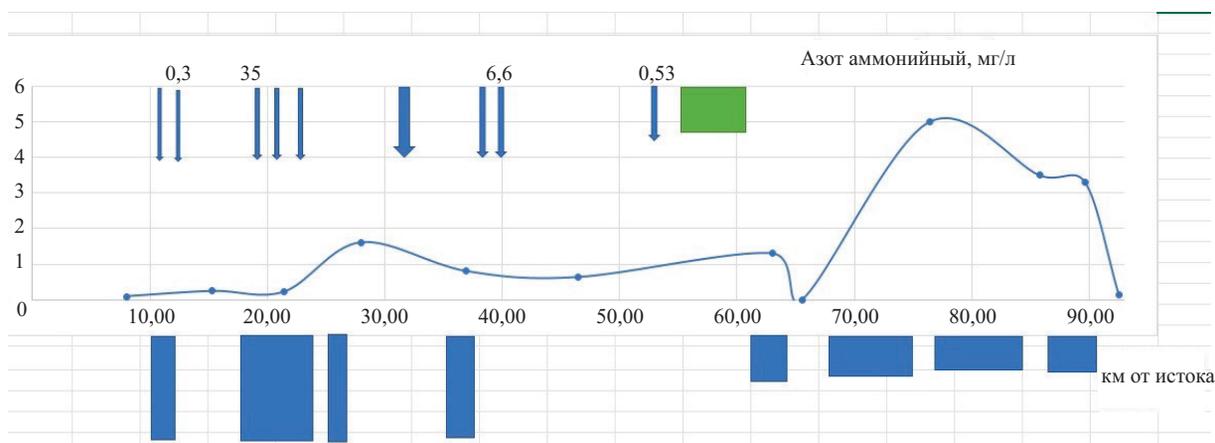
Согласно данным Минстроя ДНР, по всему течению р. Грузской Еланчик централизованные сбросы очищенных сточных вод населенных пунктов (за исключением г. Новоазовск, располагающегося в устье реки) отсутствуют. В районе с. Розы Люксембург функционирует птицефабрика, что может являться причиной роста концентраций азота аммонийного в створе реки после 76 км по руслу (рис. 6, с).

Отобранные пробы по всему руслу реки были классифицированы по таким параметрам, как: температура воды, рН, мутность, солесодержание, PO₄,

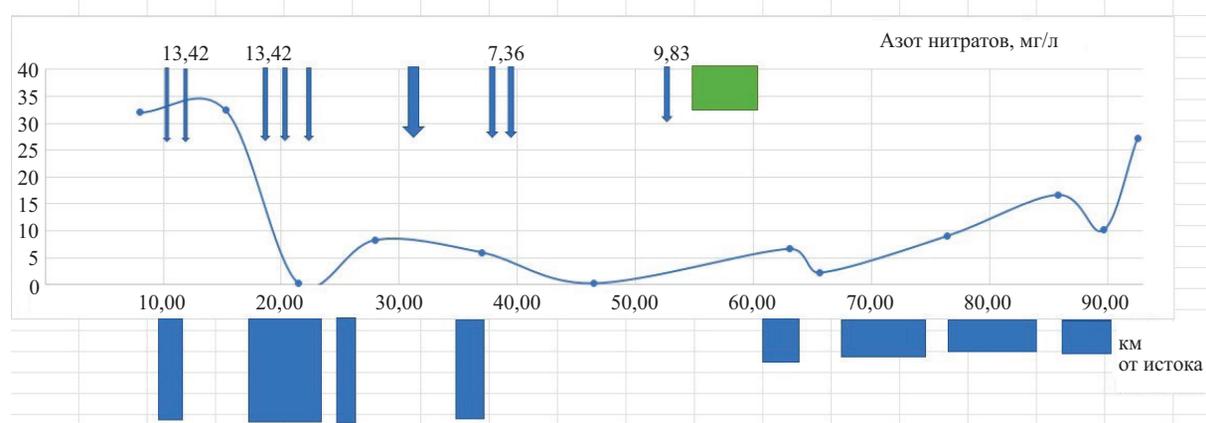
NH₄, NO₃, классификация вод по рН, характеристика вод по общей минерализации, характеристика вод по прозрачности. Дополнительно в лабораторных условиях проведены анализы воды из истока, впадения притоков и устья по классификаторам: цветность, запах, перманганатная окисляемость, общая жесткость; содержание: кальций (Ca²⁺), магний (Mg²⁺), натрий + калий (Na⁺ + K⁺), гидрокарбонат (HCO₃⁻), хлориды (Cl⁻), сульфаты (SO₄²⁻), бор (B³⁻), фтор (F⁻), железо общее, марганец, алюминий, сероводород (табл. 5, 6).

Представленные результаты характеризуют водный объект с точки зрения пригодности для хозяйственно-питьевого водоснабжения как малопригодный. Повышенная минерализация, общая жесткость воды, высокое содержание сульфатов диктуют необходимость устройства систем корректировки ионного состава воды в процессе очистки для доведения ее до качества, регламентируемого СанПиН 1.2.3685–21. Мероприятия по корректировке ионного состава в процессе водоподготовки достаточно дорогостоящие [9, 10] и требуют всестороннего технико-экономического обоснования. Следует отметить, что повышенная минерализация и жесткость характерны для малых рек Приазовья [1] и обусловлены природными условиями формирования таких водных объектов.





c



d

Рис. 6. Отобранные пробы: *a* — по содержанию; *b* — по содержанию фосфатов; *c* — по содержанию азота аммонийного; *d* — по содержанию азота нитратов

Табл. 5. Лабораторный анализ вод устья, впадения притоков и истока

Показатели	Номер 1 Исток		Номер 2 Устье		Номер 3 Садки номер 19	
	ммоль/д ³	мг/дм ³	ммоль/д ³	мг/дм ³	ммоль/д ³	мг/дм ³
Цветность	–	34,5	–	75,0	–	69,0
pH, ед.	–	7,86	–	7,7	–	7,9
Запах, баллы	–	3	–	3	–	4
Перманганатная окисляемость	–	1,44	–	5,2	–	8,32
Общая жесткость	20,9	–	36,3	–	36,8	–
Кальций (Ca ²⁺)	12,9	258,0	19,0	380,0	18,6	372,0
Магний (Mg ²⁺)	8,0	97,6	17,3	207,6	8,2	98,4
Натрий + калий (Na ⁺ + K ⁺)	5,25	120,75	9,7	223,1	11,2	257,6
Гидрокарбонат (HCO ₃ ⁻)	6,15	375,15	4,5	274,5	3,5	213,5
Хлориды (Cl ⁻)	8,0	283,6	17,8	631,1	17,0	602,7
Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	12,0	576,0	23,7	1137,6	27,5	1320
Бор (B ⁻)	–	0,59	–	1,32	–	1,3
Фтор (F ⁻)	–	1,37	–	1,06	–	1,4
Железо общее	–	н/о ND	–	н/о ND	–	н/о ND
Марганец	–	н/о ND	–	н/о ND	–	н/о ND
Алюминий	–	н/о ND	–	н/о ND	–	н/о ND
Сероводород	–	н/о ND	–	н/о ND	–	н/о ND
Общая минерализация (расчетная)	–	1713,1	–	2856,3	–	2866,9

Табл. 6. Анализ поверхностных вод р. Грузской Еланчик

Наименование	Температура воды, °С	pH	Мутность	Минерализация, г/дм ³	PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	NO ₃ ⁻ , мг/л	Показатель pH	Характеристика вод по общей минерализации	Характеристика вод по прозрачности
Проба 1 (устье)	27,1	8,07	23,82	8,54	0,18	0,15	27,2	Слабощелочная	Соленая	Средней мутности
Проба 2 (мост 1)	26,6	8,06	13,8	3,11	0,054	3,3	10,1	Слабощелочная	Соленая	Мутная
Проба 3 (мост 3)	26	7,87	14,14	3,51	0,07	3,5	16,69	Слабощелочная	Соленая	Мутная
Проба 4 (мост 4)	25,8	7,82	22,9	3,49	0,32	5	8,99	Слабощелочная	Соленая	Средней мутности
Проба 5 (Александровка)	26,8	7,98	6,51	3,18	–	–	–	Слабощелочная	Соленая	Очень мутная
Проба 6 (мост 5)	26	7,87	6,15	3,31	0,035	0	2,17	Слабощелочная	Соленая	Очень мутная
Проба 7 (мост 6)	22,4	7,3	37,6	3,37	0,68	1,3	6,61	Нейтральная	Соленая	Прозрачная
Проба 8 (пруд 1)	26,6	7,92	31,7	3,82	0,01	0,53	9,83	Слабощелочная	Соленая	Прозрачная
Проба 9 (мост 7)	24,2	7,34	8,9	3,16	0,13	0,63	0,19	Слабощелочная	Слабопресная	Очень мутная
Проба 10 (мост 8)	26,3	7,98	4,2	2,97	0,035	0,8	5,97	Слабощелочная	Слабопресная	Очень мутная
Проба 11 (Кузнецово-Михайловское водохранилище)	26	7,95	–	2,66	0,14	1,61	8,28	Слабощелочная	Слабопресная	–
Проба 12 (Шевченковское водохранилище)	26,2	6,71	14,89	2,43	0,14	0,22	0,2	Нейтральная	Слабопресная	Мутная
Проба 13 (приток/выше Шевченково)	18,4	7,66	5,42	3,68	0,36	7,08	35	Слабощелочная	Соленая	Очень мутная
Проба 14 (мост 11)	24,5	6,8	14,23	2,25	0,37	0,24	32,4	Нейтральная	Слабопресная	Мутная
Проба 15 (приток)	–	–	3,09	3,16	0,15	0,3	13,42	–	Соленая	Очень мутная
Проба 16 (мост 12)	19,6	6,33	3,88	1,97	0,14	0,09	32	Слабокислая	Слабопресная	Очень мутная

Некоторое снижение минерализации в пределах г. Новоазовска объясняется сбросом очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод с меньшим содержанием и разбавлением стока реки. Такое явление также характерно для водных объектов маловодного Донбасса, когда необходимые объемы воды для питьевого водоснабжения не забираются из местного водоисточника, а транспортируются на значительные расстояния из полноводных объектов (р. Северский Донец, р. Дон).

Кроме того, установлено, что относительно данных, приведенных в Докладе о состоянии окружающей среды в Донецкой области (2007), в настоящее время наблюдается некоторая стабилизация водного объекта по содержанию биогенных элементов. Так, повышенное загрязнение веществами, содержащими азот и фосфор, наблюдается только в пределах ясно очерченных источников сброса — Новоазовской птицефабрики (азот аммонийный) и г. Новоазовск (азот нитратов, как следствие возможных недостатков организации процесса денитрификации на городских очистных сооружениях). Улучшение экологической характеристики объекта в этом плане связано со снижением интенсивности хозяйственной деятельности в регионе за прошедшее десятилетие.

В ходе исследования разработана градация для объектов гидротехнических сооружений, расположенных в бассейне реки, представленная в табл. 7. Для каждого сооружения, согласно градации, были заполнены цифровые и информативные показатели, отраженные в «Базе данных сооружений водного хозяйства в бассейне реки Грузской Еланчик».

Стратегия устойчивой эксплуатации и технического обслуживания ГТС инициируется еще до проектирования и оптимизируется в течение срока их службы [11], что стабилизирует окружающую среду и экономику. Следовательно, неправильная эксплуатация и техническое обслуживание ГТС могут привести к жертвам, экономическим потерям и вреду окружающей среде [12]. В настоящее время ни одно сооружение не эксплуатируется по назначению, на них нет службы эксплуатации, мониторинг за ними не ведется. Так, авторами был обнаружен прорыв трубы на Михайловском I водохранилище (рис. 7, 8). Выявление дефектов должно начинаться в процессе эксплуатации и обслуживания ГТС. Факторы, влияющие на ухудшение структурных свойств гидравлических систем, должны быть выявлены и немедленно устранены. В качестве альтернативы неразрушающий контроль может иметь большое значение для выявления старения ГТС. Такой контроль представляет собой прямую и косвенную оценку информации о состоянии ГТС. Это необходимо для того, чтобы можно было немедленно вмешаться в ситуацию и избежать серьезных последствий. Косвенную оценку старения следует осуществлять путем мониторинга эффектов и по-

Табл. 7. Градация для объектов гидротехнического строительства

Наименование
Координаты
Наименование муниципального образования, на территории которого находятся ГТС
Ближайший населенный пункт
Объем полный, млн м ³
Объем полезный, млн м ³
Площадь зеркала при нормальном подпорном уровне, км ²
Отметка НПУ, м
Отметка ФПУ, м
Отметка УМО, м
Максимальный расход воды, м ³ /с
Водоток
Вид регулирования стока
Назначение
Материал плотины
Отметка гребня, м
Заложение откосов
Крепление откосов
Длина, км
Ширина водохранилища максимальная, км
Ширина водохранилища средняя, км
Глубина водохранилища максимальная, м
Глубина водохранилища средняя, м
Длина плотины по гребню, м
Ширина плотины по проекту, м
Ширина плотины фактическая, м
Высота плотины, м
Год ввода в эксплуатацию/год капитального ремонта
Наличие проектной документации
Наличие службы эксплуатации
Балансодержатель
Состав сооружений
Оценка уровня безопасности на период обследования

следствий старения [13]. Хорошо известно, что все конструкционные материалы имеют ограниченный срок службы и могут подвергаться воздействию окружающей среды [14]. Этап предотвращения старения ГТС заключается в детальном анализе для определения безопасности сооружения и его экономического состояния. Важность накопления и использования воды для региона невозможно переоценить, и поэтому обслуживание и безопасная эксплуатация ГТС имеют решающее значение. Конструкции не должны протекать, разрушаться; каналы и водохранилища должны быть чистыми и свободными от заиливания. Поломка или выход из строя ГТС могут привести к подтоплению и затоплению нижнего бьефа, а обрушение грунтовой плотины — к наводнению и эрозии [15, 16].



Рис. 7. Прорыв трубы шахтного водосброса на водохранилище Михайловское I



Рис. 8. Верховой откос плотины, шахтный водосброс

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа основана на фактическом материале, собранном в полевых исследованиях в бассейне р. Грузской Еланчик ДНР. Проведен анализ проектной, строительной и эксплуатационной документации комплексов сооружений и выполнена оценка их конструктивных элементов согласно действующим нормам и правилам^{16, 17, 18, 19, 20}.

Мониторинг технического состояния гидротехнических сооружений, находящихся на территории бассейна реки Грузской Еланчик, включал детальное обследование их технического состояния в рамках эксплуатационного контроля.

Мониторинг осуществляется в целях принятия управленческих решений посредством:

- обеспечения объективной информацией о состоянии сооружений;
- обеспечения эксплуатационного контроля и контроля за показателями состояния сооружений;
- информационного обеспечения формирования перечня сооружений, подлежащих ремонту и реконструкции;
- уточнения основных размеров конструктивных элементов;

¹⁶ СП 58.13330.2019. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Пересмотр СНиП 33-01-2003 : введен 17.06.2020. URL: <http://docs.cntd.ru/document/564542210>

¹⁷ ГОСТ 31937-2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния : введен 01.05.2024.

¹⁸ Об утверждении критериев классификации гидротехнических сооружений : Постановление Правительства РФ от 05.10.2020 № 1607. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74632297/>

¹⁹ О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации : Федеральный закон от 31.07.2020 № 248-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_358750/

²⁰ О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля : Федеральный закон от 26.12.2008 № 294-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_83079/

- осмотра видимых частей сооружения конструкций с выявлением дефектов; составления дефектных ведомостей;
- выявления наличия и размеров дефектов;
- ранжирования сооружений по степени опасности.

Предложено управление безопасностью с помощью баз данных (БД), они позволяют выявить наиболее кризисные зоны, в которых необходимо реализовать меры по улучшению экологической обстановки [17, 18]. Создание каталога водотоков и соответствующей БД потенциально способно обеспечить решение задач оптимизации природопользования в бассейнах малых рек [19].

По результатам авторских исследований составлена структура для формирования баз данных объектов водохозяйственного строительства по критериальным значениям, техническому состоянию и оценке уровня безопасности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основании обобщения проведенных исследований разработана система для сбора данных объектов водного хозяйства в бассейне реки. База содержит обработанную информацию: параметры сооружения, функциональное назначение, морфометрические признаки, геоморфологические особенности, физико-химические исследования проб воды, оценку технического состояния. База данных представляет систематизированный массив строительной информации с возможностью фильтрации и сортировки сооружений по различным параметрам, таким как: «Наименование», «Координаты», «Наименование муниципального образования, на территории которого находятся гидротехнические сооружения», «Ближайший населенный пункт», «Объем полный, млн м³», «Объем полезный, млн м³», «Площадь зеркала при нормальном подпорном уровне, км²», «Отметка нормального подпертого уровня (НПУ), м», «Отметка форсированного подпертого уровня (ФПУ), м», «Отметка уровня мертвого объема (УМО), м», «Максимальный расход воды, м³/с», «Водоток», «Вид регулирования стока», «Назначение» и др. [20].

Собраны сведения для определения степени экологической безопасности, составленные по ре-

результатам натурного обследования, систематизирующие сведения об объектах водного хозяйства в бассейне реки: проведены исследования эксплуатируемых объектов строительства; использованы сертифицированные приборы и оборудование, обеспечивающие точность и воспроизводимость результатов; проанализированы полученные данные и оценены результаты; дана оценка техническому состоянию и уровню безопасности, согласно действующим сводам и правилам, на момент обследования; приведены рекомендации по выполнению комплекса мероприятий для повышения безопасности сооружений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Донбасс относится к маловодному региону, а поэтому проблема сохранения водных ресурсов остается для жителей республики крайне острой. Водные ресурсы административного центра ДНР постоянно испытывают антропогенное воздействие промышленного потенциала города. В ДНР сосредоточены различные отрасли промышленности (металлургическая, коксохимическая, угольная), отсюда существенное последствие — ухудшение состояния окружающей среды, в том числе состояния земель и водных объектов. Водоснабжение населения ДНР на 85 % обеспечивается за счет поверхностных водоисточников и около 15 % приходится на долю подземных. Учитывая, что практически все города и населенные пункты ДНР расположены на подработанных угольными шахтами территориях, часть из которых затоплена и разрушена в ходе боевых действий (шахты «Октябрьская», «Трудовская» г. Донецк; «Комсомолец Донбасса» г. Кировское), поступление шахтных сточных вод в поверхностные и подземные водоисточники является острой экологической и гигиенической проблемой [21].

Нестабильное водоснабжение на протяжении двух лет остается проблемой для жителей ДНР. На сегодняшний день, несмотря на утвержденный график подачи воды раз в два дня, многие дома, как и в течение последних двух лет, остаются без водоснабжения. И такие ограничения коснулись

не только прифронтовых районов, в тылу г. Донецка насосы не справляются с подачей воды на верхние этажи многоэтажек, жители которых раз в несколько дней вынуждены пополнять запасы из машин, занимающихся подвозом, частный сектор страдает из-за изношенности труб. Это обусловлено комплексом факторов: аварии на сетях водо- и теплоснабжения, а также регулярные перебои электроснабжения на объектах, которые приводят к остановке технологического оборудования и гидравлическим ударам на сетях.

Основным источником водоснабжения для ДНР в настоящее время является водовод «Дон – Донбасс», построенный в 2023 г. Водовод имеет производительность 300 тыс. м³ воды/сут и обеспечивает водой Горловский, Донецкий и Енакиевский промышленные районы, включающие города: Донецк, Макеевка, Харцызск, Шахтерск, Кировское и Торез. До 2022 г. ДНР снабжалась водой по каналу «Северский Донец – Донбасс», однако он получил критические повреждения в ходе боевых действий.

Водовод «Дон – Донбасс» забирает 0,1095 км³ воды в год, что составляет 0,54 % от среднегодового стока р. Дон в районе станицы Раздорской за последние 70 лет (с 1952 по 2022 г.), это значительно меньше, чем максимальный годовой сток р. Дон, составляющий 0,29 % для самого многоводного года (1979 г.) и 1,15 % для самого маловодного года (2020 г.) за этот период. Так, водовод «Дон – Донбасс» обеспечивает стабильное водоснабжение для ДНР, но его производительность ограничена и не может полностью решить проблему дефицита воды в регионе.

В республике сосредоточено свыше 800 гидротехнических сооружений, однако безопасная эксплуатация, согласно российскому законодательству, не ведется.

Проведенные исследования в бассейне р. Грузской Еланчик позволили очертить основной круг характерных для региона аспектов состояния водных ресурсов с точки зрения безопасности эксплуатации ГТС, экологического состояния малых рек Донбасса, особенностей водопользования на территории новых регионов РФ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Волосухин В.А., Фесенко Л.Н., Рожков В.С. Проблемы водообеспеченности новых субъектов Российской Федерации // Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства : сб. тез. докл. VII Всеросс. науч.-практ. семинара. 2024. С. 116–117. EDN PSGKVV.

2. Матишов Г.Г., Григоренко К.С. Гидрохимический состав воды на взморье и авандельте Дона в условиях маловодья (XX–XXI вв.) // Доклады Рос-

сийской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 499. № 2. С. 193–202. DOI: 10.31857/S2686739721080077. EDN NWPFYU.

3. Жукова С.В., Мирзоян А.В., Шишкин В.М., Подмарева Т.И., Лутынская Л.А., Тарадина Е.А. и др. Возможные сценарии формирования материкового стока и солёности вод Азовского моря с учетом современных и перспективных тенденций изменения климата // Водные биоресурсы и среда обитания.

2023. Т. 6. № 4. С. 7–30. DOI: 10.47921/2619-1024_2023_6_4_7. EDN WQWAHX.

4. *Елизарова О.В.* Анализ качества воды из источников централизованного водоснабжения ДНР в современных условиях // Архив клинической и экспериментальной медицины. 2023. Т. 32. № 4. С. 32–35.

5. *Pourmahmoud J., Shahdany S.M.H., Roozbahani A.* Practical drought risk assessment and management framework: A step toward sustainable modernization in agricultural water management // Journal of Hydrology. 2024. Vol. 644. P. 132121. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2024.132121

6. *Lou H., Li H., Yang S., Wang X., Pan Z., Zhang Y. et al.* River discharge recovery lag in the small and medium-sized rivers occurred in response to climate change and human activities // Journal of Hydrology. 2023. Vol. 620. P. 129453. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2023.129453

7. *Foroumandi E., Nourani V., Kantoush S.A.* Investigating the main reasons for the tragedy of large saline lakes: Drought, climate change, or anthropogenic activities? A call to action // Journal of Arid Environments. 2022. Vol. 196. P. 104652. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2021.104652

8. *Wray N., Bowie D., Pattison I., Angeloudis A., Beevers L.* Disentangling climate change & land use change effects on river flows: A probabilistic approach // Journal of Hydrology. 2024. Vol. 639. P. 131665. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2024.131665

9. *Лурье П.М., Панов В.Д.* Реки бассейна Азовского моря. Ростов н/Д. : Донской издательский дом, 2021. 670 с.

10. *Panagopoulos A.* Water-energy nexus: desalination technologies and renewable energy sources // Environmental Science and Pollution Research. 2021. Vol. 28. Issue 17. Pp. 21009–21022. DOI: 10.1007/s11356-021-13332-8

11. *Wang S., Gu C., Liu Y., Gu H., Xu B., Wu B.* Displacement observation data-based structural health monitoring of concrete dams : a state-of-art review // Structures. 2024. Vol. 68. P. 107072. DOI: 10.1016/j.istruc.2024.107072

12. *Xu B., Rong Z., Pang R., Tan W., Wei B.* A novel method for settlement imputation and monitoring of earth-rockfill dams subjected to large-scale missing data // Advanced Engineering Informatics. 2024. Vol. 62. P. 102642. DOI: 10.1016/j.aei.2024.102642

13. *Lu Y., Wu Z.* A vine-copulas based multi-sensor fusion structural damage monitoring method and its application in dam engineering // Applied Soft Computing. 2024. Vol. 167. P. 112356. DOI: 10.1016/j.asoc.2024.112356

14. *Ai Z., Ma G., Zhang G., Liu R., Deng S., Chang X.* Multi-source monitoring data filtering assisted deformation analysis model updating of ultra-high rock-fill dam // Computers and Geotechnics. 2024. Vol. 171. P. 106323. DOI: 10.1016/j.compgeo.2024.106323

15. *Слесарев М.Ю., Иванкова Т.В., Фесенко Л.Н.* Состояние объектов мелиоративного строительства в бассейне малой реки Альма Республики Крым // Экология урбанизированных территорий. 2022. № 1. С. 15–22. DOI: 10.24412/1816-1863-2022-1-15-22. EDN OQNNDN.

16. *Иванкова Т.В.* Обеспечение экологической безопасности природно-технических систем бассейнов малых рек в условиях Крымского полуострова : монография. М. : Инфра-М, 2023. 171 с. DOI: 10.12737/1903315. EDN SGVKPV.

17. *Lu Y., Li Y., Fang G., Deng M., Sun C.* Ecological risk assessment and management for riverfront development along the Yangtze River in Jiangsu Province, China // Ecological Indicators. 2023. Vol. 155. P. 111075. DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.111075

18. *Vitale C.* Understanding the shift toward a risk-based approach in flood risk management, a comparative case study of three Italian rivers // Environmental Science & Policy. 2023. Vol. 146. Pp. 13–23. DOI: 10.1016/j.envsci.2023.04.015

19. *Qin X., Gu C., Guo J., Yuan D., Shao C., Chen X.* Load combination feedback of fracture in concrete dams based on monitoring data with simplified fuzzy association rules // Structures. 2023. Vol. 47. Pp. 2354–2364. DOI: 10.1016/j.istruc.2022.12.056

20. Свидетельство о регистрации базы данных RU № 2024624777. База данных сооружений водного хозяйства в бассейне реки Грузской Еланчик / Т.В. Иванкова; заявитель и правообладатель Т.В. Иванкова; дата регистрации 30.10.2024.

21. *Головатенко Е.Л.* Оценка состояния водных ресурсов на территории Донецкого региона // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2023. № 5 (163). С. 118–125. EDN QEFPGS.

Поступила в редакцию 15 октября 2024 г.

Принята в доработанном виде 15 ноября 2024 г.

Одобрена для публикации 15 ноября 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: **Татьяна Викторовна Иванкова** — кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры водного хозяйства, инженерных сетей и защиты окружающей среды; **Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова**; 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, д. 132; РИНЦ ID: 47991684, Scopus: 57209806818, ORCID: 0000-0003-0902-9670; academy-design@mail.ru;

Лев Николаевич Фесенко — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водного хозяйства, инженерных сетей и защиты окружающей среды; **Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова**; 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, д. 132; РИНЦ ID: 461079, Scopus: 6603681244, ORCID: 0000-0001-6570-0460; 65613@mail.ru;

Виталий Сергеевич Рожков — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов; **Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (ДОННАСА)**; 286123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2; РИНЦ ID: 584962, Scopus: 56825406700; v.s.rozhkov@donnasa.ru.

Вклад авторов:

Иванкова Т.В. — сбор и обработка материала, разработка баз данных, написание методологии, исходного текста и его доработка в соответствии с предоставленными корректировками, формулирование результатов и выводов.

Фесенко Л.Н. — научное руководство, концепция исследования, развитие методологии, доработка текста, итоговые выводы.

Рожков В.С. — анализы проб воды, доработка текста, формулирование результатов и выводов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

According to the Constitution of the Russian Federation, the Donetsk People's Republic (DNR), Lugansk People's Republic (LNR), Zaporozhye and Kherson oblasts are included in the list of regions of the country¹. In the period of the USSR (until 1991), water from the Dnieper basin and Seversky Donets (a right tributary of the Don River) was used for water supply of the population and economic facilities. Today, the real water withdrawal from small rivers of the new subjects of the Russian Federation $\approx 1.0 \text{ km}^3/\text{year}$, with the living population $N = 7.5$ million people specific withdrawal (2024) $\approx 130 \text{ m}^3/(\text{person year})$. For comparison: specific water consumption per person per year: for Italy $\approx 910 \text{ m}^3/(\text{person year})$, for Spain $\approx 750 \text{ m}^3/(\text{person year})$. Total river runoff of DNR, LNR, Zaporozhye and Kherson oblasts² $\Sigma W_{\text{local } p=50\%} = 3,232.0 \text{ mln m}^3$, specific water resources (2024) — $431 \text{ m}^3/\text{person year}$ (1991) — $231 \text{ m}^3/\text{person}$ [1]. The area of the four new entities (DNR, LNR, Kherson and Zaporozhye oblasts) is 108.9 thousand km^2 . Water deficit is estimated $W_{\text{river}} \approx 12 \text{ km}^3/\text{year}$. The area of the DNR $F_{\text{DNR}} = 26.5 \cdot 103 \text{ km}^2$, for a year of average water availability $W_{\text{river}} \approx 0.3 \text{ km}^3/\text{year}$.

During the USSR period, inter-basin transfer canals, fill reservoirs, and perennial spill reservoirs were constructed and operated. The water balance of the Sea of Azov is $W \approx 290 \text{ km}^3$ (which is comparable to two annual discharges of the Volga River). At the same time, the flow of the Don River (annual average) is $27 \text{ km}^3/\text{year}$, the Kuban River — $13 \text{ km}^3/\text{year}$, which in total $\Sigma =$

$= 40 \text{ km}^3/\text{year}$. Based on data from the state report³, we have entered a cycle of low-water years, the Don River flow — $12 \text{ km}^3/\text{year}$ (2020), the Kuban River — $6 \text{ km}^3/\text{year}$ (2020), totaling $\Sigma = 18 \text{ km}^3/\text{year}$. This is why the salinity of the Sea of Azov is increasing. If in the DNR local resources are (for an average water year) 750 million m^3/year , reservoirs and ponds accumulate 80 % of the runoff — 600 million m^3 .

Problems with drinking water supply in the DNR started in 2022, when the Seversky Donets – Donbass canal was disrupted. To solve these problems, a water conduit from the Don River and a number of water conduits from local sources and small reservoirs were built, and dozens of new wells were drilled. Due to the continuing shortage of water resources in the DNR, caused by the lack of water supply from the main source — the Seversky Donets – Donbass canal — and the limited capacity of the reserve Volyntsevskoye reservoir, water is supplied to consumers on schedule. The construction of the Don – Donbass water pipeline has improved the situation, but has not eliminated the problem of water shortage. Thus, the capacity of the water pipeline in the standard mode is less than 300 thousand m^3/day , which provides no more than a quarter of the resource consumption for 2010. The economy in such conditions cannot recover normally, let alone develop. The Sea of Azov is facing a serious ecological crisis caused by the low water content of the Don River. Don. Since 2007, the water flow in the Don River has significantly decreased, which has led to an increase in the salinity of the Sea of Azov [2]. The average annual salinity of the sea, which was 9.6 % in 2006, reached a record 15.1 % in 2020 [3]. The deficit of river runoff and increased water consumption for evaporation, along with other factors, provoked an un-

¹ The admission of the Donetsk People's Republic to the Russian Federation and the formation of a new subject within the Russian Federation — the Donetsk People's Republic : Federal Constitutional Law of 04.10.2022 No. 5-FKZ (ed. of 25.12.2023).

² Surface water resources of the USSR. Volume 06. Ukraine and Moldavia. Issue 3. Seversky Donets basin and rivers of the Azov region, ed. by M.S. Kaganer. Leningrad, Hydrometiz, 1967; 492.

³ On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2020 : state report. Moscow, Ministry of Natural Resources of Russia; Lomonosov Moscow State University, 2021; 864.

precedented increase in the salinity of the Azov Sea waters, the average annual value of which reached a high level (14.97 ‰) in 2021. Under the most probable scenario (60 %) with the preservation of the low-water period and the mainland flow of the Don and Kuban rivers into the Sea of Azov with a total volume of about 22 km³, the average annual salinity of the Sea of Azov, including the Gulf of Taganrog, may reach values of 15 ± 0.40 ‰ with a range of fluctuations in the sea proper in the interval from 14.5 to 16.5 ‰ [3].

The Don River basin covers an area of 422,000 km² with 15 constituent entities of the Russian Federation: Tula, Orel, Ryazan, Lipetsk, Voronezh, Tambov, Kursk, Belgorod, Penza, Saratov, Volgograd and Rostov Regions, Stavropol and Krasnodar Territories and the Republic of Kalmykia (369.0 thousand km² or 87.4 % of the basin), as well as Kharkov, Lugansk and Donetsk Regions (53.0 thousand km² or 12.6 % of the basin area). The length of the watercourse is 1,870 km, catchment area — 422 thousand km²; average flow rate — 680 m³/s; river gradient — 0.096 m/km, age ≈ 23 million years⁴. The water of the river. The Don River is actively withdrawn for various needs even before the river flows into the Tsimlyanskoye reservoir, so the Don – Donbass water pipeline project, although it may temporarily improve the water supply situation in the DNR, will not be a long-term solution. The Don River basin will continue to experience a downward trend in river runoff due to decreased annual precipitation and increased evaporation during the warm season. Four subjects of the Russian Federation are located fully or partially in the Kuban River basin: Republic of Adygea, Karachay-Cherkess Republic, Krasnodar Krai and Stavropol Krai. The length of the watercourse is 870 km; catchment area — 57.9 thousand km²; average water flow — 398 m³/s; river slope — 1.53 m/km, age ≈ 5–9 million years.

It should be expected that river runoff in the southern regions of Russia will decrease by 3 % until 2030 and by 4 % until 2041–2060 and 2080–2099 [3]. The liberation of the entire territory of the DNR is the only way to restore normal water supply and end the water blockade by Ukraine.

There are no major rivers in the DNR, except for the Seversky Donets, which is 1,053 km long and has a catchment area of 98,900 km². The largest reservoirs in the Seversky Donets basin are Chervonooskolskoye (445 million m³), Pechenezhskoye (383 million m³), Krasnopavlovskoye (414 million m³), Uglegorskoye (162 million m³) and Mironovskoye (76.3 million m³). More than 240 small reservoirs and ponds with an average mirror area of about 2 km² are located in the river basin.

⁴ Jamalov R.G., Kireeva M.B., Kosolapov A.E., Frolova N.L. *Water resources of the Don basin and their ecological state : a monograph* / Federal Agency of Scientific Organisations, Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences and others. Moscow, GEOS, 2017; 204.

Groundwater use in the DNR is not possible due to the high density of mines, the development of which affects both the depth of groundwater and its quality. The waters are unusable due to their extreme contamination with heavy metals^{5,6,7} [4]. Nevertheless, groundwater in a number of cities is used as a heat carrier for centralized heating systems. If before the start of SMO in Donetsk city 280–320 thousand m³/day of water was supplied, then by November 2022 — only 42–55 thousand m³/day, of which 20 % of water was used for the operation of boilers. The situation is aggravated by the peculiarities of operation: power outages, occurrence of hydraulic shocks, accidents on water pipelines, breakages on the water supply network; similar situation with equipment: pumps fail. Thus, thousands of people still live in conditions of water shortage.

In accordance with the instructions of the President of the Russian Federation V.V. Putin dated 01.04.20. Putin from 01.04.2023 No. Pr-650 and from 27.07.2023 No. Pr-1477 the development of the Strategy for the development of the Azov basin water area and territories of the Azov coast, the “Strategy for sustainable development of the Azov region until 2040” was developed⁸. The Strategy is aimed at restoring the ecology of the Azov Sea and the Azov coast, developing the fishery, tourism and recreational potential of the four new constituent entities of the Russian Federation (DNR, LNR, Kherson and Zaporozhye regions), the territories of the Republic of Crimea, Krasnodar Krai and Rostov Oblast adjacent to the Azov Sea in order to improve people’s well-being.

Tourism and quality of life cannot be developed without full access to safe drinking water. Therefore, the study of small and medium-sized river basins is becoming increasingly important in light of current challenges, including climate change and increasing anthropogenic impacts [5]. Despite their relatively small size, these basins play a key role in global water, matter and energy cycling systems, influencing socio-economic processes [6]. Therefore, the study of these basins under the current conditions is a complex and important area of scientific research [7, 8].

The water fund of the DNR includes 1,695 surface water bodies (rivers, reservoirs, ponds, lakes), as

⁵ Vorovich I.I., Gorelov A.S., Gorstko A.B. et al. *Rational use of water resources in the Azov Sea basin* / mat. Models, edited by I.I. Vorovich. Moscow, Nauka, 1981; 359.

⁶ Peltikhin A.S. *Peculiarities of Donbass rivers and recreation, Tourism — a promising branch of Ukrainian economy : collection of mats. of scientific and practical conf.* Donetsk, 1995; 267.

⁷ Vetrov S.F., Ermachenko A.B., Grishchenko S.V. et al. Hygienic assessment of drinking water supply to the population of certain districts of the Donetsk People’s Republic. *Vestnik hygiene and epidemiology.* 2019; 23(3):236-244.

⁸ Strategy of sustainable development of the Azov region until 2040. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/74442>

well as groundwater. There are 4 medium-sized rivers with a total length of 410 km and 851 small rivers and streams flowing through the territory of the Donetsk People's Republic. The main watercourses in the DNR are the Kalmius, Mius, Krynka, Gruzskaya Yelanchik, the upper reaches of the Lugan, Sukhoy and Mokry Yelanchik, Osikova, Lozovaya and Vodyanaya rivers; the total length of the river network in the territory is 5,843.9 km^{9, 10} [9]. The density of the DNR river network is 0.22 km/km².

Large mineral resources in the Donetsk coal basin contributed to the rapid development of industry and significant population concentration in the region in the 20th century. The industries formed in the region for more than a century are characterized by significant water consumption, therefore, there is an acute problem of water pollution in the region and the associated deficit of quality water for household and drinking water supply for the population, agriculture, processing industry, etc. Archival data on chemical analyses of water from aquifers in the area indicate the presence of saline groundwater at a depth of 1.25 m with a salt concentration of 39 g/l and a predominant content of sodium and chlorine ions¹¹.

The bulk of the water of the DNR rivers (60–70 % of the year) drains during the winter-spring period. The rivers of the DNR are fed by spring snowmelt, which accounts for 40–80 % of the annual flow. Rainfall feeding is insignificant.

The flow of the DNR rivers is highly regulated by reservoirs and ponds built in 1950–1970 and is used for drinking, agricultural and industrial water supply, fish farming and irrigated agriculture. The total surface area of water bodies (799) located on the territory of the DNR is 11,097.68 ha. The volume of water resources for an average water year is 525.142 million metres³. There are 46 reservoirs in the DNR with a total surface area of 7,491.7 ha and a volume of 464.417 million metres³.

⁹ River network in the DNR. URL: <https://gkvrh.ugletele.com/vodnye-obekty-natsionalnye-dostoyanie-naroda-dnr/>

¹⁰ Volosukhin V.A., Melnikov V.V. *Azov-Caspian Waterway: History, Problems, Prospects*. Rostov n/D, Izd-vo YuFU, 2008; 242.

¹¹ Report on the state of the environment in Donetsk region, edited by S. Tretyakov, G. Aveyev. Donetsk, 2007; 116.

The Committee for Water and Fisheries of the Donetsk People's Republic develops and implements the state policy in the sphere of management, use and reproduction of surface water resources, development of water management and land reclamation, operation of state water management facilities of complex purpose, economic irrigation and drainage systems. According to the latest inventory, there are about 800 hydraulic engineering structures (HES) on the territory of the DNR, most of which are in unsatisfactory and emergency condition.

Condition of hydraulic structures and water quality

The selected site is the Gruzskaya Yelanchik River basin, which contains three reservoirs: Mikhailovsky, Mikhailovsky I (Fig. 1) and Shevchenkovo (Fig. 2, 3). Apart from the site passport^{12, 13, 14} (1981, 1984 and 1984, respectively) no other documentation has survived.

According to Russian legislation, all HS must be subject to federal state supervision. The submission of a HS safety declaration and its expert review is a mandatory requirement, failure to comply with which is considered a violation of HS safety legislation. In accordance with the requirements of Federal Law No. 117-FZ "The Safety of Hydraulic Structures", the responsibilities of the owner of HS, as well as the operating organization, include a regular procedure for the development and approval of HS safety declaration at all stages of the life cycle. According to Article 3 of¹⁵, a HS safety declaration is a document that substantiates HS safety and defines measures to ensure HS safety, taking into account its class.

Another significant problem for the studied areas is the coastal water protection zone. All three reservoirs are located near roads, which attracts fishermen. According to echosounder data, the average depth

¹² Water management passport of Shevchenkovo reservoir, Zaporozhye. 1983; 25.

¹³ Water management passport of Mikhailovsky reservoir, Donetsk. 1981; 32.

¹⁴ Water management passport of the Mikhailovsky I reservoir, Zaporozhye. 1983; 26.

¹⁵ The safety of hydraulic structures: Federal law from 21.07.1997 No. 117-FZ (with amendments and additions from 29.07.2018). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15265/



Fig. 1. View from the upper slope of the dam, shaft spillway of the Mikhailovsky I reservoir



Fig. 2. View of the coastal water protection zone of the Shevchenko reservoir



Fig. 3. View of the water area of the Shevchenkoye reservoir

of the reservoirs is about 2.5–3.5 m, and fish were recorded at a depth of 2.0–2.7 m. In the areas of free access of vehicles, the centres of rubbish, plastic and waste dumps were detected (Fig. 2, 3).

The main parameters of three reservoirs located in the basin of the Gruzskaya Elanchik River are given: Mikhailovsky I (Table 1), Mikhailovsky (Table 2) and Shevchenkoye II (Table 3).

Table 1. Main parameters of Mikhailovsky I reservoir (design)

Length, km	Maximum width, km	Average width, km	Maximum depth, m	Average depth, m	Mirror area (at LPA, km ²)	Total volume, mln m ³	Usable volume, mln m ³
2.4	0.54	0.22	4.8	2.04	0.52	1.06	0.75

The mark “Normal retaining level” (NRL) — 30.48 m;

Dead Volume Level” mark — 28.48 m;

The mark “Forced retaining level” (FRL) — 31.68 m.

The maximum water discharge is 71.1 m³/s.

The dam is a blind, earthen, drivable, crest length — 663 m, project width — 10 m, actual width — 25 m, maximum height — 8.99 m.

Ridge marking:

- design — 33.18 m;
- maximum — 33.71 m;
- minimum — 32.69 m;
- average — 33.40 m.

Slope embedment:

- upstream: $m = 3.0$;
- bottom: $m = 2,5$.

Fixing of slopes:

• upper slopes — with slabs up to the mark of 32.95 m;

- lower slopes — by sowing perennial grasses.

Spillway — shaft, automatic action, located in the left abutment of the dam, inner diameter of the shaft — 9.0 m, height — 5.23 m (5.0 m according to the project) made of concrete; wall thickness = 0.8 m, top mark of the shaft — 30.48 m. Two strings of diverting pipes of 2.0 × 2.3 m prefabricated-monolithic construction end with a concrete damper extending in plan; the width of the concrete damper at the beginning is 6.8 m, at the end 10.5 m. The diversion channel is stone-fastened for a length of 20 m. *The bottom outlet* is combined with the mine spillway and is represented by two steel pipes with a diameter of 300 mm; according to the project the bottom outlet is equipped with fish protection in the form of a perforated pipe — riser 1.5 m high and a rod net at the inlet funnel. The flow rate at the NRL is 0.53 m³/s. *The pumping station* is located in the lower reach of the reservoir, flow rate 0.20 m³/s. The water intake of the pumping station (PS) is made from the bottom outlet by two strings of steel pipeline $D = 400$ mm 57 m long. The PS is not equipped with water-metering facilities.

The main hydrological characteristics of the Gruzskaya Yelanchik River watercourse:

- catchment area up to the hydro scheme site — 150 km²;
- feeding character — snow, rain, groundwater with predominance of snow;
- runoff volume — 50 % availability, annual — 5.80 million m³, during the flood period — 3.48 million m³;
- flood period — 40 days;
- the volume of runoff in the estimated low-water year of 75 % availability is 3.59 million m³.

Table 2. Main parameters of the Mikhailovsky reservoir (design)

Length, km	Maximum width, km	Average width, km	Mirror area (at NRL, ha)	Maximum depth, m	Average depth, m	Mirror area (at NPA, km ²)	Total volume, mln m ³	Usable volume, mln m ³
5.45	0.420	0.176	96	13.0	4.6	2.6	4.652	2.6

NRL mark — 48.0 m;
DVL mark — 36.0 m;
FBL mark — 50.0 m.

Maximum design water discharge with a given probability of exceedance, normal 1 % probability of exceedance — 224 m³/s.

1. *Earthen dam* 18.0 m high, crest width 6 m, dam length 269 m.

Slope embedment:

- top $m = 3.0$;
- downstream $m = 2.5$.

The dam is constructed of loam with volumetric weight 1.65 g/cm³. The upper slope is fixed with prefabricated reinforced concrete slabs 300 × 200 × 8 cm on crushed stone 20 cm. Glass fibre reinforced concrete and glass fleece is placed under the joints. Stop tooth made of prefabricated reinforced concrete slabs 300 × 80 × 20 cm. Fixing of the upstream slope from 37.50 to mark 50.90; dam crest mark 51.30. The stability coefficient of the downstream slope is 1.3. At the base of the downstream slope of the dam a drainage strip with a diversion drain is laid.

2. The open-type *spillway structure* is located on the left slope of the gully, the inlet channel with a fast flow. The width of the inlet channel along the bottom is 50 m, length — 54.5 m. The width of the quick-flow channel is 15.2 m, length — 88 m, slope — 0.18, slope — 1.5.

The bottom and slopes of the flume are fixed with precast slabs 300 × 200 × 20 cm and 300 × 150 × 20 cm on a 15 cm layer of lean concrete. For energy dissipation in the downstream section, a water well with a depth of 2.45 m, length of 16 m and slope $m = 1.5$ is provided.

The well is made of monolithic reinforced concrete with a bottom thickness of 80–100 cm. Under the bottom of the well there is a return filter made of crushed stone and sand.

The 12.6 m long apron is fixed with prefabricated reinforced concrete slabs 300 × 200 × 20 cm. The fixing of the apron ends with a 2 m deep stone tooth. Preparation under the fixing slabs made of crushed stone 10 cm.

3. *The bottom outlet* is located on the left slope of the Kamenka gully, made of steel pipes, $D = 400$ mm, wall thickness 12 mm in three strings. The discharge capacity is 1.98 m³/s. The pond emptying time is 42 days. The pipes are laid in a protective casing made of reinforced concrete M200.

The inlet part is secured with 15 cm stone paving. At the outlet, two inspection wells are installed to accommodate the shut-off valves. Water intake for irrigation is carried out through the bottom outlet pipes.

The main hydrological characteristics of the watercourse is the right tributary of the Gruzskaya Yelanchik River:

- catchment area up to the hydro scheme site — 163/72.0* km²;
- feeding character — snow, rain;
- runoff volume — 50 % availability, annual — 3.4 million m³, during the flood period — 1.44 million m³;
- flood period — 40 days.

Table 3. Basic parameters of Shevchenko reservoir (design)

Length, km	Width max, average, km	Depth maximum, average, m	Mirror area (at NRL, km ²)	Total volume, mln m ³	Usable volume, mln m ³
5.0	$\frac{0.500^*}{0.155}$	$\frac{8.60^*}{4.32}$	0.77	3.33	3.04

Note: * In column 2 numerator is the total catchment area of the reservoir, denominator is its own catchment area. Own is the part of its total catchment area enclosed between the dams and the nearest reservoirs located upstream of the main watercourse and its tributaries and regulating runoff from their catchment areas; columns 3, 4 show runoff volumes at the reservoir's site: total including releases from the upstream Shevchenko III reservoir (numerator) and from its own catchment area (denominator); the volume of runoff in the design low-water year $P = 75$ %, from its own catchment area (there will be no releases from Shevchenko III) is 0.28 million m³.

NRL mark — 56.83 m;
DVL mark — 49.83 m;
FBL mark — 58.83 m;

Dam — earthen, passable, length along the crest — 195 m, width according to the project — 6 m, maximum height — 12.4 m.

Crest marking:

- design — 60.23 m;
- actual — 60.66 m.

Depositing of slopes:

- top: $m = 3.0$;
- bottom: $m = 2.5$.

Fixing of slopes:

- upper slopes — with reinforced concrete slabs up to the mark of 57.80 m;
- lower slopes — by sowing perennial grasses.

A drainage strip is installed in the downstream slope of the dam.

The *open spillway* is located on the right bank of the reservoir. It consists of an inlet channel, a fast flow channel, a spillway, a drawbar and an outlet channel. The *spillway* is made in rocky soils without anchoring. The inlet channel and the rapid flow channel are of trapezoidal cross-section with slopes $m = 0.5$, 20 m wide at the bottom, with a total length of 182.5 m. The water well 1.0 m deep, 15.0 m long and 22.0 m wide at the bottom is made without anchoring. *Apron and diversion channel* along the length of 27.5 m are fixed with 0.5 m stone. The channel of trapezoidal cross-section with slopes $m = 3.0$ m and a bottom width of 26.9 m is made without anchoring. *The bottom outlet* is made of steel pipes, $D = 400$ mm in two strings 106.5 m long. Within the dam embankment, the pipes are encased in a monolithic reinforced concrete casing. According to the design, the bottom outlet is equipped with umbrella-type fish protection. The flow

rate at the maximum permissible flow rate is 1,090 l/s. The maximum flow rate with a given probability of exceedance is 185 m³/s. Capacity of spillway structures (taking into account the regulating influence of the reservoir) — 172 m³/s.

Main hydrological characteristics of the water-course:

- catchment area up to the hydro scheme site — 2.00/21.4 km²;
- feeding character — snow, rain, groundwater with predominance of snow;
- runoff volume 50 % availability, annual — 2.25/0.61 mln m³, for flood — 1.94/0.30 mln m³*;
- flood period — 40 days.

Laboratory results

Sixteen specimens were collected along the entire length of the river channel. Sampling was carried out at the mouth, under bridge, tributaries, reservoirs, ponds and headwaters. To assess water quality, analyses were carried out using the following instruments: MARK-303; portable digital tester Water Test for pH measurement; photometer Expert-003 and Expert 003-3; RealUVT REALTECH for turbidity measurement; echo sounder Lucky Knight FF718LIC-WT for bottom relief determination; and conductometer with laboratory flow sensor Expert-002-2-6-Pr for salt content measurement. Characteristics of the selected stream specimens are given in Table 4.

Salt content in the studied region is high. It should be noted that the problem of water quality in the rivers of Donbass has existed for more than 60 years. The reg-

ulation of the flow of most rivers by reservoirs has led to a decrease in their water availability. For example, if before 1958 (before the introduction of the Seversky Donets-Donbass canal) the flow of the Seversky Donets River was close to the natural one and the irretrievable water withdrawal was 2–3 m³/s, then by 2000 it increased to 23.2 m³/s. Data from 2005–2010 show¹¹ that the content of calcium ions in the Seversky Donets has increased significantly and the total mineralization of water has increased. The change in salt composition is atypical of natural processes and is most indicative of human economic activity in the river basin. Increased salt content is observed in the water of almost all rivers in the DNR. One of the main reasons for this is the discharge of highly mineralized mine water, with which more than 1 million tonnes of salts enter the rivers per year.

The Gruzskaya Yelanchik River has a catchment area of 1,190 km², a water discharge of 0.91 m³/s, and a volume of 0.029 km³. Freshwater resources available for use for a fraction, %, of the time: 50 % — 0.022 km³; 75 % — 0.011 km³; 95 % — 0.0029 km³.

The Report on the State of the Environment in Donetsk Oblast (2007) provides an assessment of water pollution hazard by main indicators (Fig. 4) and an ecological assessment of water condition in the Gruzskaya Elanchik River for 2006 (Fig. 5), sulphate excess was recorded twice. The natural conditions of the study area are conditioned by the distribution in the region of brackish sulphate-sodium waters, which have limited use in the household and drinking water supply

Table 4. Results of laboratory tests for salt content, PO₄, NH₄, NO₃

Kilometres from the source	Specimen number	Source	Mineralization, g/l	PO ₄ , mg/l	NH ₄ , mg/l	NO ₃ , mg/l
8	16	p. Gruzskaya Yelanchik, Pobeda	1.97	0.14	0.09	32
12.2	15	Right tributary, Luzhki	3.16	0.15	0.3	13.42
15.32	14	p. Gruzskaya Yelanchik, Glinki	2.25	0.37	0.24	32.4
17.89	Specimen 13	Left tributary to the Shevchenko Reservoir	3.68	0.36	7.08	35
21.45	Specimen 12	p. Gruzskaya Yelanchik, Shevchenkovskoye reservoir	2.43	0.14	0.22	0.2
27.96	Kuznetsovo-Mikhailovsky reservoir	p. Gruzskaya Yelanchik, Kuznetsovo-Mikhailovsky reservoir	2.66	0.14	1.61	8.28
36.96	Bridge 8	p. Gruzskaya Yelanchik, Alexandro-Grekovskoye reservoir	2.97	0.035	0.8	5.97
39.24	Mikhailovsky Reservoir	Left tributary, Mikhailovsky Reservoir	3.64	0.14	6.6	7.36
46.43	Bridge 7	p. Gruzskaya Yelanchik, Ivanovka	3.16	0.13	0.63	0.19
53.28	Pond 1	Left tributary, Samsonovo	3.82	0.01	0.53	9.83
63.03	Bridge 6	p. Gruzskaya Yelanchik, Vitava	3.37	0.68	1.3	6.61
65.58	Bridge 5	p. Gruzskaya Yelanchik, Khomutovo	3.31	0.035	0	2.17
76.38	Bridge 4	p. Gruzskaya Yelanchik, Rosa Luxemburg	3.49	0.32	5	8.99
85.79	Bridge 3	p. Gruzskaya Yelanchik, Guselshchikovo	3.51	0.07	3.5	16.69
89.66	Bridge 1	p. Gruzskaya Yelanchik, Novoazovsk	3.11	0.054	3.3	10.1
92.52	Mouth	River mouth	8.54	0.18	0.15	27.2

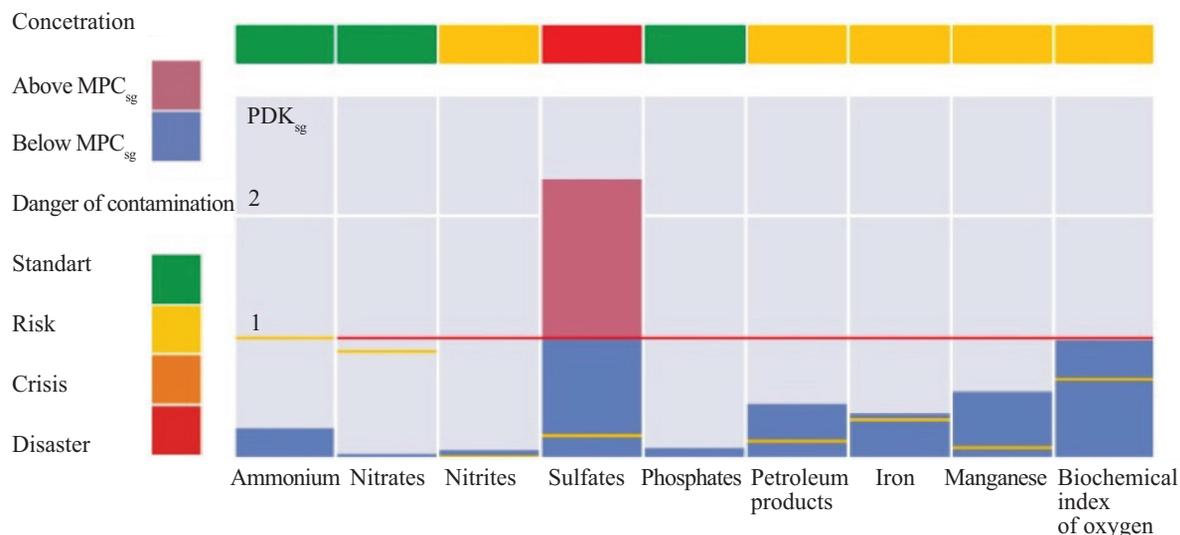


Fig. 4. Water pollution hazard assessment by main indicators for the Gruzskaya Elanchik River (2006): MPC_{sg} — sanitary-hygienic maximum permissible concentrations

of the population, agriculture and processing industry. The amount of such waters in the region is growing from year to year. The priority pollutants of surface waters in the region are sulphates and biogenic substances (nitrogen and phosphorus compounds), as well as other organic substances.

Phosphate, ammonium nitrogen and nitrate nitrogen spikes are also recorded in the selected specimens. Discharges of phosphates are observed near Vitava village (63 km from the source), ammonium nitrogen near Rosa Luxemburg village (76 km from the source), Guselshchikovo village (85.7 km from the source), Novoazovsk town (89.6 km from the source); nitrate nitrogen is recorded near the source: village. Pobeda village (8 km from the source), Glinki village (15 km from the source), and closer to the mouth in Guselshchikovo village (89.6 km from the source). Guselshchikovo village (89.6 km from the source) (Fig. 6). According to the Ministry of Construction of the DNR, there are

no centralized discharges of treated wastewater from settlements (except for the town of Novoazovsk, located at the mouth of the river) along the entire course of the Gruzskaya Elanchik River. There are no centralized discharges of treated wastewater from settlements (except Novoazovsk located at the river mouth). There is a poultry farm near the village of Rozy Luxemburg, which may be the reason for the increase in ammonium nitrogen concentrations in the river reach after 76 km along the channel (Fig. 6, c).

Specimens collected from the whole river channel were classified according to such parameters as: water temperature, pH, turbidity, salinity, PO₄, NH₄, NO₃, water classification according to pH, water characterization according to total salinity, water characterization according to transparency. Additionally in laboratory conditions analyses of water from the source, tributary inlets and estuary were carried out according to the classifiers: colour, odour, permanganate oxidizability, total hardness; content: calcium (Ca²⁺), magnesium (Mg²⁺), sodium + potassium (Na⁺ + K⁺), hydrogen carbonate (HCO₃⁻), chlorides (Cl⁻), sulphates (SO₄²⁻), boron (B³⁻), fluorine (F⁻), total iron, manganese, aluminium, hydrogen sulphide (Table 5, 6).

The presented results characterize the water object from the point of view of its suitability for household and drinking water supply as poorly suitable. Increased mineralization, general hardness of water, high content of sulphates dictates necessity of the device of systems of correction of ionic composition of water in the process of treatment for bringing it to the quality regulated by SanPiN 1.2.3685–21. Measures to correct ionic composition in the process of water treatment are rather expensive [9, 10] and require comprehensive technical and economic justification. It should be noted that increased mineralization and hardness are typical for

	MPC _{sg} Sanitary and hygienic maximum permissible concentrations, mg/l	MPC _f Fishery maximum permissible concentration, mg/l
Ammonium	–	0.500
Nitrates	45.00	40.00
Nitrites	3.300	0.080
Sulfates	500.0	100.0
Phosphates	3.500	–
Petroleum products	0.300	0.050
Iron	0.300	0.100
Manganese	0.100	0.010
Biochemical oxygen consumption	3.000	2.000

Fig. 5. Ecological assessment of water condition in the Gruzskaya Elanchik River in 2006: MPC_f — fishery maximum permissible concentrations

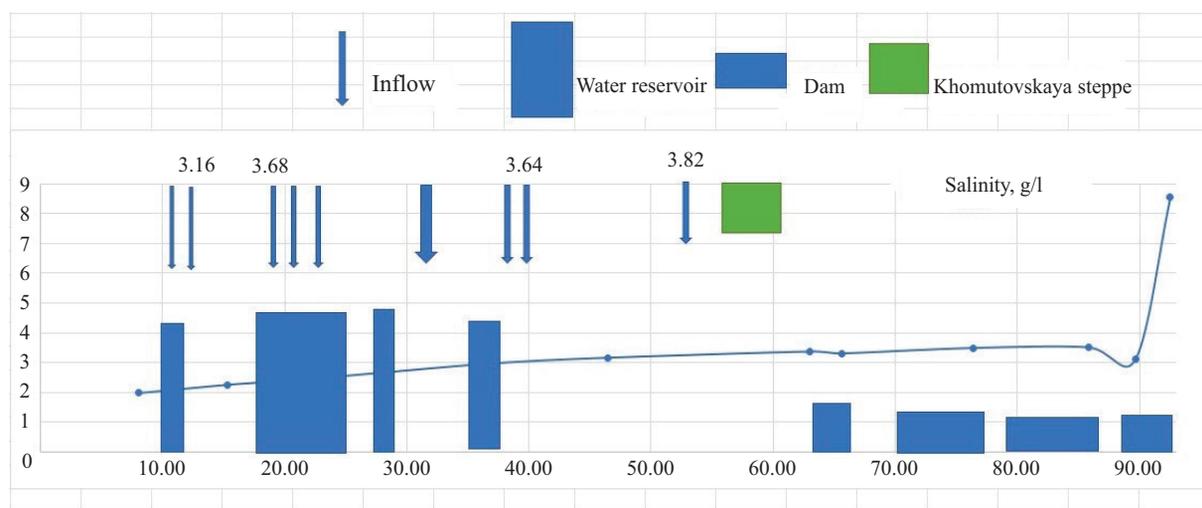
small rivers of the Azov region [1] and are caused by natural conditions of formation of such water bodies.

Some decrease in salinity within the city of Novoazovsk is explained by the discharge of treated domestic wastewater with lower salt content and dilution of the river flow. This phenomenon is also typical for water bodies of low-water Donbass, when the necessary volumes of water for drinking water supply are not taken from the local water source, but transported over considerable distances from full-water bodies (Seversky Donets River, Don River).

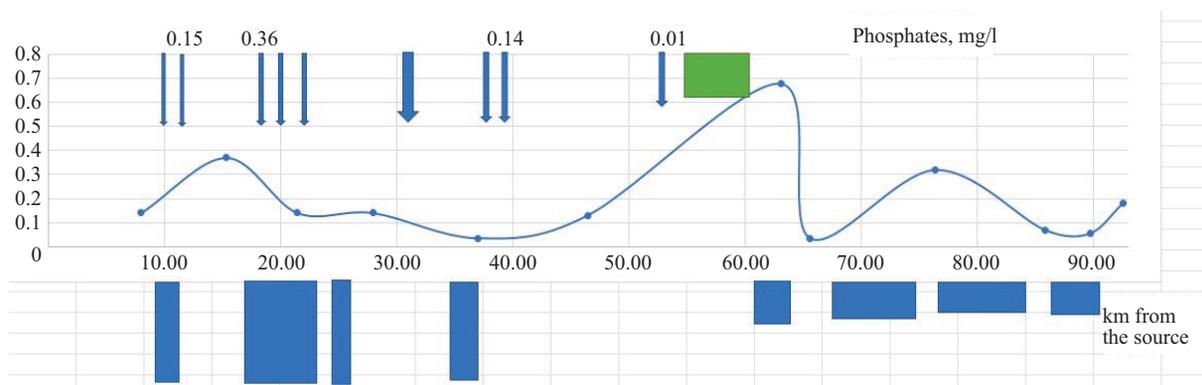
In addition, it was found that, in relation to the data given in the Report on the State of the Environment in Donetsk Oblast (2007), there is currently some stabiliza-

tion of the water body in terms of the content of biogenic elements. Thus, increased pollution by substances containing nitrogen and phosphorus is observed only within clearly defined discharge sources — Novoazovsk poultry farm (ammonium nitrogen) and Novoazovsk city (nitrate nitrogen, as a consequence of possible deficiencies in the organization of the denitrification process at the city treatment facilities). The improvement of the environmental characterization of the site in this respect is associated with the reduction of the intensity of economic activity in the region over the past decade.

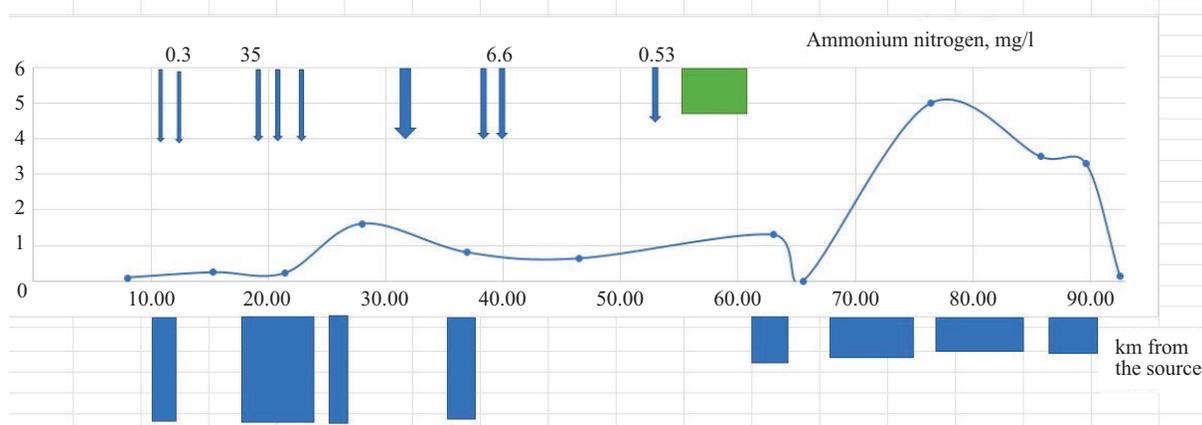
In the course of the study, a gradation was developed for hydraulic engineering facilities located in



a



b



c

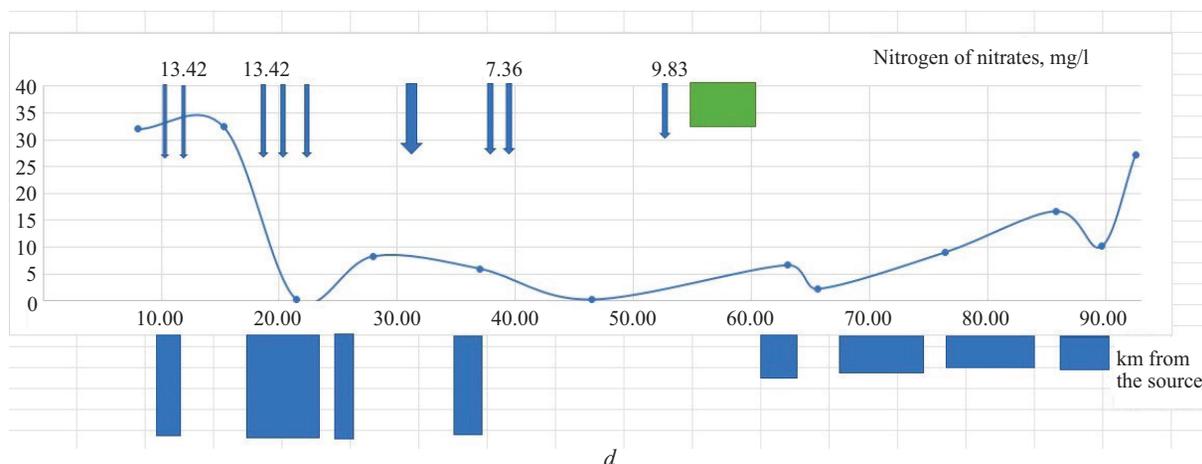


Fig. 6. Selected specimens: *a* — by salt content; *b* — by phosphate content; *c* — by ammonium nitrogen content; *d* — by nitrate nitrogen content

Table 5. Laboratory analyses of water of the estuary, tributaries and source

Indicators	Number 1 Source		Number 2 Mouth		Number 3 Garden Number 19	
	mmol/d ³	mg/dm ³	mmol/d ³	mg/dm ³	mmol/d ³	mg/dm ³
Colour	–	34.5	–	75	–	69
pH, units.	–	7.86	–	7.7	–	7.9
Odour, scores	–	3	–	3	–	4
Permanganate oxidisability	–	1.44	–	5.2	–	8.32
Total hardness	20.9	–	36.3	–	36.8	–
Calcium (Ca ²⁺)	12.9	258	19	380	18.6	372
Magnesium (Mg ²⁺)	8	97.6	17.3	207.6	8.2	98.4
Sodium + potassium (Na ⁺ + K ⁺)	5.25	120.75	9.7	223.1	11.2	257.6
Hydrogencarbonate (HCO ₃ ⁻)	6.15	375.15	4.5	274.5	3.5	213.5
Chlorides (Cl ⁻)	8	283.6	17.8	631.1	17	602.7
Sulphates (SO ₄ ²⁻)	12	576	23.7	1137.6	27.5	1320
Boron (B ⁻)	–	0.59	–	1.32	–	1.3
Fluorine (F ⁻)	–	1.37	–	1.06	–	1.4
Colour	–	n/a ND	–	n/a ND	–	n/a ND
Colour	–	n/a ND	–	n/a ND	–	n/a ND
Colour	–	n/a ND	–	n/a ND	–	n/a ND
Colour	–	n/a ND	–	n/a ND	–	n/a ND
Total mineralization (estimated)	–	1,713.1	–	2,856.3	–	2,866.9

the river basin, presented in Table 7. For each facility, according to the gradation, numerical and informative indicators were filled in the “Database of water management facilities in the basin of the Gruzskaya Elanchik River”.

The strategy for sustainable operation and maintenance of HS is initiated before design and optimized during their lifetime [11], which stabilizes the environment and economy. Consequently, improper operation and maintenance of HS can lead to casualties, economic losses and environmental damage [12]. Currently, none

of the structures are not operated as intended, there is no operation service on them, and they are not monitored. Thus, the authors detected a pipe break at Mikhailovsky I reservoir (Fig. 7, 8). Detection of defects should start in the process of operation and maintenance of HS. Factors influencing deterioration of structural properties of hydraulic systems should be identified and immediately eliminated. Alternatively, non-destructive testing can be of great importance for detecting ageing of HS. Such inspection is a direct and indirect assessment of information on the condition of the HS. This is

Table 6. Analysis of surface waters of the river Gruzskaya Elanchik

Name	Water temperature, °C	pH	Turbidity	Mineralization, g/dm ³	PO ₄ ³⁻ , mg/dm ³	NH ₄ ⁺ , mg/dm ³	NO ₃ ⁻ , mg/l	pH indicator	Water characteristic by total salinity	Water characterisation by transparency
Specimen 1 (mouth)	27.1	8.07	23.82	8.54	0.18	0.15	27.2	Slightly alkaline	Salty	Medium turbidity
Specimen 2 (Bridge 1)	26.6	8.06	13.8	3.11	0.054	3.3	10.1	Slightly alkaline	Salty	Turbid
Specimen 3 (Bridge 3)	26	7.87	14.14	3.51	0.07	3.5	16.69	Slightly alkaline	Salty	Turbid
Specimen 4 (Bridge 4)	25.8	7.82	22.9	3.49	0.32	5	8.99	Slightly alkaline	Salty	Medium turbidity
Specimen 5 (Aleksandrovka)	26.8	7.98	6.51	3.18	–	–	–	Slightly alkaline	Salty	–
Specimen 6 (Bridge 5)	26	7.87	6.15	3.31	0.035	0	2.17	Slightly alkaline	Salty	Very turbid
Specimen 7 (Bridge 6)	22.4	7.3	37.6	3.37	0.68	1.3	6.61	Neutral	Salty	Transparent
Specimen 8 (pond 1)	26.6	7.92	31.7	3.82	0.01	0.53	9.83	Slightly alkaline	Salty	Transparent
Specimen 9	24.2	7.34	8.9	3.16	0.13	0.63	0.19	Weakly alkaline	Slightly alkaline	Very turbid
Specimen 10 (Bridge 8)	26.3	7.98	4.2	2.97	0.035	0.8	5.97	Weakly alkaline	Slightly alkaline	Very turbid
Specimen 11 (Kuznetsovo-Mikhailovsky Reservoir)	26	7.95	–	2.66	0.14	1.61	8.28	Slightly alkaline	Weakly alkaline	–
Specimen 12 (Shevchenko reservoir)	26.2	6.71	14.89	2.43	0.14	0.22	0.2	Neutral	Slightly neutral	Turbid
Specimen 13 (tributary/above Shevchenkovo)	18.4	7.66	5.42	3.68	0.36	7.08	35	Slightly alkaline	Salty	Very turbid
Specimen 14 (Bridge 11)	24.5	6.8	14.23	2.25	0.37	0.24	32.4	Neutral	Slightly neutral	Turbid
Specimen 15 (tributary)	–	–	3.09	3.16	0.15	0.3	13.42	–	Salty	Very turbid
Specimen 16 (bridge 12)	19.6	6.33	3.88	1.97	0.14	0.09	32	Weakly acidic	Slightly acidic	Very turbid

Table 7. Gradation for hydraulic engineering facilities

Name
Coordinates
Name of the municipality where the HS are located
Nearest settlement
Total volume, mln m ³
Usable volume, mln m ³
Mirror area at normal retaining level, km ²
NRL mark, m
FBL mark, m
DVL mark, m
Maximum water discharge, m ³ /s
Water flow
Type of flow regulation
Designation
Dam material
Crest elevation, m
Slope embedment
Slope bracing
Length, km
Reservoir width maximum, km
Reservoir width average, km
Reservoir depth maximum, m
Reservoir depth average, m
Dam crest length, m
Dam width by design, m
Dam width actual, m
Dam height, m
Year of commissioning/year of overhaul
Availability of project documentation
Availability of maintenance service
Balance holder
Composition of facilities
Assessment of safety level for the survey period

necessary in order to be able to intervene immediately and avoid serious consequences. The indirect assessment of ageing should be done by monitoring the effects and consequences of ageing [13]. It is well known that all structural materials have a limited life span and can be affected by the environment [14]. The ageing prevention phase of the HS consists of detailed analyses



Fig. 7. Breakthrough of the mine spillway pipe at the Mikhailovsky I reservoir

to determine the safety of the structure and its economic condition. The importance of water storage and utilization for the region cannot be overemphasized and therefore the maintenance and safe operation of the HS is critical. Structures must not leak or collapse; canals and reservoirs must be clean and free of siltation. Breakage or failure of HS can lead to waterlogging and downstream flooding, and collapse of the earth dam can lead to flooding and erosion [15, 16].

MATERIALS AND METHODS

The work is based on actual material collected in field studies in the basin of the Gruzskaya Elanchik River in the DNR. The design, construction and operational documentation of the complexes of structures was analyzed and their structural elements were assessed according to the current norms and rules^{16, 17, 18, 19, 20}.

Monitoring of the technical condition of hydraulic structures located in the territory of the Gruzskaya Yelanchik River basin included a detailed examination of their technical condition as part of operational control.

Monitoring is carried out in order to make management decisions by:

- providing objective information on the condition of the structures;

¹⁶ SP 58.13330.2019. Hydraulic engineering structures. Basic provisions. Revision of SNiP 33-01–2003 : introduced 17.06.2020. URL: <http://docs.cntd.ru/document/564542210>

¹⁷ GOST 31937–2011. Buildings and structures. Rules for inspection and monitoring of technical condition : introduced 01.01.2014.

¹⁸ Approval of criteria for classification of hydraulic structures : Resolution of the Government of the Russian Federation of 05.10.2020 No. 1607. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74632297/>

¹⁹ State control (supervision) and municipal control in the Russian Federation : Federal Law of 31.07.2020 No. 248-FZ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_358750/

²⁰ Protection of the Rights of Legal Entities and Individual Entrepreneurs in the Implementation of State Control (Supervision) and Municipal Control : Federal Law of 26.12.2008 No. 294-FZ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_83079/



Fig. 8. Upper slope of the dam, shaft spillway

- ensuring operational control and control over the condition indicators of structures;
- informational support of forming a list of structures subject to repair and reconstruction;
- specification of the main dimensions of structural elements;
- inspection of visible parts of the construction of structures to identify defects; preparation of defect lists;
- identification of the presence and size of defects;
- ranking of structures according to the degree of danger.

Safety management with the help of databases (DB) is proposed; they allow to identify the most crisis zones, where it is necessary to implement measures to improve the environmental situation [17, 18]. The creation of a catalogue of watercourses and the corresponding database can potentially provide a solution to the problems of environmental management optimization in small river basins [19].

Based on the results of the author's research, a structure for the formation of databases of water management objects by criterion values, technical condition and safety level assessment was compiled.

RESEARCH RESULTS

Based on the generalization of the conducted research, a system for data collection of water management objects in the river basin was developed. The database contains processed information: parameters of the structure, functional purpose, morphometric features, geomorphological features, physico-chemical studies of water specimens, assessment of technical condition. The database represents a systematized array of construction information with the possibility of filtering and sorting of structures by various parameters such as: "Name", "Coordinates", "Name of the municipality where the hydraulic structures are located", "Nearest settlement", "Volume full, mln m³", "Volume useful, mln m³", "Mirror area at normal retaining level, km²", "Normal Retaining Level (NRL) mark, m", "Forced Backwater Level (FBL) mark, m", "Dead Volume Level (DVL) mark, m", "Maximum water discharge, m³/s", "Water flow", "Type of flow regulation", "Purpose", etc. [20].

Information for determining the degree of environmental safety, compiled on the basis of field survey results, systematizing information on water management facilities in the river basin, was collected: investigations of operating construction facilities were carried out; certified instruments and equipment were used, ensuring the accuracy and reproducibility of the results; the obtained data were analyzed and the results were evaluated; an assessment of the technical condition and safety level, according to the current codes and regulations, at the time of the survey was made.

CONCLUSION AND DISCUSSION

Donbass is a low-water region, and therefore the problem of water conservation remains extremely acute for the inhabitants of the republic. The water re-

sources of the administrative centre of the DNR are constantly affected by the anthropogenic impact of the city's industrial potential. Various industries (metallurgical, coke and chemical, coal) are concentrated in the DNR, hence the deterioration of the environment, including land and water bodies. Water supply to the population of the DNR is 85 % provided by surface water sources and about 15 % by underground water sources. Given that almost all cities and towns of the DNR are located in areas mined by coal mines, some of which were flooded and destroyed during the hostilities (Oktyabrskaya and Trudovskaya mines in Donetsk; Komsomolets Donbassa in Kirovske), the flow of mine wastewater into surface and underground water sources is an acute environmental and hygienic problem [21].

Unstable water supply has been a problem for residents of the DNR for two years. As of today, despite the approved schedule of water supply every two days, many homes remain without water supply, as they have been for the past two years. And such restrictions have affected not only the frontline districts; in the rear of Donetsk, pumps cannot cope with the supply of water to the upper floors of high-rise buildings, whose residents have to replenish their supplies from delivery vehicles every few days; the private sector suffers because of worn-out pipes. This is due to a complex of factors: accidents on the water and heat supply networks, as well as regular power outages at facilities, which lead to the shutdown of technological equipment and hydraulic shocks on the networks.

The main source of water supply for the DNR is currently the Don – Donbass water pipeline, built in 2023. The pipeline has a capacity of 300,000 m³ of water per day and supplies water to Gorlovsk, Donetsk and Yenakieve industrial areas, including the cities of Donetsk, Makeyevka, Khartsyzsk, Shakhtersk, Kirovske and Torez. Until 2022, the DNR was supplied with water through the Seversky Donets-Donbass canal, but it was critically damaged during the fighting.

The Don – Donbass conduit withdraws 0.1095 km³ of water per year, which is 0.54 % of the average annual flow of the Don River near Razdorskaya village over the last 70 years (from 1952 to 2022), significantly less than the maximum annual flow of the Don River, which is 0.29 % for the highest-water year (1979) and 1.15 % for the lowest-water year (2020) over this period. Thus, the Don-Donbass water pipeline provides a stable water supply for the DNR, but its capacity is limited and cannot fully solve the problem of water scarcity in the region.

More than 800 hydraulic structures are concentrated in the republic, but they are not operated safely according to Russian law.

The studies carried out in the basin of the Gruzskaya Yelanchik River allowed outlining the main range of aspects of the state of water resources characteristic of the region in terms of the safety of operation of HS, the ecological condition of small rivers in Donbas, and the peculiarities of water use on the territory of the new regions of the Russian Federation.

REFERENCES

1. Volosukhin V.A., Fesenko L.N., Rozhkov V.S. Problems of water supply in new subjects of the Russian Federation. *Modern problems of hydraulics and hydraulic engineering : collection of abstracts of the VII All-Russian scientific and practical seminar*. 2024; 116-117. EDN PSGKVW. (rus.).
2. Matishov G.G., Grigorenko K.S. Chemical composition of water along the seashore and front delta of the don river under low-water conditions (20th-21st centuries). *Doklady Earth Sciences*. 2021; 499(2):193-202. DOI: 10.31857/S2686739721080077. EDN NWPFYM. (rus.).
3. Zhukova S.V., Mirzoyan A.V., Shishkin V.M., Podmareva T.I., Lutynskaya L.A., Taradina E.A. et al. Possible scenarios for the formation of the continental runoff and the salinity of the azov sea, taking into account the current and future trends in climate change. *Aquatic Bioresources & Environment*. 2023; 6(4):7-30. DOI: 10.47921/2619-1024_2023_6_4_7. EDN WQWAHX. (rus.).
4. Elizarova O.V. Analysis of water quality from sources of centralized water supply of the DPR in modern conditions. *Archive of clinical and experimental medicine*. 2023; 32(4):32-35. (rus.).
5. Pourmahmoud J., Shahdany S.M.H., Roozbahani A. Practical drought risk assessment and management framework: A step toward sustainable modernization in agricultural water management. *Journal of Hydrology*. 2024; 644:132121. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2024.132121
6. Lou H., Li H., Yang S., Wang X., Pan Z., Zhang Y. et al. River discharge recovery lag in the small and medium-sized rivers occurred in response to climate change and human activities. *Journal of Hydrology*. 2023; 620:129453. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2023.129453
7. Foroumandi E., Nourani V., Kantoush S.A. Investigating the main reasons for the tragedy of large saline lakes: Drought, climate change, or anthropogenic activities? A call to action. *Journal of Arid Environments*. 2022; 196:104652. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2021.104652
8. Wray N., Bowie D., Pattison I., Angeloudis A., Beevers L. Disentangling climate change & land use change effects on river flows: A probabilistic approach. *Journal of Hydrology*. 2024; 639:131665. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2024.131665
9. Lurie P.M., Panov V.D. *Rivers of the Azov Sea basin*. Rostov-on-Don, Don Publishing House, 2021; 670. (rus.).
10. Panagopoulos A. Water-energy nexus: desalination technologies and renewable energy sources. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021; 28(17):21009-21022. DOI: 10.1007/s11356-021-13332-8
11. Wang S., Gu C., Liu Y., Gu H., Xu B., Wu B. Displacement observation data-based structural health monitoring of concrete dams : a state-of-art review. *Structures*. 2024; 68:107072. DOI: 10.1016/j.istruc.2024.107072
12. Xu B., Rong Z., Pang R., Tan W., Wei B. A novel method for settlement imputation and monitoring of earth-rockfill dams subjected to large-scale missing data. *Advanced Engineering Informatics*. 2024; 62:102642. DOI: 10.1016/j.aei.2024.102642
13. Lu Y., Wu Z. A vine-copulas based multi-sensor fusion structural damage monitoring method and its application in dam engineering. *Applied Soft Computing*. 2024; 167:112356. DOI: 10.1016/j.asoc.2024.112356
14. Ai Z., Ma G., Zhang G., Liu R., Deng S., Chang X. Multi-source monitoring data filtering assisted deformation analysis model updating of ultra-high rockfill dam. *Computers and Geotechnics*. 2024; 171:106323. DOI: 10.1016/j.compgeo.2024.106323
15. Slesarev M.Yu., Ivankova T.V., Fesenko L.N. Condition of reclamation construction facilities in the basin of the small alma river of the republic of Crimea. *Ecology of Urban Areas*. 2022; 1:15-22. DOI: 10.24412/1816-1863-2022-1-15-22. EDN OQNXdN. (rus.).
16. Ivankova T.V. *Ensuring environmental safety of natural and technical systems of small river basins in the conditions of the Crimean Peninsula : monograph*. Moscow, Infra-M, 2023; 171. DOI: 10.12737/1903315. EDN SGVKPV. (rus.).
17. Lu Y., Li Y., Fang G., Deng M., Sun C. Ecological risk assessment and management for riverfront development along the Yangtze River in Jiangsu Province, China. *Ecological Indicators*. 2023; 155:111075. DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.111075
18. Vitale C. Understanding the shift toward a risk-based approach in flood risk management, a comparative case study of three Italian rivers. *Environmental Science & Policy*. 2023; 146:13-23. DOI: 10.1016/j.envsci.2023.04.015
19. Qin X., Gu C., Guo J., Yuan D., Shao C., Chen X. Load combination feedback of fracture in concrete dams based on monitoring data with simplified fuzzy association rules. *Structures*. 2023; 47:2354-2364. DOI: 10.1016/j.istruc.2022.12.056
20. Certificate of registration of the database RU No. 2024624777. *Database of water management facilities in the basin of the Gruzskaya Elanchik River* / T.V. Ivankova; applicant and copyright holder T.V. Ivankova; registration date 10/30/2024.
21. Golovatenko E. Assessment of the state of water resources in the Donetsk region. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2023; 5(163):118-125. EDN QEFPGS. (rus.).

Received October 15, 2024.

Adopted in revised form on November 15, 2024.

Approved for publication on November 15, 2024.

B I O N O T E S : **Tat'yana V. Ivankova** — Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, of the Department of Water Management, Engineering Networks and Environmental Protection; **M.I. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)**; 132 Prosveshcheniya st., Rostov Region, Novocherkassk, 346428, Russian Federation; ID RSCI: 47991684, Scopus: 57209806818, ORCID: 0000-0003-0902-9670; academy-design@mail.ru;

Lev N. Fesenko — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Water Management, Engineering Networks and Environmental Protection; **M.I. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)**; 132 Prosveshcheniya st., Rostov Region, Novocherkassk, 346428, Russian Federation; ID RSCI: 461079, Scopus: 6603681244, ORCID: 0000-0001-6570-0460; 65613@mail.ru;

Vitalii S. Rozhkov — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Water Supply, Sanitation and Water Resources Protection; **Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture (DonNACEA)**; 2 Derzhavina st., Donetsk People's Republic, Makeyevka, 286123, Russian Federation; ID RSCI: 584962, Scopus: 56825406700; v.s.rozhkov@donnasa.ru.

Contribution of the authors:

Tat'yana V. Ivankova — collection and processing of material, development of databases, writing methodology, source text and its revision in accordance with the provided adjustments, formation of results and conclusions.

Lev N. Fesenko — scientific guidance, research concept, development of methodology, revision of the text, final conclusions.

Vitalii S. Rozhkov — analyses of water samples, revision of the text, formation of results and conclusions.

The authors declare that they have no conflict of interest.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 69.059

DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.8

Влияние технологий информационного моделирования зданий на эффективность оперативной работы управляющих организаций

Павел Павлович Олейник, Дмитрий Александрович Матвеев
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Исследование посвящено влиянию технологий информационного моделирования зданий (ТИМ) на эффективность оперативного управления недвижимостью. В условиях цифровизации и усложнения процессов эксплуатации зданий актуально применение интегрированных цифровых платформ, способных улучшить координацию между управляющими организациями, техническим персоналом и жильцами. Научная новизна работы заключается в комплексном анализе влияния ТИМ на сокращение времени реагирования, оптимизацию технического обслуживания и снижение эксплуатационных затрат. Цель исследования — оценить воздействие ТИМ на эффективность оперативной деятельности и выявить ключевые факторы, влияющие на успешное внедрение таких технологий.

Материалы и методы. Применен смешанный метод, объединяющий качественный и количественный анализ данных, собранных в период с 2022 по 2024 г. Информация получена посредством кейс-исследований, анкетирования, интервью и наблюдений за эксплуатационными показателями зданий. Для оценки изменений использовались статистические методы (включая парные t-тесты) и тематический анализ, что обеспечило триангуляцию данных и объективную интерпретацию результатов.

Результаты. Внедрение ТИМ позволило сократить время отклика на заявки на 35 %, снизить эксплуатационные затраты на 20 % и уменьшить энергопотребление на 15 %. Кроме того, цифровизация процессов обеспечила значительное повышение удовлетворенности жильцов за счет прозрачности обслуживания и улучшенной коммуникации между заинтересованными сторонами.

Выводы. Полученные результаты подтверждают высокую эффективность применения ТИМ в оперативном управлении недвижимостью. Исследование демонстрирует, что интеграция ТИМ способствует оптимизации процессов, снижению затрат и повышению энергоэффективности. Рекомендуется дальнейшая интеграция ТИМ с технологиями IoT и искусственным интеллектом, а также развитие обучающих программ для персонала, что позволит обеспечить устойчивое и эффективное управление объектами недвижимости.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТИМ, оперативное управление, управление недвижимостью, управление жизненным циклом, цифровая трансформация, управление объектами, прогнозное обслуживание

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Олейник П.П., Матвеев Д.А. Влияние технологий информационного моделирования зданий на эффективность оперативной работы управляющих организаций // Строительство: наука и образование. 2025. Т. 15. Вып. 2. Ст. 8. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.8

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Александрович Матвеев, izdatelstvo.asv@gmail.com.

The impact of building information modelling (BIM) technologies on the efficiency of operational management of property management organizations

Pavel P. Oleynik, Dmitry A. Matveev
Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The study is devoted to the impact of Building Information Modelling (BIM) technologies on the operational efficiency of property management. In an era marked by digitalization and increasingly complex building operations, the use of integrated digital platforms that enhance coordination among property management companies, technical personnel, and residents has become essential. The novelty of this work lies in its comprehensive analysis of BIM's impact on reducing response times, optimizing maintenance procedures, and lowering operational costs. The objective of the study is to assess the influence of BIM on operational performance and to identify the key factors affecting the successful implementation of such technologies.

Materials and methods. A mixed-methods approach was employed in this study, combining both qualitative and quantitative analyses of data collected between 2022 and 2024. Data were gathered through case studies, surveys, interviews, and

observations of building performance metrics. Statistical methods, including paired t-tests, alongside thematic analysis, were utilized to evaluate changes, ensuring robust data triangulation and an objective interpretation of the results.

Results. The implementation of BIM resulted in a 35 % reduction in response times for service requests, a 20 % decrease in operational costs, and a 15 % reduction in energy consumption. Moreover, the digitalization of processes significantly increased tenant satisfaction through enhanced service transparency and improved communication among stakeholders.

Conclusions. The findings confirm the high effectiveness of utilizing BIM in the operational management of property. The study demonstrates that BIM integration contributes to process optimization, cost reduction, and improved energy efficiency. It is recommended that further integration of BIM with IoT and AI technologies be pursued, along with the development of comprehensive training programs for personnel, to ensure sustainable and efficient management of real estate assets.

KEYWORDS: BIM, operational management, property management, lifecycle management, digital transformation, facilities management, predictive maintenance

FOR CITATION: Oleynik P.P., Matveev D.A. The impact of building information modelling (BIM) technologies on the efficiency of operational management of property management organizations. *Construction: Science and Education*. 2025; 15(2):8. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.8

Corresponding author: Dmitry A. Matveev, izdatelstvo.asv@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Управление недвижимостью, особенно жилых зданий, становится все более сложным процессом, требующим интеграции современных технологий для повышения эффективности и устойчивости. Цифровизация жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) является одним из приоритетов развития в Российской Федерации¹ [1, 2], как и во всем мире [3–5]. Технологии информационного моделирования зданий (ТИМ) представляют собой технологический прорыв, способный трансформировать традиционные методы оперативного управления [3]. Цифровизация ЖКХ дает возможность связать в единое информационное поле процессы взаимодействия и предоставления отчетности на всех уровнях управления. Обеспечивая полное цифровое представление о построенной среде, ТИМ облегчает принятие решений в реальном времени, снижает информационные барьеры и улучшает координацию между заинтересованными сторонами [4].

Внедрение ТИМ наиболее актуально в условиях повышенных требований к устойчивости, энергоэффективности и оптимизированному функционированию зданий. ТИМ предлагает интегрированное решение, охватывающее различные аспекты управления недвижимостью: от технического обслуживания и ремонта до взаимодействия с жильцами и мониторинга энергопотребления [5]. ТИМ также предоставляет платформу для проактивного обслуживания, позволяя управляющим организациям прогнозировать возможные проблемы до момента их серьезного обострения, тем самым сокращая время простоя и сопутствующие затраты. В связи

с этим понимание влияния ТИМ на операционную эффективность важно для управляющих организаций в их усилиях по сохранению конкурентоспособности на изменяющемся рынке.

Основная цель исследования — оценить влияние ТИМ на операционную эффективность в сфере управления недвижимостью. Специфические задачи включают оценку вклада ТИМ в оптимизацию задач по техническому обслуживанию, улучшение распределения ресурсов и повышение точности данных. Гипотеза исследования предполагает, что интеграция ТИМ в деятельность по управлению недвижимостью может привести к более эффективному принятию решений и снижению эксплуатационных затрат. Анализируя как качественную, так и количественную информацию, предприняты попытки сформировать комплексное понимание того, как ТИМ может улучшить общий процесс управления и создать ощутимые преимущества для заинтересованных сторон [6].

Кроме того, исследование рассматривает роль ТИМ в улучшении взаимосвязей между участниками процесса эксплуатации зданий, включая управляющих недвижимостью, технический персонал и жильцов. Эффективное взаимодействие важно для успешного управления этим процессом, и возможность ТИМ служить централизованным хранилищем данных способствует достижению прозрачности и подотчетности. Это же относится к влиянию ТИМ на управление энергопотреблением, сосредотачиваясь на том, как ТИМ можно применять для мониторинга и оптимизации использования энергии, способствуя устойчивому развитию соответствующей среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Применен смешанный метод, сочетающий качественный и количественный анализ. Информацию собирали в рамках серии кейс-исследований, включающих управляющие компании, внедрившие ТИМ в свою деятельность. Исследования проводились в период с 2022 по 2024 г. в ходе работы

¹ План мероприятий («дорожная карта») по использованию технологий информационного моделирования при проектировании и строительстве объектов капитального строительства, а также по стимулированию применения энергоэффективных и экологических материалов, в том числе с учетом необходимости их производства в Российской Федерации : утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 20.12.2021 № 3719-р.

над магистерской диссертацией, подготовленной в НИУ МГСУ, и включали анкетирование управляющих организаций, технического персонала и других заинтересованных сторон, участвующих в эксплуатации жилых зданий. Кейс-исследования представили подробную информацию о практическом применении ТИМ и их влиянии на оперативную эффективность.

Количественные данные были получены из эксплуатационных показателей, зафиксированных до и после внедрения ТИМ. В состав исследованных показателей входили время отклика на заявки по техническому обслуживанию, затраты на ремонт, уровень удовлетворенности жильцов и данные о потреблении энергии [7]. Эти метрики выбраны для создания комплексного представления об оперативной эффективности, охватывающего как финансовые, так и нефинансовые аспекты управления недвижимостью. Например, время отклика на заявки измерялось в часах, а уровень удовлетворенности собственников оценивался по шкале от 1 до 5. Сведения о потреблении энергии получены из систем управления зданием, интегрированных с ТИМ, что позволило выполнить мониторинг в реальном времени и анализировать исторические данные.

Качественные данные собраны в ходе углубленных интервью с ключевыми заинтересованными сторонами, имевших целью понять восприятие преимуществ и проблем, связанных с внедрением ТИМ в оперативное управление. Вопросы интервью фокусировались на таких аспектах, как изменения в эффективности рабочих процессов, улучшение коммуникации и общее влияние на удовлетворенность собственников. Дополнительно проводились обсуждения в фокус-группах с техническими командами для получения их отзывов о ТИМ-инструментах, включая удобство доступа к информации и влияние на повседневные задачи.

Аналитическая структура исследования включала статистический анализ количественных сведений и тематический анализ качественных данных интервью. Статистический анализ включал парные t-тесты для оценки значимости наблюдаемых изменений [8], а качественный анализ осуществлялся с использованием программного обеспечения NVivo для категоризации и интерпретации ответов на интервью. Смешанный подход обеспечил полное понимание как измеримых результатов, так и субъективных впечатлений, связанных с внедрением ТИМ [9]. Комбинация количественных и качественных данных позволила более детально оценить влияние ТИМ на операционную эффективность.

С целью повышения надежности данных была применена триангуляция, предполагающая использование нескольких источников информации или подходов для перекрестной проверки результатов, что способствует увеличению валидности полученных сведений. Объединив данные опросов, интервью и по-

казатели эффективности, предпринимались усилия провести сбалансированный и обоснованный анализ результатов внедрения ТИМ. Кроме того, наблюдения собирали в ходе посещения объектов для лучшего понимания ежедневного использования ТИМ-инструментов техническим персоналом и управляющими. Эти наблюдения предоставили контекстуальную информацию, дополнившую количественные метрики и качественные интервью.

В составе методологии предусмотрено сравнение внедрения ТИМ с традиционными методами управления, охватывая контрольную группу управляющих организаций, которые еще не внедрили ТИМ. Это позволило создать более четкое представление о преимуществах и проблемах, связанных с применением ТИМ на этапе эксплуатации. Соответствующий сравнительный анализ помог выделить области, где ТИМ приносит наибольшие улучшения, а также области, где традиционные методы сохраняют определенные преимущества.

Отслеживая изменения на протяжении длительного периода, удалось зафиксировать тенденции и улучшения, которые могли быть неочевидны сразу. Такой подход также позволил создать представление об устойчивости преимуществ ТИМ, включая возможность сохранения или увеличения начальных улучшений в эффективности, экономии затрат и удовлетворенности собственников со временем. «Продольный» аспект исследования был важен для понимания динамики интеграции ТИМ и их долгосрочной перспективности как инструмента для оперативного управления.

Использование как качественных, так и количественных данных дало возможность провести триангуляцию, повышая надежность выводов. Смешанный подход также позволил выявить закономерности, которые могли быть неочевидны из одного источника данных (табл. 1). Например, в то время как количественные данные показали снижение затрат на обслуживание, качественные сведения выявили, что персонал технического обслуживания считал инструменты ТИМ полезными для более эффективного планирования и приоритизации задач.

Методология также исследовала использование геоинформационных систем (ГИС) в сочетании с ТИМ для усиления пространственного анализа объектов недвижимости. ГИС была интегрирована с моделями ТИМ для визуализации географического распределения потребностей в обслуживании и распределения ресурсов, обеспечивая более полное представление об операционном ландшафте. Эта интеграция позволила управляющим организациям оптимизировать логистику, такую как распределение команд технического обслуживания по различным локациям на основе пространственной близости и срочности задач.

Кроме того, в исследовании рассматривались процессы обучения и адаптации, необходимые

Табл. 1. Сводка источников данных и методов

Тип данных	Источник	Метод
Количественные	Записи о техобслуживании	Статистические тесты
Качественные	Интервью с заинтересованными сторонами	Тематический анализ
Смешанные	Опросы арендаторов	Описательная статистика

для успешного внедрения ТИМ. Детальные записи о сессиях обучения, включая отзывы участников и оценку навыков, проанализированы для понимания эффективности различных подходов к обучению. Этот анализ подчеркнул важность практического, сценарного обучения для того, чтобы персонал полностью осознал практические применения инструментов ТИМ в своих ежедневных задачах. Выводы показали, что хорошо структурированные программы обучения были ключевыми для преодоления сопротивления изменениям и обеспечения того, чтобы все члены команды приобрели компетенции в использовании технологий ТИМ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Внедрение ТИМ (рис. 1) значительно повышает эффективность операций по управлению объектами недвижимости.

Это подтверждают следующие основные результаты:

1. Сокращение времени отклика на заявки по обслуживанию. Способность ТИМ предоставлять актуальное и полное представление о состоянии активов здания привела к сокращению времени отклика примерно на 1/3, что соответствует полученным в работе [10] 35 % по сравнению с традиционными методами (рис. 2).

Это улучшение объясняется централизованным доступом к детализированной информации о системах здания, что позволяет техническому персоналу быстрее выявлять и устранять проблемы². Кроме того, интеграция мобильных устройств

с ТИМ-моделями предоставила командам технического обслуживания возможность получать и обновлять информацию непосредственно на месте, что также сократило время отклика. Сотрудники отметили, что доступ к данным о здании удаленно через планшеты или смартфоны стал значительным преимуществом, особенно в экстренных ситуациях.

ТИМ также предоставил командам технического обслуживания доступ к историческим данным, которые помогли выявлению повторяющихся проблем и реализации долгосрочных решений. Такой проактивный подход к обслуживанию не только сократил время отклика, но и способствовал снижению общих затрат на обслуживание в результате уменьшения частоты повторных сбоев. Интеграция прогнозной аналитики еще больше повысила эффективность операций по обслуживанию, позволяя управляющим объектом предвидеть потенциальные отказы и планировать профилактическое обслуживание.

Цифровые возможности управления активами, предоставляемые ТИМ, также сыграли важную роль в оптимизации операций по обслуживанию. Поддерживая актуальный цифровой инвентарь компонентов здания, управляющие могли легко отслеживать состояние различных активов, таких как системы отопления, водоснабжения и водоотведения (ОВК), лифты и противопожарное оборудование. Соответствующий уровень детализации способствовал более эффективному планированию и распределению ресурсов, гарантируя, что критически важные компоненты получали необходимое внимание до того, как возникали серьезные проблемы. Кроме того, интеграция систем автоматизации зданий с ТИМ облегчила автоматический мониторинг

² BuildingSMART International. IFC Standards for BIM. 2020.

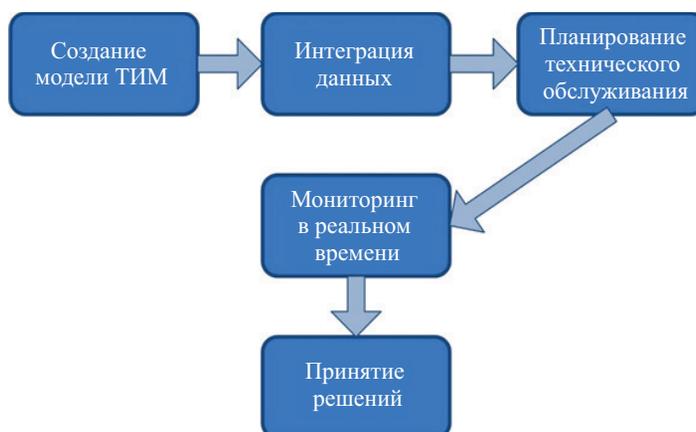


Рис. 1. Схема интеграции ТИМ в управление объектом недвижимости

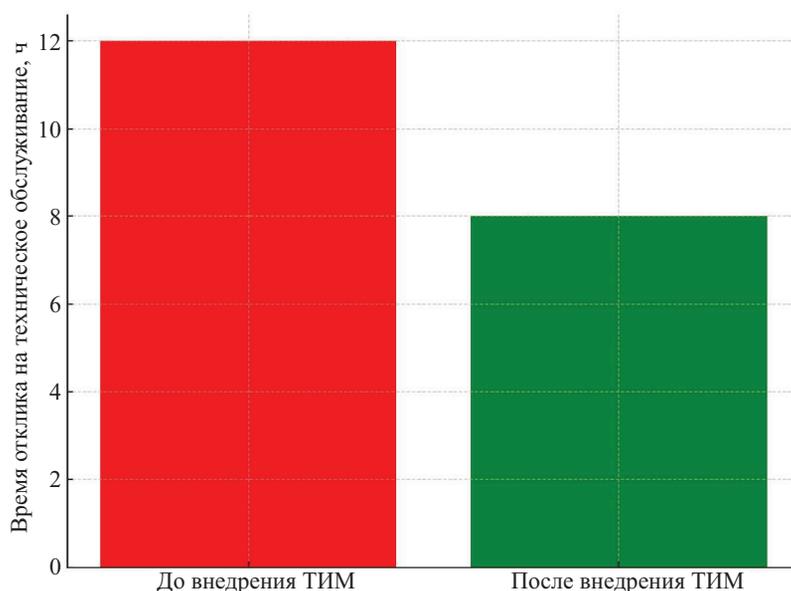


Рис. 2. Время отклика на обслуживание до и после внедрения ТИМ

и раннее выявление отклонений в работе, что значительно сократило время отклика.

2. Снижение затрат. Анализ показал 20%-ное сокращение эксплуатационных затрат благодаря более эффективному планированию обслуживания и оптимизации распределения ресурсов через ТИМ-модели (рис. 3). Прогнозирование потребностей в техническом обслуживании на основе исторических сведений и данных с датчиков помогает ТИМ минимизировать неожиданные поломки и дорогостоящие аварийные ремонты. Аналогичные результаты получены в исследовании [11].

Экономия средств также была достигнута благодаря улучшенному управлению энергопотреблением. ТИМ-модели, интегрированные с системами управления зданием, дали возможность управляющим в реальном времени контролировать потребление

энергии, выявлять неэффективные зоны и внедрять целевые меры по экономии энергии. Например, автоматическое управление системами ОВК на основе данных о занятости помещений поможет снизить потери энергии в непиковые часы. Возможность моделировать различные сценарии повышения энергоэффективности в среде ТИМ позволила управляющим организациям принимать обоснованные решения по модернизации оборудования и обновлению инфраструктуры.

Экономия энергии также может быть достигнута благодаря интеграции систем возобновляемых источников энергии (ВИЭ) с ТИМ-моделью. Солнечные панели и/или другие ВИЭ могут отслеживаться через ТИМ-модель, что позволит управляющим организациям оптимизировать их применение и снизить зависимость от электрической

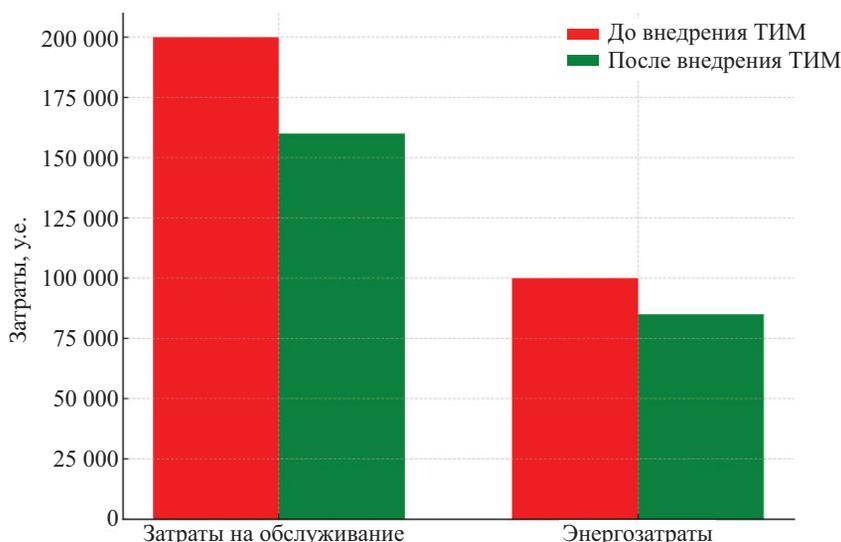


Рис. 3. Анализ затрат на оперативное управление

сети. ТИМ-модель обеспечит целостное представление о генерации, хранении и потреблении энергии, что будет способствовать более эффективному управлению энергетическими ресурсами. Эта интеграция не только способствует экономии затрат, но и поддерживает цели устойчивого развития, снижая углеродный след здания.

3. Повышение удовлетворенности жильцов. Опросы показали значительное улучшение удовлетворенности жильцов: 3/4 респондентов отметили более быстрое реагирование и улучшение коммуникации, что подтверждается (рис. 4) из исследования [12].

Применение ТИМ способствовало повышению прозрачности процессов технического обслуживания, поскольку собственники могли получать информацию о статусе ремонтных работ в реальном времени. Улучшенное взаимодействие между управляющими организациями и собственникам также содействовало повышению уровня доверия и восприятия качества услуг, как и отмечается в работе [13]. Отзывы собственников подчеркнули важность своевременных обновлений, и инструменты коммуникации, предоставляемые ТИМ, сыграли важную роль в удовлетворении этих ожиданий.

Помимо прозрачности в вопросах обслуживания, ТИМ также дают собственникам возможность взаимодействовать с управляющей организацией через цифровые платформы, такие как мобильные приложения, которые в реальном времени вносили обновления о состоянии систем здания, графиках обслуживания и энергопотреблении. Эти цифровые платформы позволяли жильцам напрямую сообщать о проблемах и отслеживать их решение, что повышало их вовлеченность и удовлетворенность услугами

по управлению недвижимостью. Интеграция отзывов жильцов в ТИМ-модель также помогала управляющим более эффективно решать проблемы и адаптировать услуги под конкретные нужды собственников.

4. Повышение энергоэффективности. Интеграция ТИМ помогла сократить энергопотребление на 15 % за счет оптимизированного мониторинга и контроля систем ОВК [14] (результаты показаны на рис. 5).

Предоставляя детализированную цифровую модель энергетических систем здания, ТИМ позволили управляющим выявлять неэффективные участки и внедрять целевые меры. Возможность моделировать различные энергосберегающие сценарии в среде ТИМ также поддерживала обоснованное принятие решений, что способствовало дальнейшему повышению энергоэффективности. Аналогичные обоснования приводятся в европейском руководстве³.

Экономия энергии также была достигнута посредством интеграции систем ВИЭ с ТИМ-моделью. Солнечные панели и другие ВИЭ отслеживались через ТИМ, что позволило управляющим оптимизировать их применение и снизить зависимость от электросети. ТИМ-модель обеспечила целостное представление о генерации, хранении и потреблении энергии, что способствовало более эффективному управлению ресурсами. Такая интеграция не только обеспечила экономию, но и поддерживала цели устойчивого развития, сокращая углеродный след здания.

³ Federation of European Heating, Ventilation, and Air Conditioning Associations. Guide to BIM and Building Services. 2021.

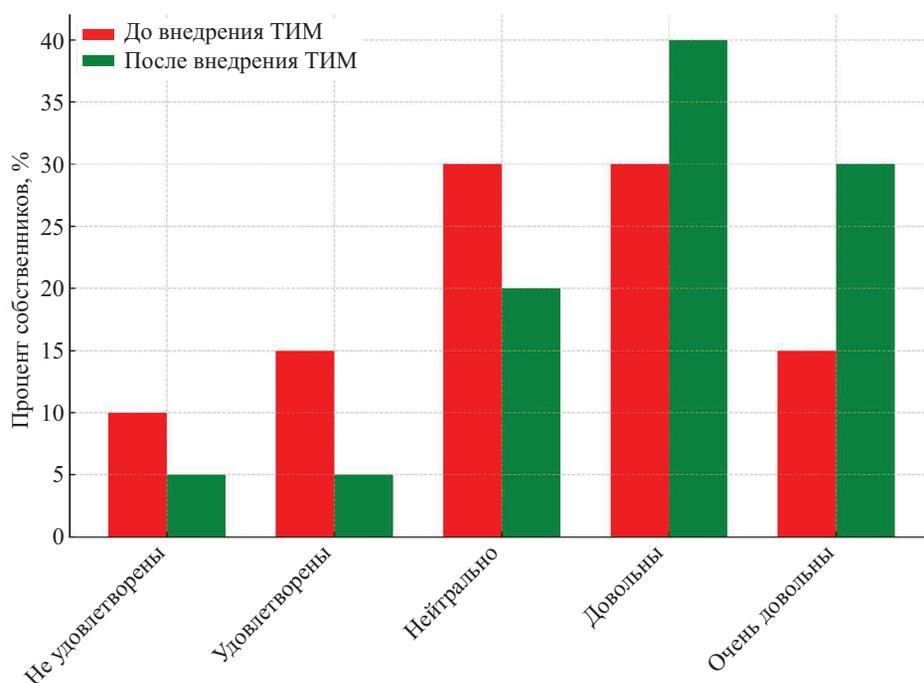


Рис. 4. Результаты опроса удовлетворенности собственников

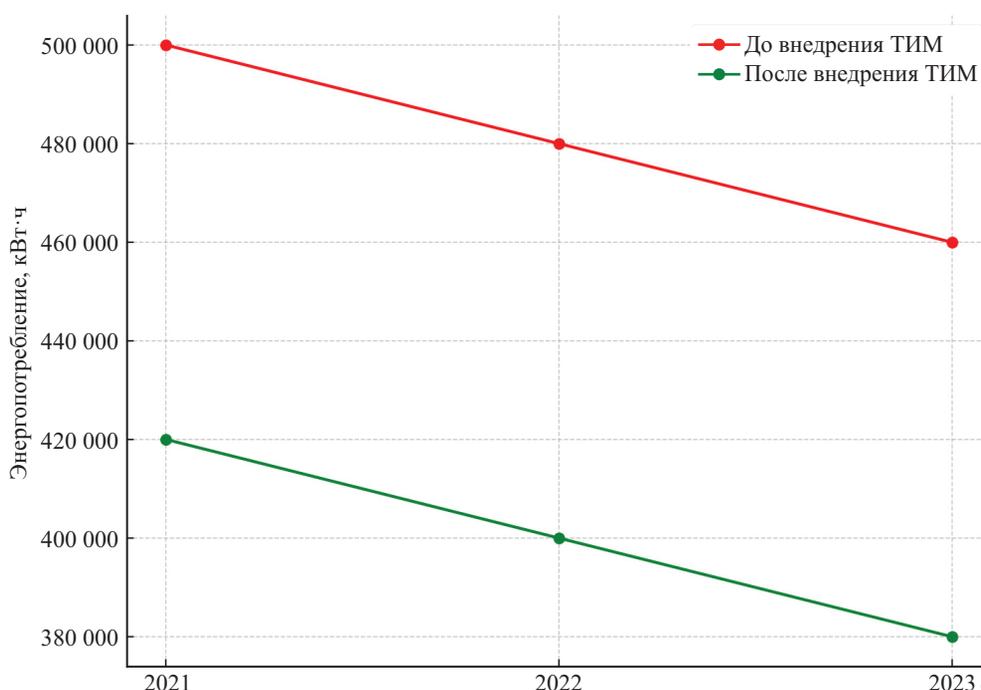


Рис. 5. Сравнение энергопотребления

Полученные результаты свидетельствуют, что ТИМ предоставляет значительные преимущества для оперативного управления (табл. 2), особенно в отношении сокращения времени отклика и снижении эксплуатационных затрат. Интеграция данных в реальном времени и прогнозной аналитики в модели ТИМ существенно улучшает способность управляющих принимать обоснованные решения, позволяя им быть более проактивными вместо последующей реакции на выявленные отказы.

Применение ТИМ также способствовало лучше-му распределению ресурсов и управлению рабочей силой. Команды техобслуживания получают возможность более эффективно планировать свои графики на основе данных, предоставленных ТИМ-моделью, которая учитывает информацию о состоянии оборудования, истории технического обслуживания и предполагаемых потребностях. Этот уровень детализации позволяет управляющим выделять ресурсы туда, где они наиболее востребованы, сокращая простой персонала и повышая его производительность. Кроме того, интеграция цифровых контрольных списков и автоматических напоминаний обеспечивает своевременное выполнение плановых работ, что так-

же способствует повышению операционной эффективности, это подтверждается и в исследовании [15].

Интеграция сенсорных данных с моделями ТИМ облегчает прогнозное обслуживание, минимизируя вероятность поломок и продлевая срок службы компонентов здания. Об аналогичных результатах сообщается и в работах [16, 17].

На рис. 6 отображен поток информации в среде ТИМ в режиме реального времени, показывая, как управляющие недвижимостью используют данные для принятия решений в экстренных ситуациях и планирования текущего обслуживания.

На рис. 6 показаны:

1. База данных модели ТИМ как основной источник данных.
2. Блок аналитики и обработки данных, преобразующий «сырые» данные в полезную информацию.
3. Панель управления недвижимостью для доступа менеджеров к обновлениям и уведомлениям в реальном времени.
4. Интерфейс команды обслуживания с цифровыми контрольными списками и напоминаниями.
5. Отдельные потоки для задач планового обслуживания и экстренного реагирования для приоритизации работы на основе данных.

Роль ТИМ в содействии сотрудничеству между заинтересованными сторонами сложно переоценить. Предоставляя централизованную платформу для обмена информацией, ТИМ улучшают коммуникацию и координацию между управляющими, техническими командами, подрядчиками и жильцами. Указанный подход к сотрудничеству способствует обеспечению осведомленности всех сторон о текущей деятельности, созданию графиков пред-

Табл. 2. Основные преимущества внедрения ТИМ

Преимущество	Эффект
Время отклика на обслуживание	Сокращено на 35 %
Эксплуатационные затраты	Сокращены на 20 %
Удовлетворенность жильцов	Увеличена на 75 %
Потребление энергии	Снижено на 15 %



Рис. 6. Доступ к данным в реальном времени и процесс принятия решений в ТИМ

стоящего технического обслуживания и возможных затруднениях. В результате заинтересованные стороны оказываются лучше подготовлены и одновременно снижается вероятность конфликтов и недопониманий.

Интеграция ТИМ с другими технологиями, такими как IoT, еще больше расширяет возможности ТИМ. Например, датчики IoT, встроенные в системы здания, могут передавать данные в реальном времени в ТИМ-модель, позволяя управляющим контролировать параметры, такие как температура, влажность и состояние оборудования. Такая интеграция поддерживает прогнозируемое обслуживание, уведомляя управляющих о потенциальных проблемах до их серьезного возникновения. Сочетание ТИМ и IoT создает «умную» среду здания, где решения, основанные на данных, приводят к улучшению производительности и снижению эксплуатационных затрат.

Вместе с тем исследование выявило проблемы, связанные с внедрением ТИМ, включая высокие начальные затраты на реализацию и необходимость специализированного обучения персонала. Затраты на программное обеспечение, оборудование и первоначальную настройку могут оказаться препятствием для небольших управляющих компаний, о чем свидетельствуют также зарубежные исследования [18]. Кроме того, успешное внедрение ТИМ требует изменений в организационной культуре и процессах, что может быть трудно осуществить без сильного лидерства и четкого видения проблемы. Несмотря на это, долгосрочные выгоды от использования ТИМ, такие как улучшенное управление активами и повышенная удовлетворенность жильцов, перевешивают начальные инвестиции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанное исследование приводит к выводу, что интеграция ТИМ в оперативную работу

управляющих организаций значительно повышает эффективность, снижает затраты и улучшает качество обслуживания. Преимущества внедрения ТИМ в оперативное управление очевидны: сокращение времени отклика на заявки по обслуживанию, экономия затрат и повышение энергоэффективности. Это подтверждается и выводами зарубежных исследователей [19, 20]. Несмотря на вызовы, связанные с начальными затратами и требованиями к обучению, долгосрочные выгоды делают ТИМ ценным вложением для управляющих организаций.

Будущие исследования должны сосредоточиться на разработке стандартизированных программ обучения для ТИМ и на изучении потенциала интеграции ТИМ с новыми технологиями, такими как IoT и искусственный интеллект, для дальнейшей оптимизации. Кроме того, дальнейшие исследования будут сопряжены с изучением масштабов применения ТИМ в небольших управляющих компаниях и с определением стратегии преодоления возможных барьеров внедрения. Интеграция расширенной аналитики и машинного обучения с ТИМ также представляет интересное направление для исследования, имея потенциал для дальнейшего повышения прогнозных возможностей и оптимизации эксплуатации зданий.

Развитие стандартов и лучших практик ТИМ будет иметь решающее значение для того, чтобы управляющие компании могли в полной мере реализовать потенциал этой технологии. Сотрудничество между представителями отрасли, академическими учреждениями и государственными органами сыграет ключевую роль в продвижении инноваций и установлении руководящих принципов, способствующих широкому внедрению ТИМ на этапе эксплуатации зданий. Внедряя ТИМ, управляющие организации могут создавать более эффективные, устойчивые и гибкие условия, отвечающие меняющимся потребностям жильцов и заинтересованных сторон.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Matveev D.A.* Implementation of BIM Technologies in the Management of Multi-Apartment Buildings During the Operation Phase // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2024. Vol. 20. Issue 2. Pp. 155–162. DOI: 10.22337/2587-9618-2024-20-2-155-162
2. *Ларионова Ю.В., Матвеев Д.А., Незаметдинов И.М.* Внедрение технологий информационного моделирования в управление многоквартирными домами // *Недвижимость: экономика, управление*. 2023. № 3S. С. 212–215. EDN DLQYUV.
3. *Ehab A., Mahdi M., El-Helloty A.* BIM Maintenance System with IoT Integration: Enhancing Building Performance and Facility Management // *Civil Engineering Journal*. 2024. Vol. 10. Issue 6. Pp. 1953–1973. DOI: 10.28991/CEJ-2024-010-06-015
4. *Edirisinghe R., Woo J.* BIM-based performance monitoring for smart building management // *Facilities*. 2021. Vol. 39. Issue 1/2. Pp. 19–35. DOI: 10.1108/F-11-2019-0120
5. *Pomè A.P., Signorini M.* Real time facility management: assessing the effectiveness of Digital Twin in the Operation and Maintenance phase of building life cycle // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023. Vol. 1176. Issue 1. P. 012003. DOI: 10.1088/1755-1315/1176/1/012003
6. *Alhammad M., Eames M., Vinai R.* Enhancing Building Energy Efficiency through Building Information Modeling (BIM) and Building Energy Modeling (BEM) Integration : a Systematic Review // *Buildings*. 2024. Vol. 14. Issue 3. P. 581. DOI: 10.3390/buildings14030581
7. *Таланов В.В.* Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. М. : LitRes, 2024. 394 с.
8. *Bevans R.* An Introduction to t Tests | Definitions, Formula and Examples // *Scribbr*. 2023.
9. *Ariffin E.Y., Mustafa N.E., Sapri M.* Perspective towards the Perceived Benefits and Challenges on Building Information Modelling — Facility Management (BIM-FM) Integration at an Early Stage of BIM Projects // *International Journal of Real Estate Studies*. 2023. Vol. 17. Issue 1. Pp. 70–82. DOI: 10.11113/intrest.v17n1.198
10. *Vishnivetskaya A., Mikhailova A.* Employment of BIM Technologies for Residential Quarters Renovation: Global Experience and Prospects of Implementation in Russia // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 497. P. 012020. DOI: 10.1088/1757-899X/497/1/012020
11. *Wang L., Zhou X.* Impact of BIM on Operational Efficiency // *International Journal of Property Management*. 2021. Vol. 36. Issue 2. Pp. 115–130.
12. *He Q., Zeng H., Tong I., Yao F.* Evaluation Index System for Resident Satisfaction in Urban Renewal and Reconstruction Based on Grounded Theory // *Lecture Notes in Operations Research*. 2024. Pp. 1815–1835. DOI: 10.1007/978-981-97-1949-5_127
13. *Fernandez R., Morales T.* Case Study: BIM in Multi-Apartment Buildings // *Journal of Property Engineering*. 2022. Vol. 29. Issue 5. Pp. 402–415.
14. *Kozlovská M., Petkanic S., Vranay F., Vranay D.* Enhancing Energy Efficiency and Building Performance through BEMS-BIM Integration // *Energies*. 2023. Vol. 16. Issue 17. P. 6327. DOI: 10.3390/en16176327
15. *Городнова Н.В., Лемеза В.А.* Применение BIM-технологий в цифровой экономике: мировой опыт и российская практика // *Экономика, предпринимательство и право*. 2022. Т. 12. № 8. С. 2241–2260. DOI: 10.18334/epp.12.8.115082. EDN XSYSOS.
16. *Chandu H.S.* Enhancing Manufacturing Efficiency: Predictive Maintenance Models Utilizing IoT Sensor Data // *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*. 2024. Vol. 10. Issue 9.
17. *Saputra P.C., Prabowo H., Ramadhan A., Madyatmadja E.D.* Trends of Digital Transformation in the Property Management Industry : a Systematic Literature Review // *IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*. 2023. Pp. 552–557. DOI: 10.1109/SIST58284.2023.10223582
18. *Cheng J.C.P., Chen W., Chen K., Wang Q.* Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms // *Automation in Construction*. 2020. Vol. 12. P. 103087. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103087
19. *Alsamarraie M., Ghazali F.* Cost-benefit analysis of using BIM compared to traditional methods in Iraq's public construction projects // *ASEAN Engineering Journal*. 2023. Vol. 13. Issue 2. Pp. 107–114. DOI: 10.11113/aej.v13.18982
20. *Yang C.* Digital Application Objectives and Benefit Analysis of BIM Technology in Large-Scale Comprehensive Development Projects // *Journal of World Architecture*. 2024. Vol. 8. Issue 5. Pp. 24–28. DOI: 10.26689/jwa.v8i5.8741

Поступила в редакцию 12 февраля 2025 г.

Принята в доработанном виде 18 февраля 2025 г.

Одобрена для публикации 28 марта 2025 г.

ОБ АВТОРАХ: **Павел Павлович Олейник** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий и организации строительного производства; **Национальный исследовательский Московский**

государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 399946, Scopus: 10043771900, ResearcherID: X-4463-2019, ORCID: 0001-8425-2974; cniomtp@mail.ru;

Дмитрий Александрович Матвеев — аспирант кафедры технологий и организация строительного производства; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 1192577, Scopus: 59207084100; ResearcherID: JKI-0449-2023, ORCID: 0000-0002-5057-6433; d.a.matveev@gmail.com.

Вклад авторов:

Олейник П.П. — научное руководство, формулирование концепции исследования и научное редактирование текста.

Матвеев Д.А. — идея, сбор материала, обработка материала, проведение исследования, итоговые выводы, написание и оформление статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

Property management, particularly for residential buildings, is becoming an increasingly complex process that requires the integration of modern technologies to enhance efficiency and sustainability. The digitalization of housing and utilities (H&U) is one of the development priorities in the Russian Federation¹ [1, 2], as well as globally [3–5]. Building Information Modelling (BIM) represents a technological breakthrough capable of transforming traditional operational management methods [3]. The digitalization of H&U enables the integration of interaction processes and reporting at all management levels within a unified information environment. By providing a comprehensive digital representation of the built environment, BIM facilitates real-time decision-making, reduces information barriers, and improves coordination among stakeholders [4].

The implementation of BIM technologies is particularly relevant under increasing requirements for sustainability, energy efficiency, and optimized building functionality. BIM offers an integrated solution covering various aspects of property management, from maintenance and repairs to tenant interactions and energy consumption monitoring [5]. Additionally, BIM provides a platform for proactive maintenance, allowing management organizations to predict potential issues before they escalate, thereby reducing downtime and associated costs. Consequently, understanding the impact of BIM on operational efficiency is crucial for management organizations striving to maintain competitiveness in a rapidly evolving market.

The primary objective of this study is to assess the impact of BIM technologies on operational efficiency in property management. Specific tasks include evaluating the contribution of BIM to maintenance task optimization, improving resource allocation, and en-

hancing data accuracy. The research hypothesis posits that integrating BIM into property management activities can lead to more efficient decision-making and reduced operational costs. By analyzing both qualitative and quantitative data, the study aims to develop a comprehensive understanding of how BIM can enhance overall management processes and create tangible benefits for stakeholders [6].

Furthermore, the study examines the role of BIM in improving relationships among building operation stakeholders, including property managers, technical personnel, and residents. Effective interaction is essential for successful management, and BIM's ability to serve as a centralized data repository contributes to transparency and accountability. This also applies to the impact of BIM on energy consumption management, focusing on how BIM can be utilized to monitor and optimize energy use, promoting the sustainable development of the built environment.

MATERIALS AND METHODS

This study employs a mixed-method approach that combines qualitative and quantitative analysis. Data were collected through a series of case studies involving management companies that have implemented BIM in their operations. The research was conducted between 2022 and 2024 as part of a master's thesis prepared at NRU MGSU and included surveys of management organizations, technical personnel, and other stakeholders involved in residential building operation. The case studies provided detailed insights into the practical application of BIM and its impact on operational efficiency.

Quantitative data were obtained from operational performance indicators recorded before and after the implementation of BIM technologies. The analyzed indicators included response time to maintenance requests, repair costs, tenant satisfaction levels, and energy consumption data [7]. These metrics were selected to create a comprehensive view of operational efficiency, covering both financial and non-financial aspects of property management. For instance, response time to requests was measured in hours, while tenant

¹ Plan of Measures (“Roadmap”) for the Use of Building Information Modelling Technologies in the Design and Construction of Capital Construction Projects, as well as for Stimulating the Use of Energy Efficient and Environmentally Friendly Materials, Including the Need for Their Production in the Russian Federation). Order from 20.12.2021 No. 3719 r.

Table 1. Summary of Data Sources and Methods

Data Type	Source	Method
Quantitative	Maintenance records	Statistical tests
Qualitative	Stakeholder interviews	Thematic analysis
Mixed	Tenant surveys	Descriptive statistics

satisfaction was assessed on a scale from 1 to 5. Energy consumption data were obtained from building management systems integrated with BIM, enabling real-time monitoring and historical data analysis.

Qualitative data were gathered through in-depth interviews with key stakeholders to understand perceptions of the benefits and challenges associated with BIM implementation in operational management. Interview questions focused on aspects such as changes in workflow efficiency, communication improvements, and overall impact on tenant satisfaction. Additionally, focus group discussions were conducted with technical teams to collect feedback on BIM tools, including ease of information access and influence on daily tasks.

The study’s analytical framework included statistical analysis of quantitative data and thematic analysis of qualitative interview data. Statistical analysis involved paired t-tests to assess the significance of observed changes [8], while qualitative analysis was performed using NVivo software to categorize and interpret interview responses. The mixed-method approach ensured a comprehensive understanding of both measurable outcomes and subjective experiences related to BIM adoption [9]. The combination of quantitative and qualitative data allowed for a more detailed assessment of BIM’s impact on operational efficiency.

To enhance data reliability, triangulation was applied, utilizing multiple data sources and approaches to cross-validate results, thereby increasing the validity of findings. By integrating survey data, interviews, and performance indicators, efforts were made to conduct a balanced and well-founded analysis of BIM implementation outcomes. Additionally, observational data were collected through site visits to better understand the daily use of BIM tools by technical personnel and management staff. These observations provided contextual information that complemented the quantitative metrics and qualitative interviews.

The methodology also included a comparison of BIM implementation with traditional management methods by analyzing a control group of management organizations that had not yet adopted BIM. This approach provided a clearer understanding of the benefits and challenges associated with BIM use in the operational phase. The comparative analysis helped identify areas where BIM delivered the most significant improvements, as well as areas where traditional methods retained certain advantages.

By tracking changes over an extended period, trends and improvements that may not have been immediately apparent were recorded. This approach also

allowed for an assessment of the sustainability of BIM benefits, including the potential for maintaining or enhancing initial improvements in efficiency, cost savings, and tenant satisfaction over time. The longitudinal aspect of the study was crucial for understanding the dynamics of BIM integration and its long-term viability as a tool for operational management.

The use of both qualitative and quantitative data enabled triangulation, increasing the reliability of findings. The mixed-method approach also facilitated the identification of patterns that may not have been evident from a single data source (Table 1). For example, while quantitative data indicated a reduction in maintenance costs, qualitative data revealed that maintenance staff found BIM tools useful for more effective task planning and prioritization.

The methodology also examined the use of Geographic Information Systems (GIS) in conjunction with BIM to enhance the spatial analysis of real estate assets. GIS was integrated with BIM models to visualize the geographic distribution of maintenance needs and resource allocation, thereby providing a more comprehensive view of the operational landscape. This integration enabled management organizations to optimize logistics, such as deploying maintenance teams to various locations based on spatial proximity and task urgency.

Furthermore, the study considered the training and adaptation processes necessary for the successful implementation of BIM. Detailed records of training sessions — including participant feedback and skill assessments — were analyzed to assess the effectiveness of various training approaches. This analysis underscored the importance of practical, scenario-based training to ensure that personnel fully comprehend the real-world applications of BIM tools in their daily tasks. The findings indicated that well-structured training programs were essential for overcoming resistance to change and ensuring that all team members acquired the competencies required for effective use of BIM technologies.

RESULTS AND CONCLUSION

The results demonstrate that the implementation of BIM technologies (see Fig. 1) significantly enhances the operational efficiency of property management.

These findings are supported by the following key results:

1. Reduction in Response Time for Maintenance Requests. The ability of BIM to provide up-to-date and comprehensive information on building asset conditions resulted in a reduction of response time by approximate-

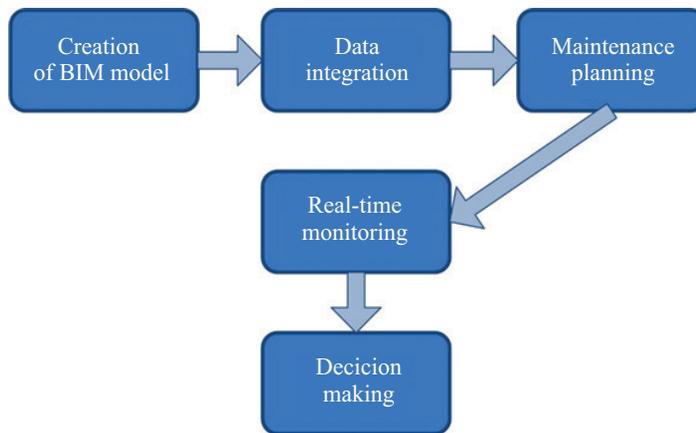


Fig. 1. BIM Integration Scheme in Property Management

ly one-third, which corresponds to a 35 % improvement compared to traditional methods [10] (see Fig. 2).

This improvement is attributed to the centralized access to detailed information about building systems, which enables technical personnel to identify and resolve issues more rapidly². Moreover, the integration of mobile devices with BIM models allowed maintenance teams to access and update information on-site, further reducing response times. Staff reported that remote access to building data via tablets or smartphones was a significant advantage, particularly in emergency situations.

BIM also provided maintenance teams with access to historical data, which helped identify recurring issues and implement long-term solutions. This proactive maintenance approach not only reduced response times but also contributed to a decrease in overall maintenance costs by minimizing the frequency of repeated

failures. The integration of predictive analytics further enhanced maintenance efficiency by enabling property managers to anticipate potential failures and schedule preventive maintenance.

The digital asset management capabilities provided by BIM also played a crucial role in optimizing maintenance operations. By maintaining an up-to-date digital inventory of building components, managers could easily monitor the condition of various assets, such as heating, water supply, and drainage systems (HVAC), elevators, and fire safety equipment. This level of detail facilitated more effective planning and resource allocation, ensuring that critical components received necessary attention before severe issues arose. Additionally, the integration of building automation systems with BIM enabled automatic monitoring and early detection of operational deviations, significantly reducing response times.

2. Cost Reduction. Analysis revealed a 20 % decrease in operational costs, attributed to more efficient

² BuildingSMART International. IFC Standards for BIM. 2020

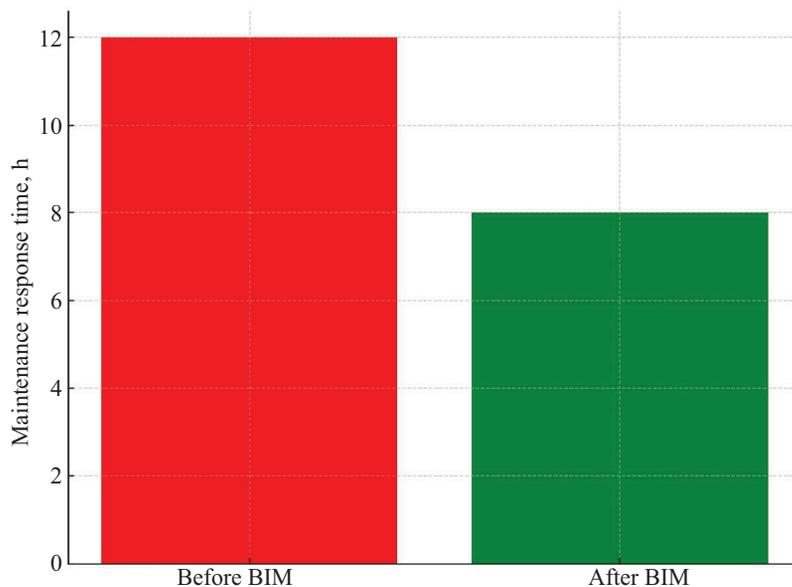


Fig. 2. Maintenance Response Time Before and After BIM Implementation

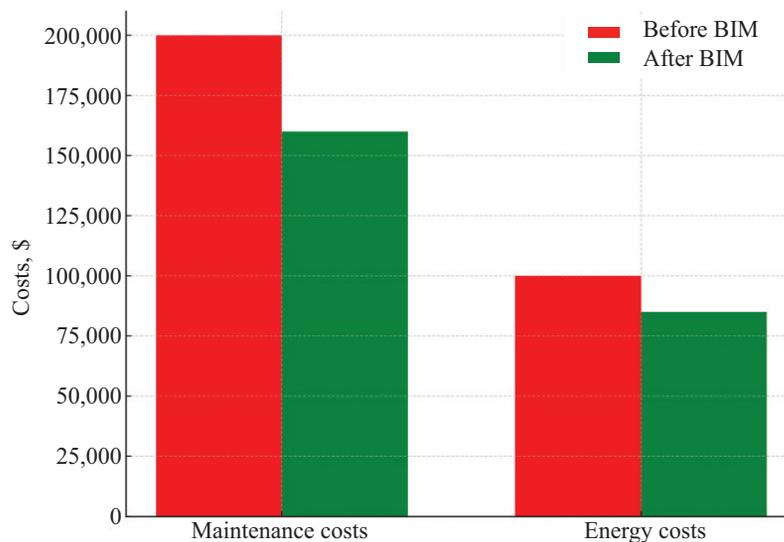


Fig. 3. Cost Analysis of Operational Management

maintenance planning and optimized resource allocation via BIM models (Fig. 3). Predictive maintenance, based on historical data and sensor information, enabled BIM to minimize unexpected breakdowns and costly emergency repairs. Similar results were reported in [11].

Cost savings were also achieved through improved energy management. BIM models integrated with building management systems allowed property managers to monitor energy consumption in real time, identify inefficient zones, and implement targeted energy-saving measures. For example, automatic control of HVAC systems based on occupancy data helped reduce energy losses during off-peak hours. The ability to simulate various energy efficiency scenarios within a BIM environment enabled management organizations to make informed decisions regarding equipment upgrades and infrastructure improvements.

Additionally, energy savings could be realized through the integration of renewable energy systems with BIM models. Solar panels and/or other renewable energy sources can be monitored via BIM, allowing management organizations to optimize their usage and reduce reliance on the electrical grid. The BIM model provides a comprehensive overview of energy generation, storage, and consumption, thereby facilitating more effective management of energy resources. This integration not only contributes to cost savings but also supports sustainability objectives by reducing the building's carbon footprint.

3. Enhanced Tenant Satisfaction. Surveys indicated a significant improvement in tenant satisfaction; approximately 75 % of respondents reported faster response times and improved communication, as confirmed by [12] (Fig. 4).

The use of BIM contributed to increased transparency in maintenance processes, as tenants were able to access real-time information on the status of repair work. Improved interactions between management organizations and tenants further enhanced trust and the perceived quality of services, as noted in [13]. Ten-

ant feedback emphasized the importance of timely updates, and the communication tools provided by BIM played a key role in meeting these expectations.

In addition to transparency in maintenance issues, BIM also provides property owners with the ability to interact with the management organization through digital platforms, such as mobile applications, which update in real time on the status of building systems, maintenance schedules, and energy consumption. These digital platforms allow residents to directly report problems and track their resolution, increasing their engagement and satisfaction with property management services. Integrating resident feedback into the BIM model also helps managers more effectively address issues and tailor services to the specific needs of owners.

4. Improving Energy Efficiency. BIM integration helped reduce energy consumption by 15 % through optimized monitoring and control of HVAC systems (similar results are shown in Fig. 5 from [14]).

By providing a detailed digital model of the building's energy systems, BIM enabled managers to identify inefficient areas and implement targeted measures. The ability to model various energy-saving scenarios in the BIM environment also supported informed decision-making, further contributing to energy efficiency improvements. Similar justifications are provided in the European Guide³.

Energy savings were also achieved by integrating renewable energy systems with the BIM model. Solar panels and other renewable energy sources were monitored through BIM, allowing managers to optimize their use and reduce dependence on the power grid. The BIM model provided a holistic view of energy generation, storage, and consumption, promoting more efficient resource management. This integration not only ensured savings but also supported sustainability goals by reducing the building's carbon footprint.

³ Federation of European Heating, Ventilation, and Air Conditioning Associations. Guide to BIM and Building Services. 2021.

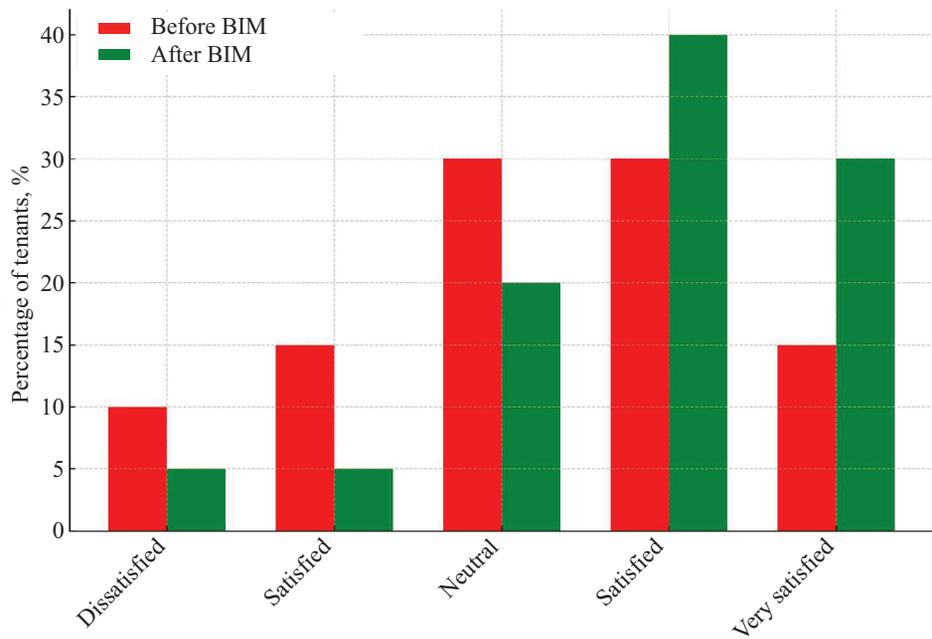


Fig. 4. Tenant Satisfaction Survey Results

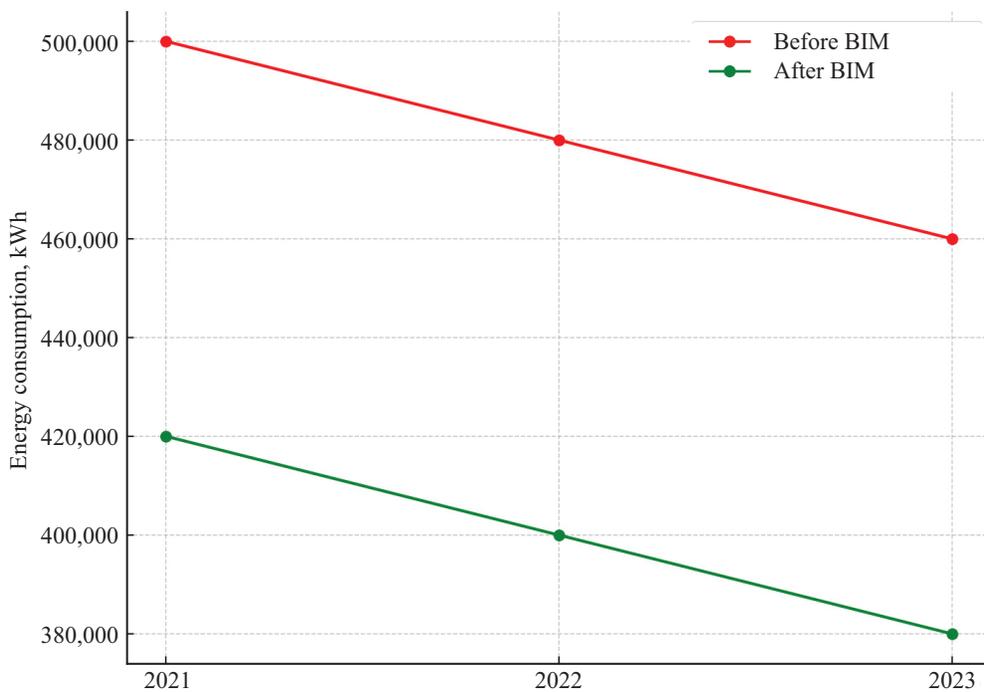


Fig. 5. Energy consumption comparison

Discussion the obtained results indicate that BIM provides significant advantages for operational management (Table 2), particularly in reducing response time and lowering operating costs. Real-time data integration and predictive analytics in BIM models significantly enhance managers' ability to make informed decisions, allowing them to be more proactive rather than reactive to identified failures.

BIM implementation also contributed to better resource allocation and workforce management. Maintenance teams gained the ability to plan their schedules

more effectively based on data provided by the BIM model, which considers equipment status, maintenance history, and projected needs. This level of detail allows managers to allocate resources where they are most needed, reducing staff downtime and increasing productivity. Additionally, integrating digital checklists and automatic reminders ensures timely completion of scheduled work, further enhancing operational efficiency. This is also confirmed in [15].

Integrating sensor data with BIM models facilitates predictive maintenance, minimizing the likelihood

Table 2. Key benefits of BIM implementation

Benefit	Effect
Response time to service requests	Reduced by 35 %
Operating costs	Reduced by 20 %
Resident satisfaction	Increased by 75 %
Energy consumption	Reduced by 15 %

of failures and extending the lifespan of building components. Similar results are reported in [16, 17].

Fig. 6 illustrates the flow of information in a real-time BIM environment, showing how property managers use data for decision-making in emergencies and routine maintenance planning.

The figure depicts:

1. The BIM model database as the primary data source.
2. The data analytics and processing unit, converting raw data into useful information.
3. The property management dashboard for managers to access updates and real-time notifications.
4. The maintenance team interface with digital checklists and reminders.
5. Separate workflows for planned maintenance and emergency response to prioritize work based on data.

The role of BIM in facilitating collaboration among stakeholders cannot be overstated. By providing a centralized platform for information exchange, BIM enhances communication and coordination among managers, technical teams, contractors, and residents. This collaborative approach ensures that all parties are informed about ongoing activities, upcoming maintenance schedules, and potential issues. As a result, stakeholders are better prepared, and the likelihood of conflicts and misunderstandings is reduced.

The integration of BIM with other technologies, such as IoT, further expands BIM’s capabilities. For example, IoT sensors embedded in building systems can transmit real-time data to the BIM model, allowing managers to monitor parameters such as temperature, humidity, and equipment condition. This integration supports predictive maintenance by notifying managers

of potential problems before they escalate. The combination of BIM and IoT creates a “smart” building environment where data-driven decisions lead to improved performance and reduced operational costs.

At the same time, the study identified challenges associated with BIM implementation, including high initial costs and the need for specialized staff training. The expenses for software, hardware, and initial setup can be a barrier for smaller management companies, as also indicated by foreign researchers [18]. Additionally, successful BIM implementation requires changes in organizational culture and processes, which can be difficult to achieve without strong leadership and a clear vision. Despite these challenges, the long-term benefits of using BIM, such as improved asset management and increased resident satisfaction, outweigh the initial investment.

CONCLUSIONS

This study concludes that integrating BIM technologies into the operational work of management organizations significantly improves efficiency, reduces costs, and enhances service quality. The benefits of BIM implementation in operational management are evident: reduced response time for maintenance requests, cost savings, and increased energy efficiency. These conclusions are also supported by findings from international researchers, as reflected in [19, 20]. Despite the challenges related to initial costs and training requirements, the long-term advantages make BIM a valuable investment for management organizations.

Future research should focus on developing standardized BIM training programs and exploring the potential for integrating BIM with emerging technologies such as IoT and AI for further optimization. Additionally, future studies will need to examine the scope of BIM adoption in smaller management companies and determine strategies for overcoming possible implementation barriers. The integration of advanced analytics and machine learning with BIM also presents an intriguing avenue for further research, with the potential to enhance predictive capabilities and optimize building operations.

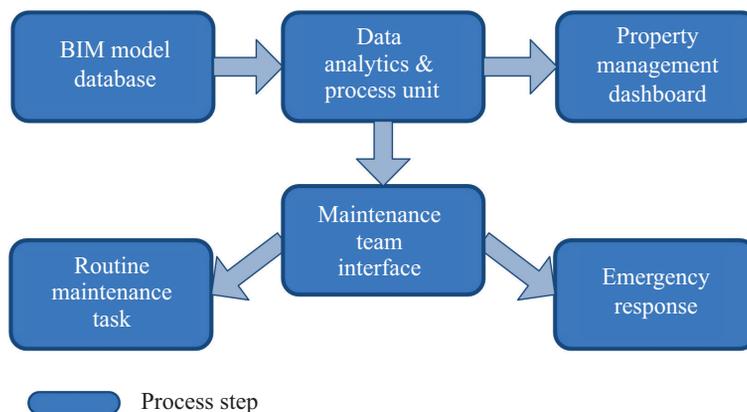


Fig. 6. Real-time data access and decision-making process in BIM

The development of BIM standards and best practices will be crucial for management companies to fully realize the potential of this technology. Collaboration among industry representatives, academic institutions, and government agencies will play a key role in driving innovation

and establishing guidelines that promote the widespread adoption of BIM in building operations. By implementing BIM, management organizations can create more efficient, sustainable, and adaptable environments that meet the evolving needs of residents and stakeholders.

REFERENCES

1. Matveev D.A. Implementation of BIM Technologies in the Management of Multi-Apartment Buildings During the Operation Phase. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2024; 20(2):155-162. DOI: 10.22337/2587-9618-2024-20-2-155-162
2. Larionova Yu.V., Matveev D.A., Nezametdinov I.M. Implementation of information modeling technologies in the management of apartment buildings. *Real Estate: Economics and Management*. 2023; 3S:212-215. EDN DLQYUV. (rus.).
3. Ehab A., Mahdi M., El-Helloty A. BIM Maintenance System with IoT Integration: Enhancing Building Performance and Facility Management. *Civil Engineering Journal*. 2024; 10(6):1953-1973. DOI: 10.28991/CEJ-2024-010-06-015
4. Edirisinghe R., Woo J. BIM-based performance monitoring for smart building management. *Facilities*. 2021; 39(1/2):19-35. DOI: 10.1108/F-11-2019-0120
5. Pomè A.P., Signorini M. Real time facility management: assessing the effectiveness of Digital Twin in the Operation and Maintenance phase of building life cycle. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023; 1176(1):012003. DOI: 10.1088/1755-1315/1176/1/012003
6. Alhammad M., Eames M., Vinai R. *Enhancing Building Energy Efficiency through Building Information Modeling (BIM) and Building Energy Modeling (BEM) Integration : a Systematic Review*. *Buildings*. 2024; 14(3):581. DOI: 10.3390/buildings14030581
7. Talapov V.V. *Basics of BIM: An Introduction to Building Information Modeling*. Moscow, LitRes, 2024; 394. (rus.).
8. Bevans R. An Introduction to t Tests | Definitions, Formula and Examples. *Scribbr*. 2023.
9. Ariffin E.Y., Mustafa N.E., Sapri M. Perspective towards the Perceived Benefits and Challenges on Building Information Modelling — Facility Management (BIM-FM) Integration at an Early Stage of BIM Projects. *International Journal of Real Estate Studies*. 2023; 17(1):70-82. DOI: 10.11113/intrest.v17n1.198
10. Vishnivetskaya A., Mikhailova A. Employment of BIM Technologies for Residential Quarters Renovation: Global Experience and Prospects of Implementation in Russia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 497:012020. DOI: 10.1088/1757-899X/497/1/012020
11. Wang L., Zhou X. Impact of BIM on Operational Efficiency. *International Journal of Property Management*. 2021; 36(2):115-130.
12. He Q., Zeng H., Tong I., Yao F. Evaluation Index System for Resident Satisfaction in Urban Renewal and Reconstruction Based on Grounded Theory. *Lecture Notes in Operations Research*. 2024; 1815-1835. DOI: 10.1007/978-981-97-1949-5_127
13. Fernandez R., Morales T. Case Study: BIM in Multi-Apartment Buildings. *Journal of Property Engineering*. 2022; 29(5):402-415.
14. Kozlovská M., Petkanic S., Vranay F., Vranay D. Enhancing Energy Efficiency and Building Performance through BEMS-BIM Integration. *Energies*. 2023; 16(17):6327. DOI: 16. 6327. DOI: 10.3390/en16176327
15. Gorodnova N.V., Lemeza V.A. BIM technologies in the digital economy: world experience and Russian practice. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2022; 12(8):2241-2260. DOI: 10.18334/epp.12.8.115082. EDN XSYSOS. (rus.).
16. Chandu H.S. Enhancing Manufacturing Efficiency: Predictive Maintenance Models Utilizing IoT Sensor Data. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*. 2024; 10(9).
17. Saputra P.C., Prabowo H., Ramadhan A., Madyatmadja E.D. Trends of Digital Transformation in the Property Management Industry : a Systematic Literature Review. *IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*. 2023; 552-557. DOI: 10.1109/SIST58284.2023.10223582
18. Cheng J.C.P., Chen W., Chen K., Wang Q. Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms. *Automation in Construction*. 2020; 12:103087. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103087
19. Alsamarraie M., Ghazali F. Cost-benefit analysis of using BIM compared to traditional methods in Iraq's public construction projects. *ASEAN Engineering Journal*. 2023; 13(2):107-114. DOI: 10.11113/aej.v13.18982
20. Yang C. Digital Application Objectives and Benefit Analysis of BIM Technology in Large-Scale Comprehensive Development Projects. *Journal of World Architecture*. 2024; 8(5):24-28. DOI: 10.26689/jwa.v8i5.8741

Received February 12, 2025.

Adopted in revised form on February 18, 2025.

Approved for publication on March 28, 2025.

BI O N O T E S: **Pavel P. Oleynik** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technologies and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 399946, Scopus: 10043771900, ResearcherID: X-4463-2019, ORCID: 0001-8425-2974; cniomtp@mail.ru;

Dmitry A. Matveev — postgraduate student of the Department of Technologies and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 1192577, Scopus: 59207084100; ResearcherID: JKI-0449-2023, ORCID: 0000-0002-5057-6433; d.a.matveev@gmail.com.

Contribution of the authors:

Pavel P. Oleynik — scientific guidance, formulation of the research concept and scientific text editing.

Dmitry A. Matveev — idea, collecting material, material processing, conducting a study, final conclusions, writing and formatting of the article.

The authors declare that there is no conflict of interest.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЛОГИСТИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 004.94:711.4

DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.9

Генеративный дизайн и онтологический инжиниринг в градостроительстве

Николай Михайлович Рашевский, Константин Романович Назаров,
Вячеслав Андреевич Джагаев, Артем Геннадьевич Щербаков,
Артём Дмитриевич Чикин

Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ); г. Волгоград, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Генеративный дизайн — это методология, основанная на использовании алгоритмов и приложений для генерации итеративных и вариативных дизайнерских решений. Он позволяет анализировать и учитывать множество факторов, таких как топография, климатические условия, потоки людей, транспортные сети и другие параметры, чтобы разработать наилучшие решения для конкретного места. Онтологический инжиниринг связан с созданием формальных описаний и моделей для представления знаний о предметной области. В градостроительстве онтологический инжиниринг может быть применен для создания формальной модели города, которая объединяет информацию о его физической среде, инфраструктуре, общественных пространствах и транспортной сети.

Материалы и методы. Реализация проекта основана на машинном обучении, сверточной нейросети в области генеративного дизайна. Описывается процесс разработки системы для определения и визуализации оптимального расположения объектов строительства в градостроительстве на примере парковых зон.

Результаты. Приведена онтологическая модель СП 475.1325800.2020 «Парки. Правила градостроительного проектирования и благоустройства». Предложен метод создания планировки парковой зоны с применением генеративного дизайна. Показан пример реализации предложенного метода с помощью кроссплатформенной среды разработки компьютерных приложений Unity.

Выводы. При объединении генеративного дизайна и онтологического инжиниринга в градостроительстве возникают новые возможности для проектирования инновационной городской среды. С генеративными алгоритмами можно использовать онтологические модели, чтобы автоматически проектировать и оценивать различные варианты градостроительных решений, учитывая заданные параметры и цели. Это позволяет исследовать большое количество вариантов и находить оптимальные решения с учетом множества факторов. Выполнен анализ применения технологий генеративного дизайна и онтологического инжиниринга в сфере градостроительства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: онтологии, информационное моделирование, строительная отрасль, цифровизация, семантическая модель, интеграция знаний, анализ данных, принятие решений, онтологический инжиниринг, генеративный дизайн, проектирование, анализ данных, градостроительство, генерация планировки

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и администрации Волгоградской области № 22-11-20024 (URL: <https://rscf.ru/project/22-11-20024/>). Авторы выражают благодарность коллегам по кафедре цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве ВолгГТУ, принимавшим участие в разработке проекта.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Рашевский Н.М., Назаров К.Р., Джагаев В.А., Щербаков А.Г., Чикин А.Д. Генеративный дизайн и онтологический инжиниринг в градостроительстве. 2025. Т. 15. Вып. 2. Ст. 9. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.9

Автор, ответственный за переписку: Артём Дмитриевич Чикин, artyom.chikin@gmail.com.

Generative design and ontological engineering in urban planning

Nikolay M. Rashevsky, Konstantin R. Nazarov, Vyacheslav A. Dzhagaev,
Artem G. Shcherbakov, Artyom D. Chikin

Volgograd State Technical University (VSTU); Volgograd, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Generative design is a methodology based on the use of algorithms and applications to generate iterative and variable design solutions. It allows analyzing and considering multiple factors such as topography, climatic conditions, human flows, transportation networks and other parameters to develop the best solutions for a specific location. Ontology engineering is concerned with the creation of formal descriptions and models to represent knowledge about the subject area. In urban planning, ontology engineering can be used to create a formal model of a city that integrates information about its physical environment, infrastructure, public spaces and transportation network.

Materials and methods. The realization of the project is based with on machine learning, convolutional neural network in the field of generative design. We describe the process of developing a system for determining and visualizing the optimal location of construction objects in urban planning, using park areas as an example.

Results. The ontological model of CP 475.1325800.2020 "Parks. Rules of urban planning and landscaping". A method for creating a park area layout using generative design is proposed. An example of the implementation of the proposed method using the Unity cross-platform computer application development environment is given.

Conclusions. By combining generative design and ontology engineering in urban planning, new opportunities arise for designing innovative urban environments. With generative algorithms, ontology models can be used to automatically design and evaluate different urban design options, taking into account the given parameters and goals. This allows to explore a large number of options and find optimal solutions considering multiple factors. The paper analyzes the use of generative design and ontology engineering technologies in the field of urban planning.

KEYWORDS: ontologies, information modelling, construction industry, digitalization, semantic model, knowledge integration, data analysis, decision making, ontological engineering, generative design, design, data analysis, urban planning, layout generation

Acknowledgements. The research was supported by the grant of the Russian Science Foundation and the Administration of the Volgograd Region No. 22-11-20024 (URL: <https://rscf.ru/project/22-11-20024/>). The authors would like to express their gratitude to their colleagues at the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction of the VSTU who participated in the development of the project.

FOR CITATION: Rashevsky N.M., Nazarov K.R., Dzhaev V.A., Shcherbakov A.G., Chikin A.D. Generative design and ontological engineering in urban planning. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2025; 15(2):9. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.9

Corresponding author: Artyom D. Chikin, artyom.chikin@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация профессиональной деятельности затрагивает множество сфер жизни современного общества. В области градостроительства и архитектуры развиваются технологии автоматизированного проектирования. Одним из ведущих и молодых направлений, которое ежегодно набирает обороты и модернизирует свои возможности, является генеративный дизайн. Данный метод автоматизированного проектирования позволяет специалистам в кратчайшие сроки выполнять поставленные задачи, демонстрировать клиентам многочисленные сгенерированные варианты решений и минимизировать различные инженерно-технические риски в проектной документации. Генеративный дизайн упрощает работу проектировщика, делегируя обязанности программному обеспечению (ПО) и тем самым повышая эффективность специалиста. В тандеме с нейросетевыми технологиями этот метод позволит интеллектуализировать процесс генерации проектов.

Таким образом, необходимо изучать возможности и перспективы генеративных технологий и внедрять их в градостроительную деятельность для обретения более качественного уровня проектных решений.

Генеративный дизайн — подход к проектированию, базирующийся на комплексе вычислительных алгоритмов, подбирающих множество вариантов решения той или иной задачи, основанных на задаваемых параметрах, и отбирающих наиболее оптимальные результаты [1].

Генерация огромного множества решений (выборок) выполняется компьютером посредством математических алгоритмов и машинного обучения. Результат этого процесса — не одно или несколько

подходящих решений, а множество выборок. В связи с этим проектирование превращается в изучение причинно-следственных связей.

Отечественные исследования генеративного дизайна и его технологий с точки зрения градостроительной практики немногочисленны. Данное направление только развивается, однако труды теоретической направленности отвечают на многие вопросы, связанные с преимуществами [1] и возможностями применения генеративного дизайна. В научной статье А.А. Лаушкиной [2] рассмотрены существующие методы и алгоритмы генеративного дизайна при городском планировании с учетом изменения характеристик окружающей среды. На основе анализа существующих решений были выявлены различные ограничения, с которыми сталкиваются разработчики, главное из которых — необходимость внесения изменений в пользовательском режиме.

Практические исследования также имеют место быть в научных трудах отечественных ученых. Например, в проекте А.Я. Пахтаевой и Ю.В. Родионовой [3] разработан метод генеративного дизайна для ландшафтного проектирования, который формирует техническое задание разработчикам систем искусственного интеллекта. Идея заключается в том, что на базе определенных факторов, влияющих на генеративные решения, система моделирует закономерные и естественные процессы с помощью их описания с использованием набора правил в системе автоматизированного проектирования. Метод позволяет формировать пешеходно-тропиночную сеть парка на основе определения точек притяжения жителей и построения предсказуемой проекции движения пешеходов, а также с помощью машинного обучения проводить эстетическую выборку объектов. Принципы инновационного подхода в процес-

сах предпроектного этапа раскрываются в статье Н.Г. Айрапетяна и А.А. Зайцева [4], а именно анализ наиболее эффективного использования земельного участка под будущую застройку при помощи генеративного дизайна. Указанный подход дает возможность получить максимальный экономический потенциал территорий, повысить эффективность процесса разработки предварительной юридической экспертизы на ранних стадиях проекта.

В работе В.В. Горяевой и А.Н. Горяева [5] представлены результаты анализа и практической реализации подходов к обработке информации при автоматизации строительного проектирования с применением технологии генеративного дизайна. Разработанный метод позволил с помощью определенных программных продуктов автоматически создать множество решений для задачи моделирования концептуальной застройки, тем самым сократив временные затраты специалиста на разработку проектной документации.

Зарубежные ученые внесли огромный вклад в инновационное развитие отрасли генеративного дизайна с точки зрения внедрения его в практическую градостроительную деятельность. Можно отметить труды следующих исследователей: О. Москович, Шейни Барат [6], Юэ Сунь [7], Д. Кумаласари [8], Дунцзе Ван [9], Рейнхарда Кенига [10, 11], Сейки Кома, Юичиро Ямабэ [12].

Е.И. Рейзбих в своей статье [13] предлагает использовать генеративный дизайн для тестирования каких-либо проектов до их реализации, а именно, какое влияние они окажут на окружающую среду и с какими проблемами можно столкнуться при реализации. В этой работе автор рассказывает об использовании инструментов генеративного дизайна в программе с открытым исходным кодом Grasshopper [14]. Э.Б. Оксюз предлагает применять генеративный дизайн и аллотрию для создания более эффективных форм в масштабе города [15]. А. Ех и К. Ли поднимают тему объединения методов нейросетей и генеративного дизайна, как предполагаемое будущее развитие технологии [16].

В публикации Рейнхарда Кенига [11] описано успешное применение алгоритма эволюционной оптимизации (ЕМО) для создания нескольких планировочных структур, таких как уличная сеть, кварталы, земельные участки и здания. Использование структуры данных реализовано в ПО Grasshopper для Rhino3D как части гибкой, модульной и расширяемой системы оптимизации, которая может применяться для решения различных задач городского проектирования и способна согласовывать потенциально противоречащие друг другу цели проектирования в полуавтоматическом режиме. Сейки Кома и Юичиро Ямабэ [12] в своем экспериментальном исследовании предложили систему оптимизации городского ландшафтного дизайна с использованием интерактивного генетического

алгоритма (IGA). С помощью данного метода исследователи определяли оптимальный способ внедрения мнений горожан относительно комфортной городской среды в технологию автоматизированного проектирования для оценки фронта уличной застройки.

Используя обычные инструменты, будет потрачено огромное количество времени на проектирование только для одного варианта планировки, которых зачастую требуется несколько.

В этом как раз и может помочь генеративный дизайн. Благодаря ему проектировщик может за более короткий срок предоставить различные варианты планировок, потратив на это гораздо меньше ресурсов и времени [17, 18]. При этом ему не обязательно знать все правила и ограничения, по которым формируется чертеж, ведь все это уже будет учитываться при генерации. Как сказала Н.И. Сметанина: «Генеративный дизайн при работе учитывает и анализирует большое количество данных, принимая во внимание множество факторов и выделяя из них наиболее важные» [19]. Этот метод упростит работу многих архитекторов, поднимет их производительность и качество работы на новый уровень.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На этапе подготовки проекта благоустройства определяются приблизительные правила по расположению различных парковых объектов, а также проводится разбиение парковой территории по зонам. Размещение этих зон устанавливается их назначением, расположением главного входа, местоположением парка, рельефом территории, наличием водоемов и составом зеленых насаждений.

Зоны массовых зрелищных мероприятий и физкультурных сооружений, привлекающие многочисленных посетителей, размещаются в районе главного входа.

Главный вход в парк устраивается с учетом подводящих магистралей и улиц. Кроме того, должны быть второстепенные входы с прилегающих улиц и хозяйственные въезды. Детская зона располагается в отдалении от зоны зрелищных мероприятий и физкультурных сооружений.

Зона тихого отдыха максимально удалена от источника шума и находится в наиболее живописной части парка, среди насаждений, вблизи водоемов. Она должна включать участки с пересеченным рельефом и по возможности примыкать к естественным массивам.

Основной фон парка — зеленые насаждения, поэтому все постройки в парке должны быть вписаны в зелень и гармонично сочетаться между собой, дополняя красоту друг друга, создавая впечатление единого гармоничного ансамбля.

Главные средства художественной композиции парка — зеленые насаждения, которые с течением

времени изменяются. Поэтому при архитектурно-планировочной композиции парков следует учитывать их развитие на протяжении ряда лет.

Приблизительные данные по размещению, составу и благоустройству зон многофункциональных парков приведены в таблице.

На основе проведенного анализа авторами предлагается метод формирования планировки парковой зоны с помощью алгоритмов генеративного дизайна. Модель данных предметной области, в которую входят: правила, ограничения, рекомендации и т.д., представленные в виде онтологической модели, а также

Размещение, состав и благоустройство зон многофункциональных парков¹

Виды зон*	% общей площади парка	Размещение в составе парка	Ориентировочный состав**
1. Зона массовых мероприятий	5–15	Вблизи главного входа	Пункт охраны, театральные, танцевальные, кино-эстрадные площадки, аттракционы, пункты проката, предприятия общественного питания и розничной торговли, туалеты, поля для фестивалей, массовых игр и т.п.
2. Зона тихого отдыха	75–40	Размещается в наименее посещаемых местах. Должна быть отделена декоративными зелеными насаждениями от зон массовых, физкультурно-оздоровительных, культурно-просветительных мероприятий	Размещение сооружений не допускается. Площадки для отдыха
3. Зона культурно-просветительных мероприятий	3–8	Выделение в отдельной зоне или свободное размещение на территории объектов капитального и некапитального строительства	Выставочные павильоны, предприятия общественного питания и розничной торговли, павильоны для чтения, помещения для любительских занятий, лектории, туалеты
4. Физкультурно-оздоровительная зона	10–20	Рекомендуется объединение в единый комплекс	Физкультурно-оздоровительные и спортивные сооружения: площадки для волейбола, баскетбола, бадминтона, настольного тенниса, многофункциональные спортивные площадки, спортивные площадки для экстремальных видов спорта, каток, площадки для отдыха, пункт проката, предприятия общественного питания и розничной торговли, туалеты
5. Зона для отдыха детей	5–10	Обособленно, на незначительном удалении от входов в парк	Детские игровые площадки, площадки для отдыха, аттракционы (детские)
6. Административно-хозяйственная зона	2–7	Обособленно	Хозяйственные площадки, административные сооружения, автономный выезд на прилегающую улицу, парковки для автотранспорта маломобильных групп населения, пункт охраны, кассы, пункт проката игрового и спортивного инвентаря, пункт проката пикникового инвентаря, информационные стенды, места для уборочной техники, туалеты, площадки для выгула собак

Примечание: * — в зависимости от местных условий в парке допускается преобладание какой-либо одной или двух зон при сокращении площади других (при сохранении минимальной площади зоны тихого отдыха); ** — размещение объектов, необходимых для обслуживания отдыхающих и связанных с природной спецификой парковой среды при максимальном сохранении природного ландшафта.

¹ СП 475.1325800.2020. Парки. Правила градостроительного проектирования и благоустройства. 2020.

выявленные нейросетевыми алгоритмами паттерны и подходы к расположению объектов.

Метод генерации инфраструктуры парка

Этап 1. Чтение файлов настроек.

Перед началом генерации этот алгоритм должен считать файл настроек, если таковой имеется, и/или введенные пользователем дополнительные параметры: наличие детских площадок, размер дорог, расстояние между лавочками (или другими объектами) и т.д. В обязательном порядке необходимо загрузить файл, содержащий OWL-онтологию, с записанными правилами и нормами, которые регламентируют правильное размещение объектов в парке [20–22]. На рис. 1 приведена онтологическая модель СП 475.1325800.2020 «Парки. Правила градостроительного проектирования и благоустройства», на рис. 2 — детализированный фрагмент.

Этап 2. Построение сетки.

Исходя из параметров строится сетка соответствующей размерности. Сетка должна состоять из ячеек, каждая из которых хранит в себе определенную информацию: возможность строительства на ней, объект над этой ячейкой и тип зоны, к которой эта ячейка относится. Для работы алгоритма равномерного заполнения сетки заданной площади были разработаны следующие классы:

1. Класс Ground, с помощью данного класса можно создать экземпляры ячейки земли. Этот объект сможет хранить в себе следующие данные:

- доступен ли он для постройки;
- какой тип объекта находится над ним;
- к какой зоне он принадлежит;
- какой материал нужен для окрашивания зоны, к которой относится объект. В будущем будет использоваться для нанесения текстур.

2. Класс GronudBuilder — основной класс данного модуля. С его помощью можно запустить алгоритм построения ячеек земли, а также он хранит сетку земли.

Процесс работы алгоритма:

- получение размерности — длина и ширина сетки;
- создание виртуальной сетки — создается сетка полученной размерности, каждой ячейки которой соответствует экземпляр класса Ground;
- построение модели — строится модель земли для парка, опираясь на данные, которые хранятся в виртуальной сетке.

Этап 3. Вычисление зон.

После построения сетки вычисляются свободные А-квадраты и разделяются на зоны.

Алгоритм расчета площади каждой зоны, построения этих зон и размещения объектов внутри них представляет собой следующую последовательность действий:

1. Алгоритм получает список зон для генерации.

2. Происходит расчет площадей в зависимости от общей площади. Площадь зоны рассчитывается по формуле:

$$S_z = \frac{p \cdot 100}{S}, \quad (1)$$

где S_z — площадь зоны; p — ее процент от общей площади; S — общая площадь застройки.

3. Исходя из порядка генерации, начинается генерация каждой из зон с соблюдением правил, заданных пользователем (рис. 3). Генерация одной зоны происходит следующим образом:

3.1. Рассчитывается центральная точка зоны относительно точки ориентира. То есть зона должна входить в границы парка всей своей площадью (пересечение с другими зона разрешается). Точкой ориентира может быть явный объект, как в случае с зоной массовых мероприятий, где точкой ориентира может служить главный вход в парк, если таковой имеется.

3.2. После нахождения центральной точки рассчитываются координаты крайней левой нижней и крайней верхней правой ячеек для построения прямоугольника зоны.

3.3. По координатам строится прямоугольная зона.

3.4. В этой зоне располагаются объекты. По следующему принципу: наибольший приоритет → наибольший размер.

3.5. Переход к следующей зоне и начало работы с пункта 3.1.

Данные зоны можно будет заполнить различными объектами одного типа и окружить их прогулочными дорожками. Например, можно сделать коммерческую зону, в которой будут продаваться еда или стоять аттракционы; зеленую зону с деревьями, клумбами и фонтанами и т.д.

Этап 4. Чтение точек входа.

Алгоритм считывает введенные пользователем входы в парк и генерирует между ними маршруты одним из нескольких способов:

1. Часы — генерации дороги от одного входа к следующему ближайшему по часовой стрелке, получая в итоге дорогу практически по периметру парка.

2. Паутина — генерация дороги от каждого входа в каждый вход. Допустим, имеется 4 входа в будущий парк, соответственно каждый вход будет иметь дорогу в каждый из входов. Всего в каждом из таких входов должно быть по три дороги в остальные.

3. Комбинированный — комбинация из двух предыдущих способов.

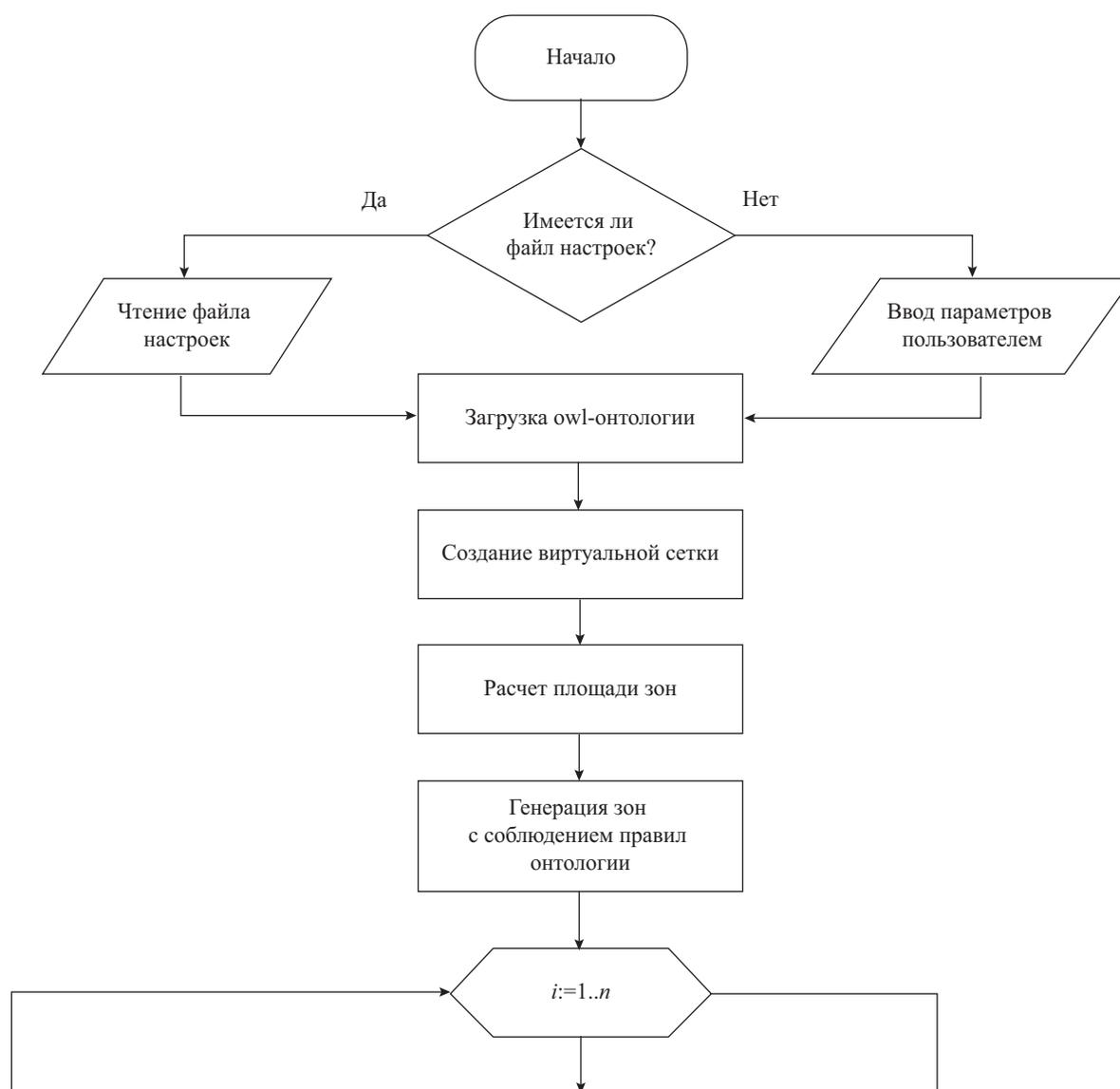
Алгоритм построения маршрутов представляет собой следующую последовательность действий:

1. Начальной ячейкой задается один из входов в парк, а конечной любой другой.

2. Алгоритм получает список доступных ячеек для перемещения ячеек. Доступными являются



Рис. 2. Детализированный фрагмент OWL-онтологии СП 475.1325800.2020



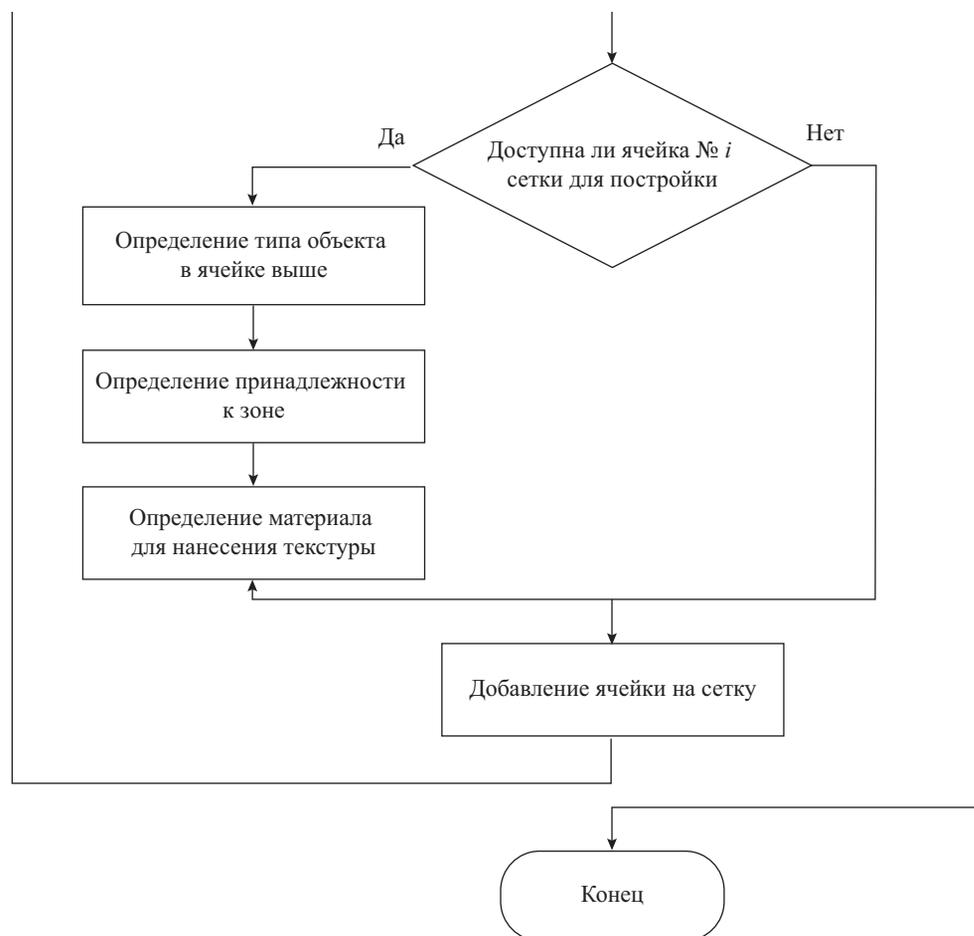


Рис. 3. Генерация зон с добавлением ячеек на сетку

те ячейки, которые примыкают к текущей и на них есть возможность строить объекты.

3. Для всех найденных ячеек текущая записывается как предыдущая.

4. Далее проходит расчет стоимости каждой ячейки, исходя из ее стоимости и дистанции до конечной точки. Дистанция рассчитывается по формуле:

$$D = |A_x - B_x| + |A_y - B_y|, \quad (2)$$

где A — текущая ячейка; B — конечная.

Если есть возможность передвижения по диагонали, то больше подойдет формула:

$$D = \sqrt{(A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2}. \quad (3)$$

Стоимость рассчитывается по следующей формуле:

$$Z = D - (A_c + B_c), \quad (4)$$

где D — дистанция от текущей ячейки до конечной; A — текущая ячейка; B — соседняя свободная ячейка.

5. Просматривается стоимость всех вычисляемых ячеек, даже если эта ячейка находилась в списке исследованных.

6. Если стоимость рассматриваемой выгоднее других, то она становится текущей, даже если она

была уже исследована, но тогда ее предыдущая ячейка перезаписывается.

7. Если это была конечная точка, то алгоритм заканчивает работу, если нет, то повторяет пункты 2–5.

8. По итогу получается, что от конечной ячейки у нас есть путь из предыдущих ячеек до начальной, по которым и строится дорога.

Исходя из выбранного метода, строится дорога, одновременно генерируются и «простые» объекты, например, лавочки с мусорными баками, которые должны стоять около дорог (рис. 4). Также это могут быть объекты зеленой зоны, например деревья, клумбы или фонтаны. Предполагается, что каждый генерируемый объект занимает либо целый A -квадрат, либо какую-то его часть, так чтобы другой объект мог занять свободное место.

Этап 5. Построение ограды.

После завершения генерации нужно вернуться к F -квадратам, а именно тем, в которых есть части плоскости полигона. Исходя из их данных, по границам плоскости полигона нужно сгенерировать ограду, кроме точек входа (они тоже являются F -квадратами) в них должны быть ворота. Предполагается, что должны быть различные вариации ограждений, которые также может выбрать пользователь.

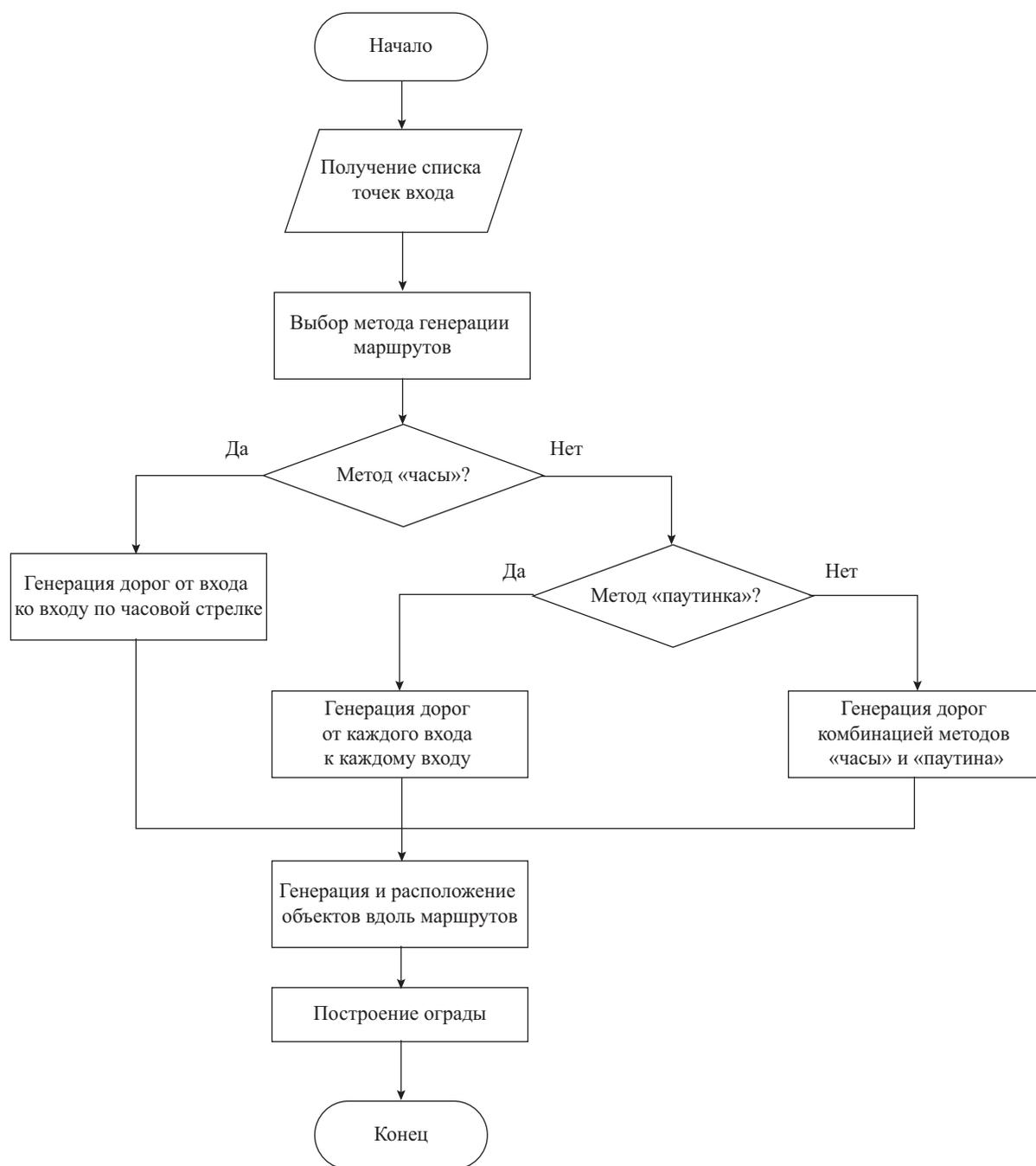


Рис. 4. Построение маршрутов дорог и расположение объектов

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Реализация метода показана с помощью кросс-платформенной среды разработки компьютерных игр Unity. Данное решение на текущем этапе имеет несколько основных модулей, которые отвечают за те или иные части алгоритма: GroundBuilder, AreaBuilder и RoadBuilder. В качестве входных данных пользователь задает параметры внутри объектов, которые были рассмотрены выше. Выходными данными служит сгенерированная планировка внутри интерфейса Unity.

Шаг 1. Программа считывает данные со всех модулей и запускает модуль GroundBuilder. Этот модуль

генерирует плоскость «земли», разделенную на ячейки. Каждая ячейка имеет свои параметры. Основными являются: разрешение на строительство, тип зоны и информация о типе объекта над собой.

Шаг 2. После создания плоскости GroundBuilder передает сигнал RoadBuilder, который в свою очередь расставляет входы в предполагаемый парк. После чего передает сигнал AreaBuilder.

Шаг 3. На текущем этапе разработки модуль AreaBuilder строит только две зоны: зону массовых мероприятий и зону тишины или отдыха.

Шаг 3.1. Генерация начинается с зоны массовых мероприятий от главного входа. Исходя из допустимого процента, который может данная зона

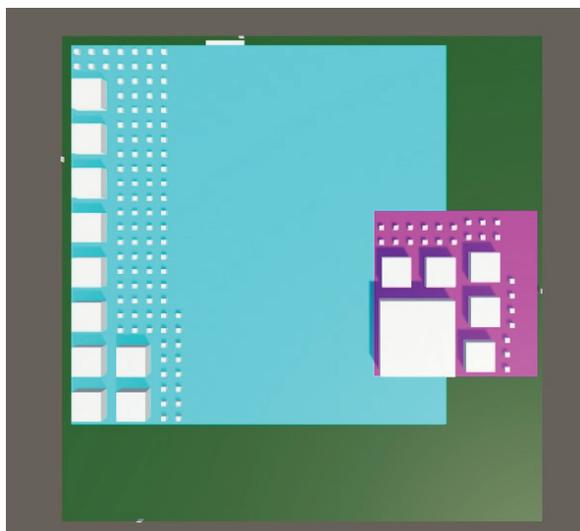


Рис. 5. Построение зон и заполнение их объектами

занять, высчитывается ее площадь и радиус, на который она может распространиться.

Шаг 3.2. Ячейки земли изменяют свой тип на соответствующий.

Шаг 3.3. Генерируются объекты, характерные для этой зоны.

Шаг 3.4. Зона тишины генерируется в самой дальней точке от зоны массовых мероприятий. Дальше повторяются пункты 3.2–3.3 (рис. 5).

Шаг 4. RoadBuilder генерирует тропинки между входами, избегая препятствия с помощью алгоритма кратчайшего пути, а также строит дополнительные объекты, такие как лавочки и мусорные баки.

Шаг 5. Пользователь получает 3-мерный сгенерированный парк (рис. 6).

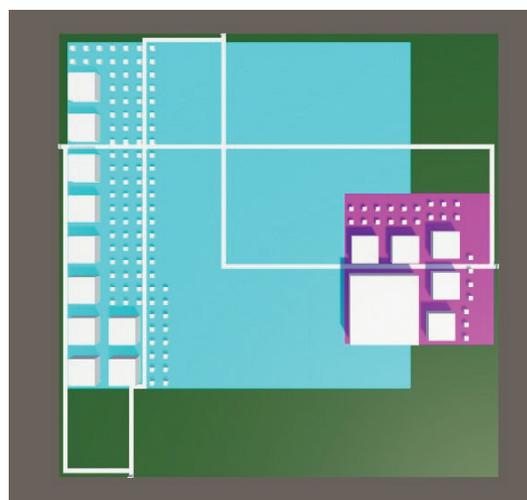


Рис. 6. Пример сгенерированного парка с отмеченными зонами

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Приведен обзор существующих подходов к генеративному дизайну в области градостроительства. Предложен метод формирования планировки парковой территории на основе технологий генеративного дизайна, а также онтологического инжиниринга. Данный подход позволит сократить время на проектирование новых территорий и оценку существующих проектов.

В дальнейших исследованиях предполагается расширение онтологической модели за счет добавления новых сводов правил, усовершенствование алгоритмов генерации, добавление интерактивности, а также правил формирования городских территорий, реализация предложенных подходов и методов в наиболее популярных программных продуктах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Слиз В.Д., Сальников В.Б. Преимущества генеративного дизайна // Уральские ТИМ чтения. Технологии информационного моделирования зданий и территорий : мат. науч.-практ. Всеросс. конф. 2020. С. 23–27. EDN AIFOUH.

2. Лаушкина А.А., Басов О.О. Применение методов генеративного дизайна с использованием мульти-модальных данных в сфере архитектуры и градостроительства // Научный результат. Информационные технологии. 2021. Т. 6. № 3. С. 3–10. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-3-0-1. EDN TPOQSQ.

3. Родионова Ю.В., Пахтаева А.А. Применение технологий искусственного интеллекта для генеративного ландшафтного проектирования // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве : мат. науч.-практ. конф. с междунар. участием. 2020. С. 19. EDN ВНААКГ.

4. Айрапетян Н.Г., Зайцев А.А. Повышение эффективности использования земельного участка на ос-

нове генеративного дизайна // Журнал правовых и экономических исследований. 2021. № 3. С. 129–136. DOI: 10.26163/GIEF.2021.47.55.019. EDN UQHSUX.

5. Гаряева В.В., Гаряев А.Н. Обработка информации при автоматизации строительного проектирования с использованием технологии генеративного дизайна // Научно-технический вестник Поволжья. 2022. № 4. С. 61–63. EDN RWILTM.

6. Moscovitz O., Barath S. A generative design approach to urban sustainability rating systems during early-stage urban development // CAADRIA Proceedings. 2022. Vol. 1. Pp. 171–180. DOI: 10.52842/conf.caadria.2022.1.171

7. Sun Y., Dogan T. Generative methods for Urban design and rapid solution space exploration. 2022. DOI: 10.48550/arXiv.2212.06783

8. Kumalasari D., Koeva M.N., Vahdatikhaki F., Petrova-Antonova D., Kuffer M. Generative design for walkable cities: a case study of Sofia // The International

Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2022. Vol. XLVIII-4/W5-2022. Pp. 75–82. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W5-2022-75-2022

9. Wang D., Wu L., Zhang D., Zhou J., Sun L., Fu Y. Human-instructed Deep Hierarchical Generative Learning for Automated Urban Planning. 2022. DOI: 10.48550/arXiv.2212.00904

10. Yufan M., Reinhard K., Katja K. The Development of Optimization Methods in Generative Urban Design : a Review // SimAUD: Symposium on Simulation for Architecture & Urban Design. 2020.

11. Koenig R., Miao Y., Aichinger A., Knecht K., Konieva K. Integrating urban analysis, generative design, and evolutionary optimization for solving urban design problems // Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science. 2020. Vol. 47. Issue 6. Pp. 997–1013. DOI: 10.1177/2399808319894986

12. Koma S., Yamabe Y., Tani A. Research on urban landscape design using the interactive genetic algorithm and 3D images // Visualization in Engineering. 2017. Vol. 5. Issue 1. DOI: 10.1186/s40327-016-0039-5

13. Рейзбих Е.И. Инструменты капитализма на службе у этики умного города // Архитектура и градостроительство, дизайн и изобразительное искусство – 2021: теория и история, художественное творчество и проекты : сб. тр. юбилейной Международ. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию первого выпуска высшей архитектурно-дизайнерской школы на Алтае. 2022. С. 476–482. EDN KSGWTD.

14. Misami Azad F. The Average Best Solution: A Generative Design Tool for Multi-Objective Optimization of Free-Form Diagrid Structures : abstract. Waterloo, Ontario, Canada, 2014.

15. Oksuz E.B. Generating Through Allometry in Architecture: A design Approach for Relational Mor-

phogenesis // Proceedings of XVI Generative Art Conference GA. 2013. Pp. 89–103.

16. Yeh A.G.O., Li X. Simulation of Development Alternatives Using Neural Networks, Cellular Automata, and GIS for Urban Planning // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 2003. Vol. 69. Issue 9. Pp. 1043–1052. DOI: 10.14358/pers.69.9.1043

17. Баранова В.А. Генеративный дизайн в проектировании промышленных изделий // Молодость. Интеллект. Инициатива : мат. VIII Междунар. науч.-практ. конф. студентов и магистрантов. 2020. С. 426–427. EDN JPLFCN.

18. Пахтаева А.Я. Применение генетического алгоритма и нейросетевого классификатора для генеративного дизайна паркового ландшафта. Новосибирск, 2020. URL: https://nsuada.ru/files/ksnp-2020/dizayn/4_Paxtaeva.pdf

19. Сметанина Н.И. Генеративный дизайн как новый инструмент дизайна и проектирования // Искусство глазами молодых : мат. X Междунар. науч. конф. 2018. С. 76–77. EDN TYKXYU.

20. Божук В.Н. Градостроительная оценка территории при размещении тематических развлекательных парков // Интернет-журнал Науковедение. 2016. Т. 8. № 3 (34). С. 109. EDN WIRJYT.

21. Ивлякова А.Ю., Чесноков Н.Н., Рудая О.А. Ландшафтная архитектура и градостроительство // Наука и Образование. 2021. Т. 4. № 1. EDN CPMTHW.

22. Горлов Д.А., Рашевский Н.М., Дятлов К.А., Залинян А.К., Щербаков А.Г. Применение онтологической модели представления знаний в проектировании архитектурных объектов // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2022. № 6 (61). С. 22–25. DOI: 10.55341/ptrbs.2022.61.6.001. EDN MLZNDD.

Поступила в редакцию 24 января 2024 г.

Принята в доработанном виде 29 ноября 2024 г.

Одобрена для публикации 29 января 2025 г.

ОБ АВТОРАХ: **Николай Михайлович Рашевский** — кандидат технических наук, доцент кафедры цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве; **Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ)**; 400005, г. Волгоград, пр-т им. В.И. Ленина, д. 28; rashevsky.n@gmail.com;

Константин Романович Назаров — аспирант кафедры цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве; **Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ)**; 400005, г. Волгоград, пр-т им. В.И. Ленина, д. 28; nazkostja@gmail.com;

Вячеслав Андреевич Джагаев — магистрант кафедры цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве; **Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ)**; 400005, г. Волгоград, пр-т им. В.И. Ленина, д. 28; vyacheslav.dzh@gmail.com;

Артем Геннадьевич Щербаков — ассистент кафедры цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве; **Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ)**; 400005, г. Волгоград, пр-т им. В.И. Ленина, д. 28; artem.shcherbakov01@gmail.com;

Артём Дмитриевич Чикин — ассистент кафедры цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве; **Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ)**; 400005, г. Волгоград, пр-т им. В.И. Ленина, д. 28; artyom.chikin@gmail.com.

Вклад авторов:

Рашиевский Н.М. — научное руководство, концепция исследования, участие в разработке учебных программ и их реализации, написание исходного текста.

Назаров К.Р. — концепция исследования, участие в разработке учебных программ и их реализации, написание исходного текста, итоговые выводы.

Джагаев В.А. — участие в разработке учебных программ и их реализации, написание исходного текста.

Щербаков А.Г. — участие в разработке учебных программ и их реализации, написание исходного текста.

Чикин А.Д. — участие в разработке учебных программ и их реализации, написание исходного текста, доработка текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

Automation of professional activity affects many spheres of life in modern society. In the field of urban planning and architecture, automated design technologies are developing. One of the leading and young trends, which annually gains momentum and modernizes its capabilities, is generative design. This method of computer-aided design allows specialists to perform tasks in the shortest possible time, demonstrate numerous generated solution options to clients and minimize various engineering risks in project documentation. Generative design simplifies the designer's work by delegating responsibilities to software (SW), thereby increasing the efficiency of the specialist. In tandem with neural network technologies, this method will intellectualize the process of project generation.

Thus, it is necessary to explore the possibilities and prospects of generative technologies and introduce them into urban planning activities to acquire a better level of design solutions.

Generative design is an approach to design based on a set of computational algorithms that select many variants of solving a given problem based on given parameters and select the most optimal results [1].

The generation of a huge set of solutions (specimens) is performed by a computer through mathematical algorithms and machine learning. The result of this process is not one or a few suitable solutions, but many specimens. In this regard, design becomes a study of cause and effect relationships.

There are few domestic studies of generative design and its technologies from the point of view of urban planning practice. This direction is only developing, but theoretical works answer many questions related to the advantages [1] and possibilities of generative design application. In the scientific paper by A.A. Laushkina [2] the existing methods and algorithms of generative design in urban planning taking into account changes in the characteristics of the environment are considered. Based on the analysis of existing solutions, various limitations faced by developers were identified, the main of which is the need to make changes in user mode.

Practical research also takes place in the scientific works of domestic scientists. For example, the project

of A.Y. Pakhtaeva and Y.V. Rodionova [3] developed a generative design method for landscape design, which forms a technical task for developers of artificial intelligence systems. The idea is that based on certain factors influencing generative decisions, the system models regular and natural processes by describing them using a set of rules in the computer-aided design system. The method makes it possible to form a pedestrian-trail network of the park on the basis of determining the points of attraction of residents and building a predictable projection of pedestrian movement, as well as using machine learning to carry out aesthetic selection of objects. The principles of innovative approach in the processes of the pre-project stage are revealed in the article by N.G. Hayrapetyan and A.A. Zaitsev [4], namely, the analysis of the most effective use of the land plot for future development with the help of generative design. The mentioned approach makes it possible to obtain the maximum economic potential of territories, to increase the efficiency of the process of development of preliminary due diligence at the early stages of the project.

In the work of V.V. Garyaeva and A.N. Garyaev [5] present the results of analysis and practical implementation of approaches to information processing when automating construction design using generative design technology. The developed method allowed using certain software products to automatically create a set of solutions for the task of conceptual building modelling, thereby reducing the time spent by a specialist on the development of design documentation.

Foreign scientists have made a huge contribution to the innovative development of the generative design industry in terms of its implementation in practical urban planning activities. We can mention the works of the following researchers: O. Moskovitz, Sheini Barat [6], Yue Sun [7], D. Kumalasari [8], Dongjie Wang [9], Reinhard Koenig [10, 11], Seiki Koma, Yuichiro Yamabe [12].

E.I. Reisbich in his article [13] suggests using generative design to test any projects before their implementation, namely, what impact they will have on the environment and what problems can be encountered during implementation. In this paper, the author talks about the use of generative design tools in the open

source programme Grasshopper [14]. E.B. Oxuse proposes to apply generative design and allometry to create more efficient forms at the city scale [15]. A. Yeh and K. Lee raise the topic of combining neural network methods and generative design as a proposed future development of technology [16].

Reinhard Koenig [11] described the successful application of the Evolutionary Optimization Algorithm (EMO) to create multiple planning structures such as street networks, neighbourhoods, land parcels and buildings. The use of the data structure is implemented in Grasshopper software for Rhino3D as part of a flexible, modular and extensible optimization system that can be applied to a variety of urban design problems and is able to reconcile potentially conflicting design goals in a semi-automatic manner. Seiki Koma and Yuichiro Yamabe [12], in their experimental study, proposed an urban landscape design optimization system using interactive genetic algorithm (IGA). Using this method, the researchers determined the optimal way to incorporate citizens' opinions of comfortable urban environment into computer-aided design technology for street frontage evaluation.

Using conventional tools, a huge amount of time will be spent designing for just one layout option, of which there are often several required.

This is exactly where generative design can help. Thanks to it, the designer can provide different variants of layouts in a shorter period of time, spending much less resources and time [17, 18]. At the same time, he does not need to know all the rules and constraints by which the drawing is formed, because all this will already be taken into account during generation. As N.I. Smetanina said: "Generative design takes into account and analyses a large amount of data when working, taking into account many factors and selecting the most important ones" [19]. This method will simpli-

fy the work of many architects, raise their productivity and quality of work to a new level.

MATERIALS AND METHODS

At the stage of preparation of the landscaping project, rough rules for the location of the various park facilities are defined and the park area is divided into zones. The placement of these zones is determined by their purpose, the location of the main entrance, the location of the park, the topography of the territory, the presence of water bodies and the composition of green spaces.

The areas of mass spectator events and physical fitness facilities, which attract many visitors, are placed in the area of the main entrance.

The main entrance to the park shall be designed with regard to the supplying thoroughfares and streets. In addition, there should be secondary entrances from adjacent streets and utility entrances. The children's area is located away from the entertainment area and physical education facilities.

The quiet recreation zone is as far as possible from the source of noise and is located in the most picturesque part of the park, among plantations, near water bodies. It should include areas with rugged terrain and, if possible, be adjacent to natural massifs.

The main background of the park is green spaces, so all the buildings in the park should be integrated into the greenery and harmoniously combine with each other, complementing the beauty of each other, creating the impression of a single harmonious ensemble.

The main means of artistic composition of the park are green spaces, which change over time. Therefore, the architectural and planning composition of parks should take into account their development over a number of years.

Location, composition and landscaping of multifunctional park areas¹

Types of zones*	% of total park area	Accommodation as part of the park	Indicative composition**
1. Public events zone	5–15	Near the main entrance	Security point, theatre, dance, film and variety venues, amusement rides, rental facilities, catering and retail outlets, toilets, fields for festivals, mass games, etc.
2. Quiet recreation area	75–40	It shall be located in the least frequented places. It should be separated by decorative green plantings from the areas of mass, physical culture, recreational, cultural and educational events	Placement of structures shall not be permitted. Recreational areas
3. Cultural and educational events zone	3–8	Allocation in a separate zone or free placement of capital and non-capital construction objects on the territory	Exhibition pavilions, catering and retail establishments, reading pavilions, amateur activity rooms, lecture halls, toilets

¹ CP 475.1325800.2020. Parks. Rules for urban planning design and landscaping. 2020.

End of the Table

Types of zones*	% of total park area	Accommodation as part of the park	Indicative composition**
4. Fitness and recreational area	10–20	It is recommended to combine into a single complex	Sports and recreational facilities: volleyball, basketball, badminton, table tennis courts, multifunctional sports grounds, sports grounds for extreme sports, skating rink, recreation grounds, rentals, catering and retail outlets, toilets
5. Children's recreation area	5–10	Detached, at a slight distance from the park entrances	Children's playgrounds, recreation grounds, amusement rides (children's)
6. Administrative and economic zone	2–7	Separately	Service areas, administrative buildings, autonomous exit to the adjacent street, car parks for vehicles of low mobility groups, security point, ticket office, playground and sports equipment rental, picnic equipment rental, information boards, places for cleaning equipment, toilets, dog walking areas

Note: * — depending on local conditions in the park it is allowed to dominate one or two zones while reducing the area of other zones (while maintaining the minimum area of the quiet recreation zone); ** — placement of objects necessary for servicing holidaymakers and related to the natural specifics of the park environment with maximum preservation of the natural landscape.

Approximate data on the location, composition and landscaping of mixed-use park areas are shown in the table below.

Based on the analysis, the authors propose a method of forming the layout of a park area using generative design algorithms. The data model of the subject area, which includes: rules, constraints, recommendations, etc., presented in the form of an ontological model, as well as patterns and approaches to the location of objects identified by neural network algorithms.

Method of generating park infrastructure

Step 1: Read the settings files.

Before starting the generation, this algorithm must read the settings file, if any, and/or additional parameters entered by the user: the presence of playgrounds, the size of roads, the distance between benches (or other objects), etc. It is mandatory to load a file containing an OWL ontology with recorded rules and regulations that govern the correct placement of objects in the park [20–22]. Fig. 1 shows the ontological model of CP 475.1325800.2020 “Parks. Rules of urban planning design and landscaping”, Fig. 2 shows a detailed fragment.

Step 2: Grid construction.

Based on the parameters, a grid of appropriate dimensionality is constructed. The grid should consist of cells, each of which stores certain information: the possibility of building on it, the object above this cell and the type of zone to which this cell belongs. The following classes have been developed for the operation of the algorithm of uniform filling of the grid of a given area:

1. Ground class, with this class you can create instances of a ground cell. This object will be able to store the following data in it:

- if it's available for construction;
- what type of object is above it;
- which zone it belongs to;

• what material is needed to colour the area to which the object belongs. In the future it will be used to apply textures.

2. The *GronudBuilder* class is the main class of this module. It can be used to run the algorithm for building ground cells, and it also stores the ground mesh.

Algorithm process:

- obtaining dimensionality — length and width of the grid;
- virtual grid creation — a grid of the obtained dimensionality is created, each cell of which corresponds to an instance of the *Ground* class;
- model building — a model of the land for the park is built, based on data that is stored in a virtual grid.

Step 3: Calculating the zones.

After grid construction, the free A-squares are calculated and divided into zones.

The algorithm for calculating the area of each zone, constructing these zones and placing objects within them is the following sequence of actions:

1. The algorithm receives a list of zones to generate.
2. Area calculation takes place depending on the total area. The area of the zone is calculated according to the formula:

$$S_z = \frac{p \cdot 100}{S}, \quad (1)$$

where S_z is the area of the zone; p is its percentage of the total area; S is the total built-up area.

3. Based on the generation order, the generation of each zone starts, following the rules defined by the user (Fig. 3). Generation of one zone is performed as follows:

3.1. The centre point of the zone is calculated relative to the point of reference. That is, the zone must be within the park boundaries with its entire area (intersection with other zones is allowed). The point of refer-

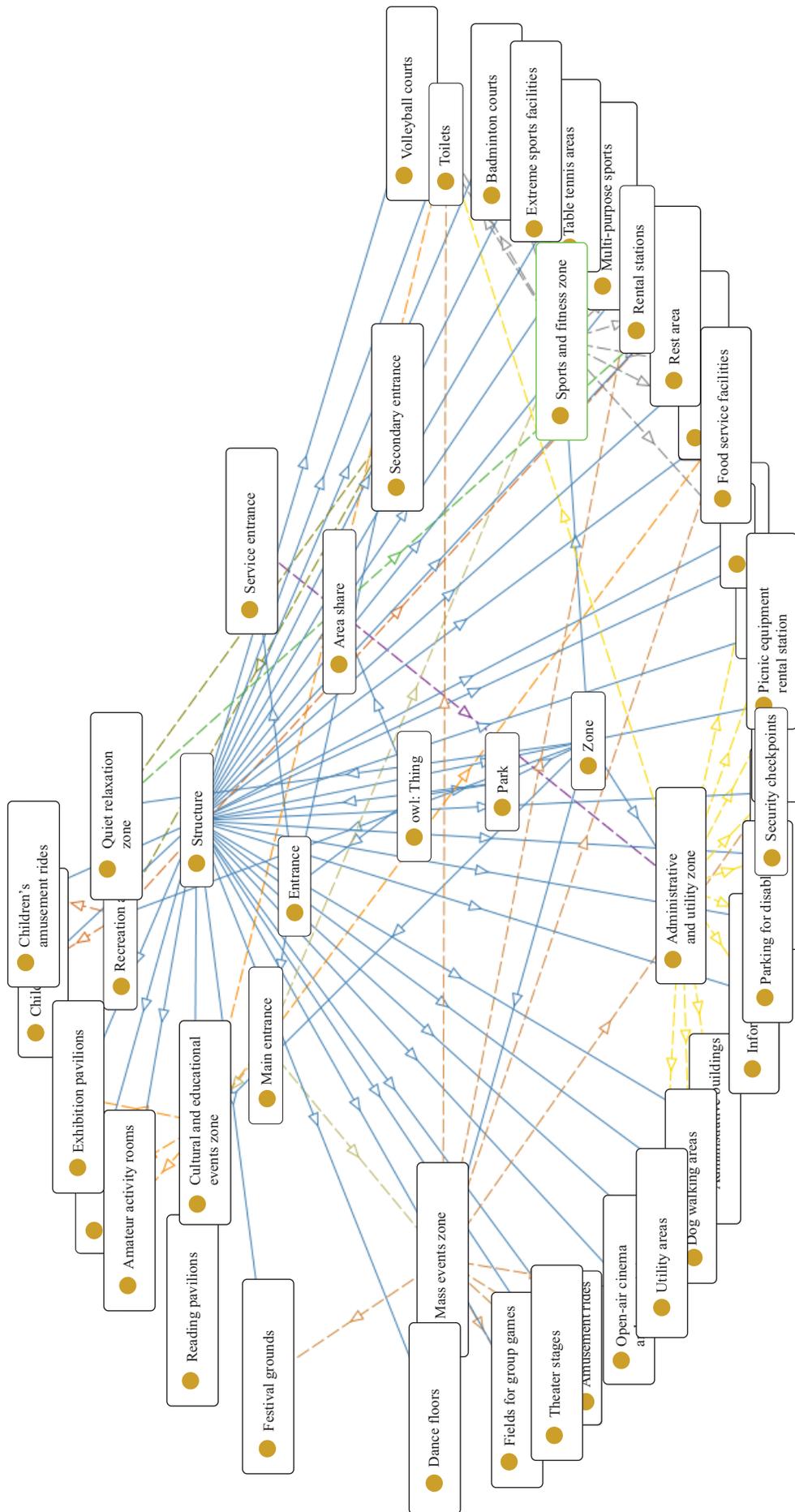


Fig. 1. OWL-ontology of CP 475.1325800.2020

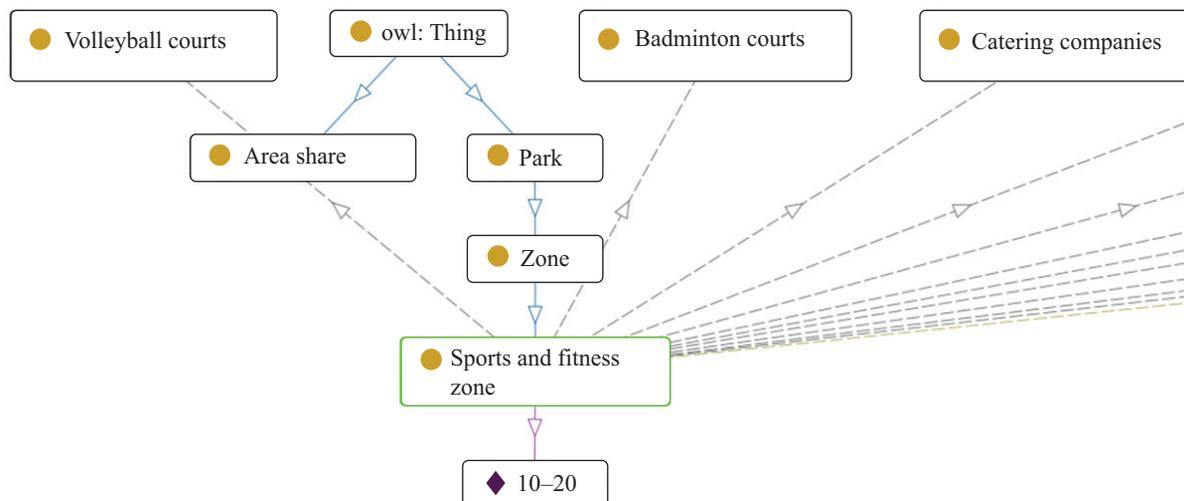
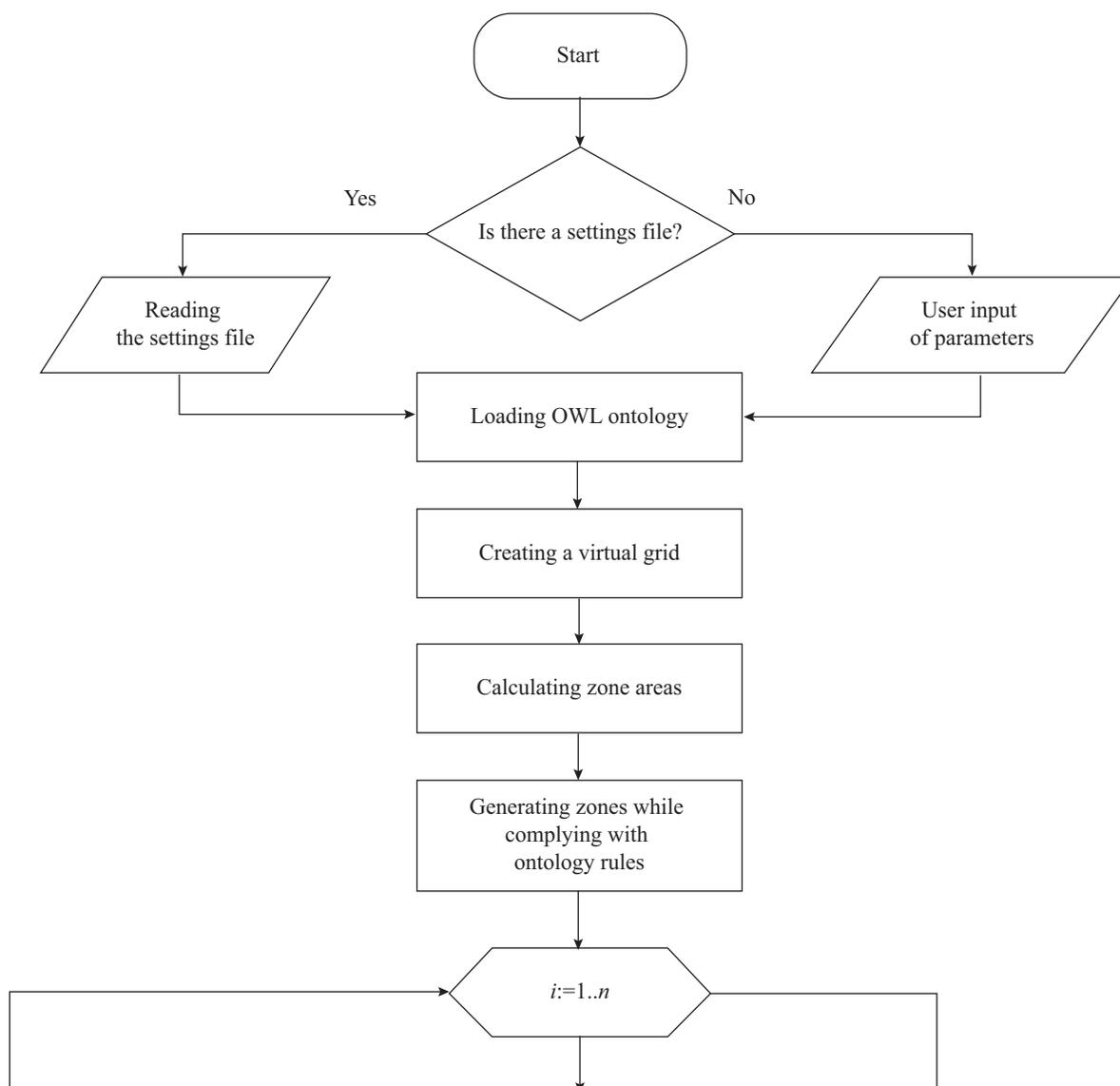


Fig. 2. Detailed fragment of OWL-ontology CP 475.1325800.2020



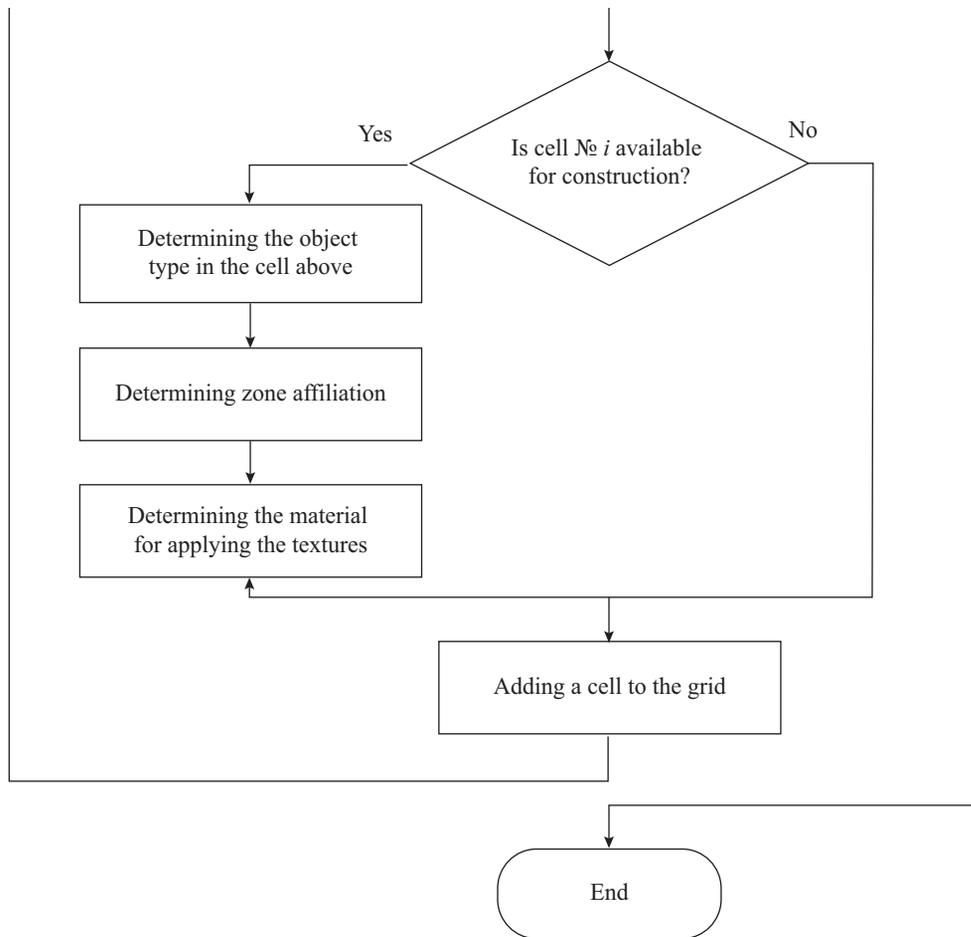


Fig. 3. Zone generation with adding cells to the grid

ence can be an obvious object, as in the case of the mass event zone, where the point of reference can be the main entrance to the park, if there is one.

3.2. After finding the centre point, the coordinates of the leftmost lower and rightmost upper cells are calculated to build the zone rectangle.

3.3. A rectangular zone is constructed from the coordinates.

3.4. Objects are placed in this zone. According to the following principle: highest priority → largest size.

3.5. Move to the next zone and start from point 3.1.

These zones can be filled with different objects of the same type and surrounded by walkways. For example, there could be a commercial zone with food sales or amusement rides; a green zone with trees, flowerbeds and fountains, etc.

Step 4: Reading the entry points.

The algorithm reads the park entrances entered by the user and generates routes between them in one of several ways:

1. Clockwise — generating a road from one entrance to the next nearest clockwise, ending up with a road almost around the perimeter of the park.

2. Web — generation of a road from each entrance to each entrance. Suppose there are 4 entrances to the future park, respectively each entrance will have

a road to each of the entrances. In total, each of these entrances should have three roads to the other entrances.

3. Combined — a combination of the two previous methods.

The algorithm of route construction is the following sequence of actions:

1. The start cell is defined as one of the entrances to the park, and the end cell as any other.

2. The algorithm receives a list of available cells for moving cells. The available cells are those that are adjacent to the current cell and on which it is possible to build objects.

3. For all cells found, the current cell is written as the previous cell.

4. Next, the cost of each cell is calculated based on its cost and the distance to the end point. The distance is calculated according to the formula:

$$D = |A_x - B_x| + |A_y - B_y|, \quad (2)$$

where A is the current cell; B is the destination cell.

If there is a possibility of travelling diagonally, the formula is more suitable:

$$D = \sqrt{(A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2}. \quad (3)$$

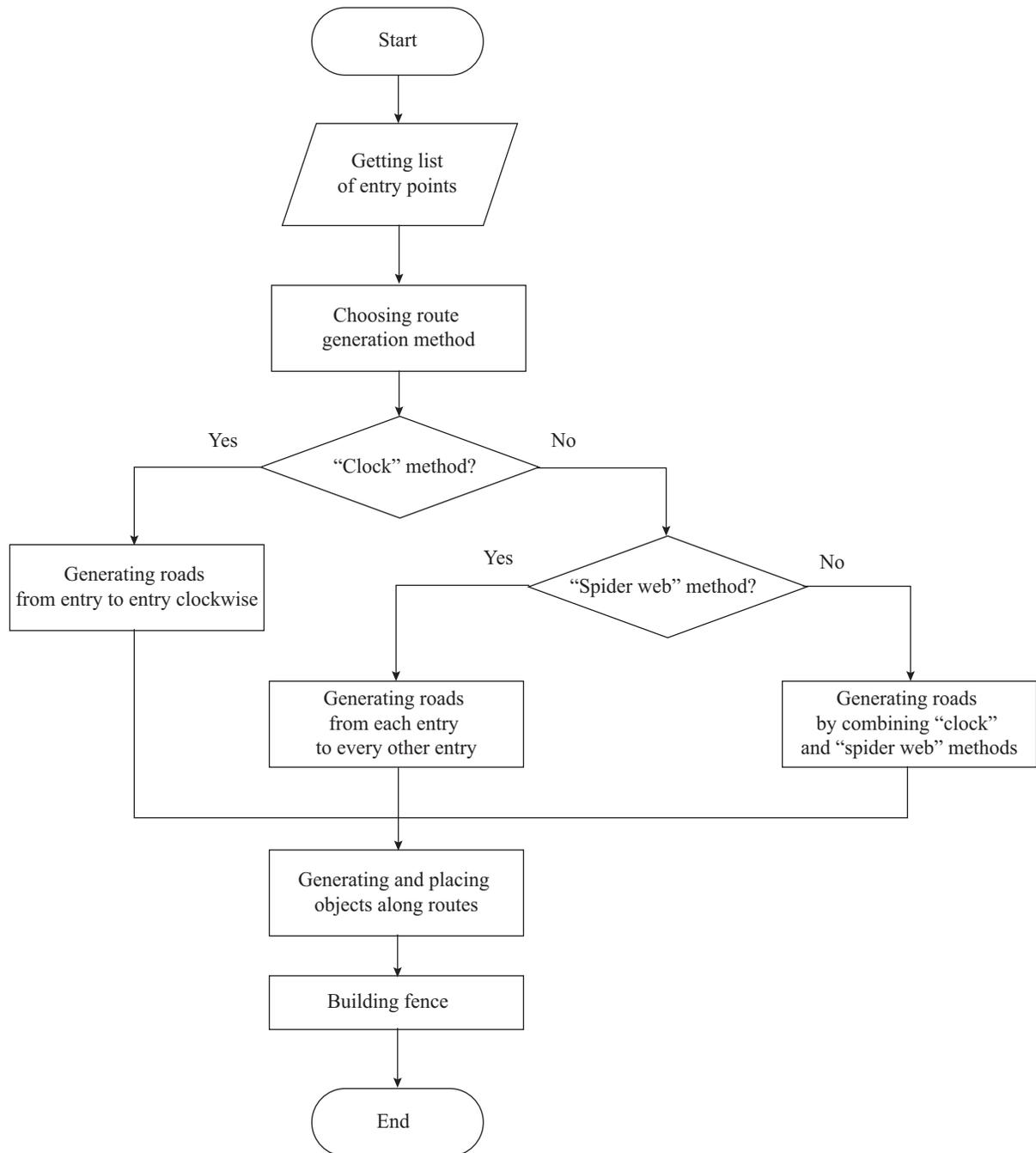


Fig. 4. Construction of road routes and location of objects

The cost is calculated using the following formula:

$$Z = D - (A_c + B_c), \quad (4)$$

where D is the distance from the current cell to the destination cell; A is current cell; B is the neighbouring free cell.

5. The value of all calculated cells is viewed, even if that cell was in the list of investigated cells.

6. If the cost of the one under consideration is more favourable than others, it becomes the current one, even if it has already been investigated, but then its previous cell is overwritten.

7. If this was the endpoint, the algorithm terminates, if not, it repeats steps 2–5.

8. As a result, we have a path from the final cell from the previous cells to the initial cell, along which the road is built.

Based on the selected method, a road is built, and at the same time “simple” objects are generated, such as benches with bins, which should stand near the road (Fig. 4). They can also be green space objects, such as trees, flowerbeds or fountains. Each generated object is assumed to occupy either the whole A -square or some part of it, so that another object can occupy the free space.

Step 5: Building a fence.

After the generation is complete, we need to return to F -squares, namely those that contain parts of the polygon plane. Based on their data, a fence should be gener-

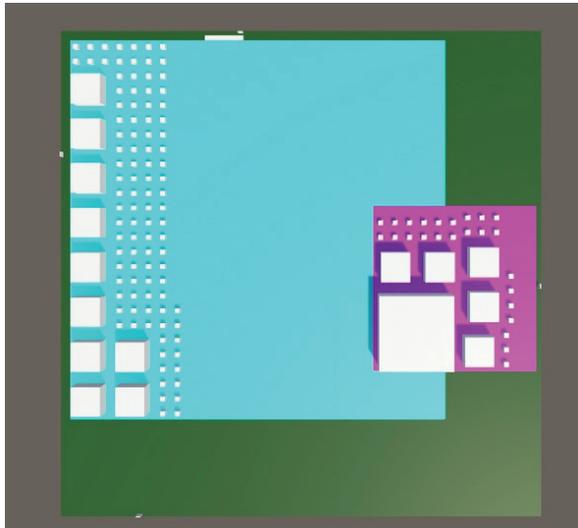


Fig. 5. Building zones and filling them with objects

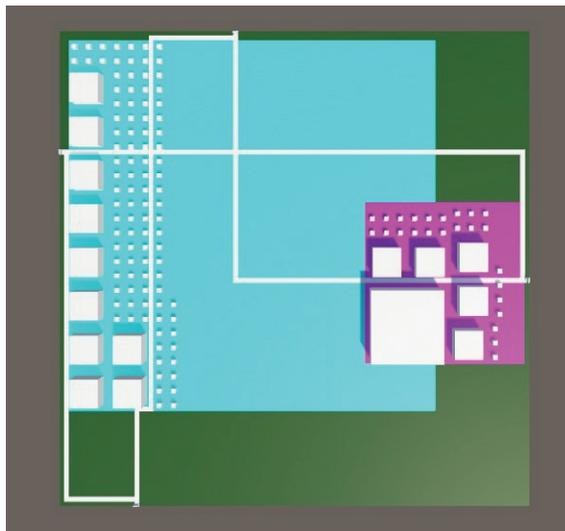


Fig. 6. Example of generated park with marked zones

ated along the boundaries of the polygon plane, except for the entry points (they are also F -squares) there should be gates in them. It is assumed that there should be different variations of fences, which can also be chosen by the user.

RESEARCH RESULTS

The implementation of the method is shown using the Unity cross-platform computer game development environment. This solution at the current stage has several main modules that are responsible for certain parts of the algorithm: GroundBuilder, AreaBuilder and

RoadBuilder. As input data, the user sets parameters inside the objects that were discussed above. The output data is the generated layout inside the Unity interface.

Step 1: The programme reads data from all modules and starts the GroundBuilder module. This module generates a ground plane divided into cells. Each cell has its own parameters. The main ones are: building permit, zone type and information about the type of object above it.

Step 2: After creating the plane, GroundBuilder sends a signal to RoadBuilder, which in turn places the entrances to the proposed park. After that it sends a signal to the AreaBuilder.

Step 3: At the current stage of development, the AreaBuilder module builds only two zones: Mass Event Zone and the Quiet or Rest Zone.

Step 3.1. Generation starts with the mass event zone from the main entrance. Based on the allowable percentage that this zone can occupy, its area and the radius to which it can extend are calculated.

Step 3.2. The ground cells change their type to the appropriate one.

Step 3.3. Objects characteristic for this zone are generated.

Step 3.4. The silence zone is generated at the furthest point from the mass events zone. Steps 3.2–3.3 are repeated (Fig. 5).

Step 4: RoadBuilder generates paths between entrances, avoiding obstacles using a shortest path algorithm, and builds additional objects such as benches and rubbish bins.

Step 5: The user gets the 3-dimensional generated park (Fig. 6).

CONCLUSION AND DISCUSSION

A review of existing approaches to generative design in the field of urban planning is given. The method of park area layout formation based on generative design technologies and ontological engineering is proposed. This approach will reduce the time for designing new territories and evaluating existing projects.

In further research it is supposed to expand the ontological model by adding new sets of rules, improve the generation algorithms, add interactivity, as well as rules for the formation of urban areas, and implement the proposed approaches and methods in the most popular software products.

REFERENCES

1. Slizh V.D., Salnikov V.B. Advantages of generative design. Ural TIM readings. *Technologies of information modeling of buildings and territories : materials of the scientific and practical All-Russian conference*. 2020; 23-27. EDN AIFOUH. (rus.).
2. Laushkina A.A., Basov O.O. Application of generative design methods using multimodal data in the field of architecture and urban planning. *Scientific Result. Information Technologies*. 2021; 6(3):3-10. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-3-0-1. EDN TPOQSQ. (rus.).

3. Rodionova Yu.V., Pakhtaeva A.Ya. Application of artificial intelligence technologies for generative landscape design. *New information technologies in architecture and construction : materials of the scientific and practical conference with international participation*. 2020; 19. EDN BHAACKG. (rus.).
4. Ayrapetyan N., Zaitsev A. Enhancing land plot use efficiency through generative design. *Journal of Legal and Economic Studies*. 2021; 3:129-136. DOI: 10.26163/GIEF.2021.47.55.019. EDN UQHSUX. (rus.).
5. Garyaeva V.V., Garyaev A.N. Information processing during building design automation using generative design technology. *Scientific and Technical Volga region Bulletin*. 2022; 4:61-63. EDN RWILTM. (rus.).
6. Moscovitz O., Barath S. A Generative Design Approach to Urban Sustainability Rating Systems During Early-Stage Urban Development. *CAADRIA Proceedings*. 2022; 1:171-180. DOI: 10.52842/conf.caadria.2022.1.171
7. Sun Y., Dogan T. *Generative methods for Urban design and rapid solution space exploration*. 2022. DOI: 10.48550/arXiv.2212.06783
8. Kumalasari D., Koeva M.N., Vahdatikhaki F., Petrova-Antonova D., Kuffer M. Generative design for walkable cities: a case study of Sofia. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2022; XLVIII-4/W5-2022:75-82. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W5-2022-75-2022
9. Wang D., Wu L., Zhang D., Zhou J., Sun L., Fu Y. *Human-instructed Deep Hierarchical Generative Learning for Automated Urban Planning*. 2022. DOI: 10.48550/arXiv.2212.00904
10. Yufan M., Reinhard K., Katja K. The Development of Optimization Methods in Generative Urban Design : A Review. *SimAUD: Symposium on Simulation for Architecture & Urban Design*. 2020.
11. Koenig R., Miao Y., Aichinger A., Knecht K., Konieva K. Integrating urban analysis, generative design, and evolutionary optimization for solving urban design problems. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. 2020; 47(6):997-1013. DOI: 10.1177/2399808319894986
12. Koma S., Yamabe Y., Tani A. Research on urban landscape design using the interactive genetic algorithm and 3D images. *Visualization in Engineering*. 2017; 5(1). DOI: 10.1186/s40327-016-0039-5
13. Reyzbikh E.I. Tools of capitalism in the service of smart city ethics. *Architecture and urban planning, design and fine arts – 2021: theory and history, artistic creativity and projects : collection of works of the jubilee International scientific and practical conference dedicated to the 20th anniversary of the first graduation of the higher architectural and design school in Altai*. 2022; 476-482. EDN KSGWTD. (rus.).
14. Misami Azad F. *The Average Best Solution: A Generative Design Tool for Multi-Objective Optimization of Free-Form Diagrid Structures : abstract*. Waterloo, Ontario, Canada, 2014.
15. Oksuz E.B. Generating Through Allometry in Architecture: A design Approach for Relational Morphogenesis. *Proceedings of XVI Generative Art Conference GA*. 2013; 89-103.
16. Yeh A.G.O., Li X. Simulation of Development Alternatives Using Neural Networks, Cellular Automata, and GIS for Urban Planning. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2003; 69(9):1043-1052. DOI: 10.14358/pers.69.9.1043
17. Baranova V.A. Generative design in the design of industrial products. Youth. Intelligence. *Initiative : proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference of Students and Masters*. 2020; 426-427. EDN JPLFCN. (rus.).
18. Pakhtaeva A.Ya. *Application of a genetic algorithm and a neural network classifier for generative design of a park landscape*. Novosibirsk, 2020. URL: https://nsuada.ru/files/ksnp-2020/dizayn/4_Paxtaeva.pdf (rus.).
19. Smetanina N.I. Generative design as a new tool for design and engineering. *Art through the eyes of the young : proceedings of the X International Scientific Conference*. 2018; 76-77. EDN TYKXYU. (rus.).
20. Bozhuk V.N. Urban planning assessment of the area to define theme parks location. *Internet journal Naukovedenie*. 2016; 8(3):(34):109. EDN WIRJYT. (rus.).
21. Ivlyakova A.Yu., Chesnokov N.N., Rudaya O.O. A. Landscape architecture and urban planning. *Science and Education*. 2021; 4(1). EDN CPMTHW. (rus.).
22. Gorlov D.A., Rashevsky N.M., Dyatlov K.A., Zalinyan A.K., Shcherbakov A.G. Application of the ontological model of knowledge representation in the design of architectural objects. Natural and Technogenic Risks. *Safety of Structures*. 2022; 6(61):22-25. DOI: 10.55341/ptrbs.2022.61.6.001. EDN MLZNDD. (rus.).

Received January 24, 2024.

Adopted in revised form on November 29, 2024.

Approved for publication on January 29, 2025.

BIONOTES: Nikolay M. Rashevsky — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin Avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; rashevsky.n@gmail.com;

Konstantin R. Nazarov — postgraduate student of the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin Avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; nazkostja@gmail.com;

Vyacheslav A. Dzhagaev — master's student of the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin Avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; vyacheslav.dzh@gmail.com;

Artem G. Shcherbakov — assistant of the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin Avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; artem.shcherbakov01@gmail.com;

Artyom D. Chikin — assistant of the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin Avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; artyom.chikin@gmail.com.

Authors' contribution:

Nikolay M. Rashevsky — scientific guidance, research concept, participation in the development of training programs and their implementation, source text writing.

Konstantin R. Nazarov — research concept, participation in the development of training programs and their implementation, source text writing, final conclusions.

Vyacheslav A. Dzhagaev — participation in curriculum development and implementation, source text writing.

Artem G. Shcherbakov — participation in curriculum development and implementation, source text writing.

Artyom D. Chikin — participation in curriculum development and implementation, source text writing, revision of the text.

The authors declare no conflict of interest.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОВОСТИ: ОБЗОРЫ СОБЫТИЙ, КОНФЕРЕНЦИЙ, ВЫСТАВОК, КНИЖНЫХ НОВИНОК. КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ. ДИСКУССИИ И РЕЦЕНЗИИ

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ / REVIEW PAPER

УДК 721.024

DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.10

Новые возможности сохранения объектов архитектурного наследия в цифровой среде метавселенной

Лейсан Ирековна Садыкова

РН-БашНИПИнефть; Республика Башкортостан, г. Уфа, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Предложена технология метавселенной, в которой особое внимание уделяется ориентированной на пользователя технологической адаптации как среды для воспроизведения оцифрованных памятников архитектуры. Цель исследования — определить основные ключевые технологические сегменты для объектов архитектурного наследия в зависимости от типа метавселенной. Для достижения цели исследования поставлены задачи: анализ прорывных и сквозных технологий; оценка критериев ключевого технологического сегмента объектов архитектурного наследия в среде метавселенной. основополагающими по отношению к данному исследованию можно считать труды, раскрывающие аспекты: управления наследием, представленного нормативами, стандартами; описания сквозных технологий, формирующих метавселенную; сохранения объектов архитектурного наследия с внедрением технологий цифровизации.

Материалы и методы. Применены общенаучные методы (логический, метод аналогии, систематизации), конкретно-научные методы (сравнительный анализ научных источников информации, проведенный на базе цифровых библиотек Researchgate, CyberLeninka), цифровой метод (запросы в сети интернет, глобальные тренды).

Результаты. В результате анализа ключевых технологических сегментов в области сохранения архитектурного наследия в среде метавселенной выявлены критерии для оценки потенциала применения данной технологии в сфере недвижимости, инжиниринга и строительства, научно значимых объектов, воссоздания реконструкций, посещения объектов наследия в виде музейных экспонатов, либо как объектов в сфере туризма.

Выводы. Сохранение объектов архитектурного наследия в виде цифровых моделей, элементов метавселенной позволит воспроизвести память и богатую историю развития архитектуры и градостроительства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: архитектурное наследие, прорывные технологии, метавселенная, блокчейн, виртуальная реальность, дополненная реальность, смешанная реальность

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Садыкова Л.И. Новые возможности сохранения объектов архитектурного наследия в цифровой среде метавселенной // Строительство: наука и образование. 2025. Т. 15. Вып. 2. Ст. 10. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.10

Автор, ответственный за переписку: Лейсан Ирековна Садыкова, architectoramineva@mail.ru.

New opportunities for the preservation of architectural heritage in the digital environment of the metaverse

Leysan I. Sadykova

RN-BashNIPIneft; Republic of Bashkortostan, Ufa, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. In this paper, a metaverse technology is proposed, in which special attention is paid to user-oriented technological adaptation as an environment for reproducing digitised architectural monuments. The purpose of the study is to identify the main key technological segments for architectural heritage sites, depending on the type of metaverse. To achieve the purpose of the study, the following tasks were set: analysis of breakthrough and end-to-end technologies; evaluation of criteria for a key technological segment of architectural heritage objects in the metaverse environment. Consequential fundamental in relation to this study can be works which is revealing aspects of: heritage management, represented by norms, standards; descriptions of end-to-end technologies forming the metaverse; preservation of architectural heritage objects with the introduction of digitalisation technologies.

Materials and methods. In this paper general scientific methods (logical, method of analogy, systematisation), specifically scientific methods (comparative analysis of scientific sources of information conducted on the basis of digital libraries Researchgate, CyberLeninka), digital method (Internet queries, global trends) were applied.

Results. As a result of the analysis of key technological segments in the field of architectural heritage preservation in the metaverse environment, criteria were identified for assessing the potential of using this technology in the field of real estate, engineering and construction, scientifically significant objects, reconstruction of reconstructions, visits to heritage sites in the form of museum exhibits, or as objects in the field of tourism.

Conclusions. The preservation of architectural heritage objects in the form of digital models, elements of the metaverse will preserve and reproduce the memory and rich history of architecture and urban planning.

KEYWORDS: architectural heritage, breakthrough technologies, metaverse, blockchain, virtual reality, augmented reality, mixed reality

FOR CITATION: Sadykova L.I. New opportunities for the preservation of architectural heritage in the digital environment of the metaverse. *Construction: Science and Education*. 2025; 15(2):10. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.10

Corresponding author: Leysan I. Sadykova, architectoramineva@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Предложена технология метавселенной, в которой особое внимание уделяется ориентированной на пользователя технологической адаптации как среды для воспроизведения оцифрованных памятников архитектуры.

Цель исследования — определить основные ключевые технологические сегменты для объектов архитектурного наследия в зависимости от типа метавселенной.

Для достижения цели исследования поставлены задачи:

- анализ прорывных и сквозных технологий;
- оценка критериев ключевого технологического сегмента объектов архитектурного наследия в среде метавселенной.

Основополагающими по отношению к данному исследованию можно считать труды, раскрывающие аспекты:

- управления наследием, представленного нормативами, стандартами;
- описания сквозных технологий, формирующих метавселенную: И.И. Сазерленд, С.К. Бахтиари, Л.Х. Ли, Т. Брод, П. Чжоу, Д.В. Санатов, М.А. Харитонов, Е.А. Годунова, А.С. Пургин;
- сохранения объектов архитектурного наследия с внедрением технологий цифровизации: А.Н. Нестерова, А.Е. Семина, Л. Янг, Ю. Ние, С. Инносенте, Ф. Нонис, А.Л. Фаро, Р. Руджиери, Д.Г. Шкаев, И.П. Гладилина, Е.В. Климович, А.С. Бондаренко.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Применены общенаучные методы (логический, метод аналогии, систематизации), конкретно-научные методы (сравнительный анализ научных источников информации, проведенный на базе цифровых библиотек Researchgate, CyberLeninka), цифровой метод (запросы в сети интернет, глобальные тренды).

Традиционное сохранение объектов архитектурного наследия

Работа с объектами наследия, согласно Федеральному закону от 25.06.2002 № 73-ФЗ «Об объ-

ектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации»¹, требует предоставления проекта с рационализацией принятых решений и обязательным прохождением государственной экспертизы. По Градостроительному кодексу РФ² государственной экспертизе подлежат проектная документация и результаты инженерных изысканий, выполненных для подготовки документации объектов культурного наследия (ОКН) регионального и местного значения. В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 05.03.2021 № 331³ для объектов, финансирование которых осуществляется с применением государственных средств, необходимо внедрение цифровой информационной модели (ЦИМ). Согласно Требованиям к цифровым информационным моделям производственных и непроизводственных объектов капитального строительства для Москвы⁴ и Санкт-Петербурга⁵ регламентируются формат, наименование, разделение и подготовка файлов

¹ Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации : Федеральный закон РФ от 25.06.2002 № 73-ФЗ (с изм. на 25.06.2002). URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/18230>

² Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 25.12.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.02.2024). URL: <https://legalacts.ru/kodeks/Gradostroitelnyi-Kodeks-RF/>

³ Об установлении случаев, при которых застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства (с изм. и доп.) : Постановление Правительства РФ от 05.03.2021 № 331. URL: <https://base.garant.ru/400424628/>

⁴ Требования к цифровым информационным моделям производственных и непроизводственных объектов капитального строительства, представляемым для проведения экспертизы. URL: http://www.moexp.ru/doc/req_cim_ot_08-2022.pdf

⁵ Требования к цифровым информационным моделям объектов капитального строительства, представляемым для проведения экспертизы. URL: https://www.spbexp.ru/upload/iblock/906/trebovaniya_k_tsim_redkatsiya_18_06_2020.pdf

ЦИМ. Приведенные выше документы подтверждают, что моделирование объектов для прохождения экспертизы постепенно становится обязательным. Также в России на федеральном уровне существует реестр для систематизации и хранения данных по ОКН в цифровом формате.

Опыт сохранения объектов архитектурного наследия (ОАН) направлен на изучение и охрану культурных ценностей, поиск принципов и методов консервации и реставрации, совершенствование нормативной базы, стратегическое планирование и управление объектами наследия в условиях глобализации. Перечисленные подходы со временем претерпевали изменения, например, решение вопросов изучения и охраны культурных ценностей, поиск принципов и методов консервации и реставрации сменился переходом к монументальной охране наследия так же, как и консервационные подходы к наследию, развитие реконструкции, модернизации и перепрофилирования объектов наследия были преобразованы в реконструктивные, прагматичные подходы к наследию.

Перечисленные методы эффективны для работы с существующими объектами наследия в то время, когда многие объекты наследия безвозвратно утеряны или находятся в аварийном состоянии. С этими процессами связаны отсутствие действенного механизма контроля за сохранением и содержанием объектов культурного наследия, сложность включения объектов наследия в современный отечественный рынок (туристический рынок, рынок жилья), отсутствие проработанных механизмов в экономических секторах для последовательного решения проблем памятников, а также включения памятников в хозяйственный оборот с изменением их исторической функции.

Анализ литературных источников позволил определить тенденцию актуальности сохранения ОАН с применением цифровых технологий (ЦТ). Выявленная информация свидетельствует о высокой заинтересованности ученых данной проблемой и возросшим количеством цифровых приемов, инструментов и подходов, которые качественно дополняют классические подходы к сохранению ОАН. Например, цифровое обследование и соответствующая цифровая система документирования объектов предоставляют возможности и способы сохранения существующего наследия и восстановления утраченного [1], необходимость разработки методических основ для градоэкологического обеспечения сохранности объектов наследия на основе информационных моделей и геоинформационных баз данных [2], дополнение традиционных подходов к сохранению культурного наследия современными эффективными цифровыми подходами путем теоретического расчета, криптографии, блокчейн-технологий [3], виртуального воссоздания утрачен-

ного или находящегося под угрозой исчезновения наследия в среде метавселенной [4–8].

Сквозные технологии, формирующие метавселенную

Концепция виртуального мира, насколько мы его сейчас понимаем, прослеживается еще с 1960-х гг., когда ученые предложили кинестетический интерфейс с интерактивной графикой, обратной связью, движениями тела и звуком [9]. После достижений в вычислительной мощности компьютеров и коммуникационных технологий некоторые разработчики предполагают, что физический и виртуальный миры сходятся в некую гиперреальность — феномен симуляции действительности [10].

Согласно оценке Конгресса США технологий для пользователей в сфере компьютерных симуляций и виртуальных мероприятий в интернете⁶, технологии включают в себя AR (дополненная реальность), MR (смешанная реальность), VR (виртуальная реальность), которые обладают потенциалом в инновациях нескольких направлений: развлечения, здоровье, инжиниринг, недвижимое имущество, розничная торговля, военное дело, образование и совместная работа. Проблемы метавселенной и сама технология подробно рассматриваются в работе, где определены существующие технологии и технологическая инфраструктура для создания метавселенной, характеризующейся постоянными, совместно используемыми, параллельными и трехмерными виртуальными пространствами, объединяющимися в воспринимаемую виртуальную вселенную.

Сопутствующие технологии состоят из восьми технологических инструментов: интернет, облачные хранилища, искусственный интеллект, компьютерное зрение, блокчейн, интернет вещей, интерактивность пользователей, расширенная реальность; и шести инструментов экосистемы метавселенной: аватары, создание контента, виртуальная экономика, социальная допустимость, защита персональных данных, подотчетность [11].

Основные проблемные аспекты метавселенной:

- проблемы организации среды в виде сценария поведения и ограниченные вычислительные возможности для лучшего взаимодействия;
- проблемы интероперабельности между системами;
- отсутствие цензуры;
- культура создателя — создание контента в метавселенной плотно связано с взаимодействием, так как ограничение в доступных инструментах в метавселенной не позволяет новичкам или непрофессионалам реализовать свой потенциал;
- отсутствие централизованной системы государственного регулирования;

⁶ The Metaverse: Concepts and Issues for Congress. URL: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R47224>



Рис. 1. Vegas City в Decentraland

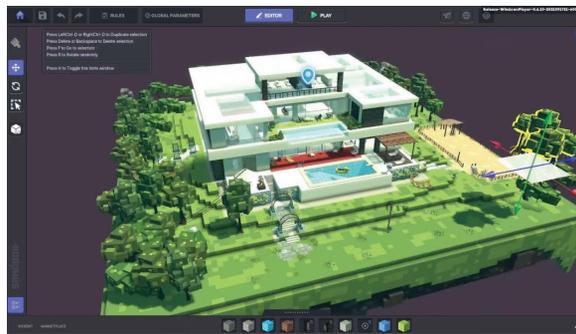


Рис. 2. Метавселенная Sandbox



Рис. 3. Метавселенная Матрешка



Рис. 4. Метавселенная Liberland

• отсутствие доверенной валюты и банковской системы, которая не противоречит основополагающей идее децентрализации [11].

Метавселенные делятся на три типа: промышленные, корпоративные и потребительские [12].

Промышленные метавселенные базируются на сборе данных и их максимальном использовании для ускорения транзакций и обеспечения интеграции технологий. Инвестируют в эту технологию такие промышленные гиганты, как Siemens, BMW, Hyundai, Schlumberger, Газпром, Ростех, Росатом.

Корпоративные метавселенные связаны с организацией иммерсивного рабочего пространства для комфортной совместной удаленной работы. С данной технологией работают такие компании, как Meta Platforms, Microsoft Corporation.

Потребительские метавселенные связаны с медиаиндустрией, рекламой, геймингом. Довольно большое количество крупных компаний инвестируют в метавселенную: Alphabet Inc., Apple Inc., Roblox Corporation, Epic Games Inc.

Разработка и развитие метавселенной как технологии не определены, так как для поддержания ее экосистемы необходимы более продвинутые технологии. Тем более огромное количество технологий, приложений, платформ, которые могут взаимодействовать с метавселенной, разрабатываются бессистемно и с несовместимыми бизнес-стратегиями [13].

Самые известные метавселенные

Потребительские: Decentraland (2017)⁷ — первая рабочая метавселенная, в которой можно

⁷ Decentraland. URL: <https://decentraland.org/>

за криптовалюту купить землю, заказать пищу, рекламировать товары, посетить кинотеатр с другими пользователями, сходить на аукцион (рис. 1). Основана на блокчейн Ethereum.

The Sandbox⁸ — игровая экосистема на блокчейне Ethereum. Можно создавать, делиться и продавать активы в виртуальном мире. Sand — токен ERC-20, который управляет всеми транзакциями (рис. 2).

Матрешка Ренессанс (2023, Россия)⁹ — зарождающаяся метавселенная, это трехмерный виртуальный город для проведения выставочных, деловых, познавательных и развлекательных мероприятий, доступных всему миру, и организации эффективного нетворкинга. Предполагается размещение цифровых двойников промышленных предприятий для виртуального посещения (рис. 3).

Метавселенная Liberland¹⁰ — результат сотрудничества Liberland, Zaha Hadid Architects, Mytaverse и ArchAgenda a.o. — задумана как центр виртуальной индустрии синергии и сетевого взаимодействия для криптопроектов, криптокомпаний и криптособытий (рис. 4).

Представленный тип метавселенных наиболее тесно связан с пространством, архитектурой, дизайном, так как от эффекта местности зависит вовлеченность пользователей и их интерактивность.

⁸ The Sandbox. URL: <https://www.sandbox.game/en/>

⁹ Российская метавселенная. Матрешка Ренессанс. URL: <https://metarenessans.ru/>

¹⁰ Liberverse. URL: <https://world.liberland.org/>



Рис. 5. Вариант виртуального пространства в Aereena virtual space

Корпоративные: Aereena virtual space¹¹ — сервис для организации мероприятий в виртуальном пространстве. Геймифицированный интерфейс, общение и коммуникация с помощью аватара и создание мероприятий различного масштаба, а также работа с любого устройства актуальны для создания встреч разных уровней (рис. 5).

Azur digital twins — система, которая интегрирует облака, интернет вещей (IoT), граничные вычисления (Edge Computing), искусственный интеллект (AI) и смешанную реальность (Mixed reality).

Промышленные: Siemens¹² — это концепция цифрового мира, отражающего и имитирующего реальные машины и фабрики, здания и города, сети и транспортные системы (рис. 6).

BMW¹³ — цифровой двойник завода, который позволяет предварительно оценить этапы строительства и оптимизировать их. Это полный цифровой двойник завода, виртуальный интерфейс которого похож на сложную облачную видеигру. У каждого предмета из реального мира есть трехмерный аналог, который действует точно так же, как его физическая версия (рис. 7).

Газпром — формирование подключенной экосистемы путем перехода от создания цифровых



Рис. 7. Промышленная метавселенная BMW

¹¹ Advanza запускает платформу для онлайн-ивентов в России. URL: <https://www.sostav.ru/publication/advanza-46082.html>

¹² The Industrial Metaverse // Siemens. URL: <https://www.siemens.com/global/en/company/digital-transformation/industrial-metaverse.html>

¹³ The iX1 metaverse experience // BMW. URL: <https://www.bmw.com/en/events/dreams.html>



Рис. 6. Промышленная метавселенная Siemens

двойников оборудования к общей экосистеме всех площадок.

Сохранение ОАН и метавселенная.

Оценка ключевого технологического сегмента

Объекты архитектурного наследия имеют широкий спектр взаимодействия в сфере охвата метавселенной. Рассмотрим модель ОАН с точки зрения управления объектами недвижимости и архитектуры, инжиниринга и строительства. Тип этих объектов распределен между *корпоративными метавселенными*: возможность удаленной совместной работы, виртуального офиса актуальна для ученых и проектировщиков; и *промышленными метавселенными*: в виде цифровых двойников, если речь идет о сохранении действующего промышленного объекта и его инфраструктуры. Набор технологий для задач иммерсивной коллаборации в ОАН позволит создание гибридных рабочих мест для совместной работы в виртуальной реальности: организации встреч, обучения, общения сотрудников, проектирования и использования инструментов создания цифровых моделей объектов и процессов. Совместная работа с информационной моделью проектируемого объекта может стать более интерактивной, детализированной. Так же в рамках работы с предприятиями подразделения, либо факультетов университета могут быть созданы метавселенные, обучение и совместная работа проводятся в виртуальных пространствах, например, таким образом реализовано обучение в Токийском университете и данное взаимодействие активно развивается. Трендом ключевого направления развития в современной работе университетов постепенно становятся метавселенные [14, 15].

Следует акцентировать внимание на научной значимости ОАН, которые благодаря цифровым двойникам и симуляциям получают современные цифровые инструменты для наиболее эффективных проектов реставрации, реконструкции и т.д. Данный способ относится к типу *промышленной метавселенной* [12]. Основная задача — повышение операционной эффективности за счет максимального использования собираемых данных, обеспечения интеграции цифровых технологий (интероперабельности). Интероперабельность, в свою очередь, раскрывает возможности создания платформы метавселенной для того, чтобы

можно было исследовать объект наследия и раскрыть целый ряд задач, включая оптимизацию сложности цифровой модели для метавселенной и тонкую настройку текстур и материалов для обеспечения реалистичности восприятия. Для этого необходим подробный анализ целей, методов и результатов для создания реконструированного в цифровом виде мира, демонстрирующего особую важность в области сохранения информации [16].

Наконец, модель ОАН необходимо рассмотреть как элементы виртуальных миров. Воссоздание исторических антуражей, посещение объектов наследия в виде музейных экспонатов вдохнут в них новую жизнь, особенно, если эти объекты были утрачены в физическом мире [17]. Основной тип — *потребительская метавселенная*. Погружение цифровых моделей в виртуальное окружение позволяет объединять их в системы и использовать в различных сценариях, например в цифровом туризме [18]. Отсутствие географических ограничений для посещения объектов наследия, возможность персонализации пользователя путем создания аватара, повышение вариативности взаимодействия с пространством для маломобильной группы населения — наиболее популярные аттракторы для современных пользователей. Цифровые инновации в метавселенной также способствуют созданию устойчивой туристической индустрии благодаря активному сотрудничеству с местным сообществом и созданию сценариев взаимодействия пользователей и цифровой инфраструктуры для наиболее эффективной репрезентативности посещаемого объекта [19]. Необходимы междисциплинарное взаимодействие для реализации стратегии, обеспечение интероперабельности, проработка дорожных карт для исследователей, архитекторов, программистов и дизайнеров по разработке комплексного плана действий [20]. Применение прорывных технологий формирует новый тип интеллектуального наследия, которое можно определить как виртуальную среду с поддержкой интерактивного взаимодействия, которая удовлетворяет требованиям различных заинтересованных сторон, таким как онлайн-экскурсии по наследию, охрана наследия и устойчивое продвижение культуры, а игро-

вой тип взаимодействия станет ключевым вариантом использования метавселенной из-за его привычного и увлекательного характера [21, 22].

Безусловно следует учитывать преимущества, риски и проблемы, связанные с виртуальным воссозданием наследия, например сохранения, распространения культурного наследия, во внедрении новых технологий на рынок культурного туризма с помощью моделей, направленных на обогащение и улучшение пользовательского опыта, когда речь заходит об активизации исторического и художественного наследия [23].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате анализа ключевых технологических сегментов в области сохранения архитектурного наследия в среде метавселенной выявлены критерии для оценки потенциала применения данной технологии в сфере недвижимости, инжиниринга и строительства, научно значимых объектов, воссоздания реконструкций, посещения объектов наследия в виде музейных экспонатов, либо как объектов в сфере туризма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Перспектива применения цифровых технологий в области сохранения объектов архитектурного наследия очевидна. Технологии позволяют повысить точность выполняемых работ, выявить несоответствия еще на ранних стадиях проектирования, воссоздать среду с высокой точностью утраченного в физическом мире объекта, предоставить возможность иммерсивного посещения объекта для людей с ограниченными возможностями. Метавселенная в данной ситуации выступает аккумулятором перечисленных процессов, так как для поддержания ее жизнедеятельности необходимы сопутствующие технологии и междисциплинарное взаимодействие.

Сохранение объектов архитектурного наследия в виде цифровых моделей, элементов метавселенной дает возможность сохранить и воспроизвести память и богатую историю развития архитектуры и градостроительства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Семина А.Е. Принципы и методы цифрового документирования историко-архитектурной среды на примере городов Верхнекамья : дис. ... канд. арх. наук. Нижний Новгород, 2021. 251 с. EDN MHOSTK.
2. Нестерова А.Н. Градоэкологическое обеспечение создания и функционирования мемориальных комплексов при реконструкции городской застройки : дис. ... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 2019. 196 с. EDN SAVNDV.
3. Yang L. Research on Digital Archives Construction of Jingdezhen Ceramic Material Cultural Heritage Based on Blockchain Technology // International Journal of Engineering and Technology. 2022. Vol. 14. Issue 3. Pp. 52–55. DOI: 10.7763/ijet.2022.v14.1201
4. Гладиллина И.П., Климкович Е.В., Бондаренко А.С. Образовательное пространство вуза как фактор трансформации экосистемы цифрового общества // Современное педагогическое образование. 2024. № 1. С. 216–220. EDN OUPHPM.

5. *Innocente C., Nonis F., Faro A.L., Ruggieri R., Ulrich L., Vezzetti E.* A Metaverse Platform for Preserving and Promoting Intangible Cultural Heritage // *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14. Issue 8. P. 3426. DOI: 10.3390/app14083426
6. *Song H., Selim G.* Smart Heritage for Urban Sustainability : a Review of Current Definitions and Future Developments // *Journal of Contemporary Urban Affairs*. 2022. Vol. 6. Issue 2. Pp. 175–192. DOI: 10.25034/ijcua.2022.v6n2-5
7. *Shakeri S., Ornek M.A.* How metaverse evolves the architectural design // *Architecture and Planning Journal (APJ)*. 2023. Vol. 28. Issue 3. DOI: 10.54729/2789-8547.1230
8. *Ballestin J.D., Hernandez L.A., Muniesa A.V.* Digitisation and Virtualisation of Medieval Historical and Artistic Heritage. Taüll 1123 and Sigena Mágica, Two Examples of Strategies for Conserving, Disseminating and Preserving Heritage Through New Technologies // *Springer Series in Design and Innovation*. 2024. Pp. 256–263. DOI: 10.1007/978-3-031-57579-2_31
9. *Sutherland I.E.* The Ultimate Display // *Proceedings of IFIP Congress*. 1965. Issue 65. Pp. 506–508. URL: https://worrydream.com/refs/Sutherland_1965_-_The_Ultimate_Display.pdf
10. *Bakhtiari S.K.* Welcome to Hyperreality: Where the Physical and Virtual Worlds Converge // *Forbes*. 2020. URL: <https://www.forbes.com/sites/kianbakhtiari/2021/12/30/welcome-to-hyperreality-where-the-physical-and-virtual-worlds-converge/>
11. *Lee L.H., Braud T., Zhou P., Lin A.W., Kumar A., Bermejo C. et al.* All One Needs to Know about Metaverse: A Complete Survey on Technological Singularity, Virtual Ecosystem, and Research Agenda // *Journal of Latex Class Files*. 2021. Vol. 14. Issue 8. Pp. 1–66. DOI: 10.13140/RG.2.2.11200.05124/8
12. *Санатов Д.В., Харитонов М.А., Годунова Е.А., Пургин А.С., Тибина Е.Ю., Антонова В.С.* Промышленные метавселенные // *Источники новых индустрий*. 2023. № 5. 57 с.
13. *Daugherty P., Carrel-Billiard M., Blitz M.* Meet Me in the Metaverse // *Accenture, The Technology Vision 2022 Report*. 2022. P. 7.
14. *Sin Z.P.T., Jia Y., Wu A.C.H., Zhao I.D., Lee R.C., Ng P.H.F. et al.* Toward an Edu-Metaverse of Knowledge: Immersive Exploration of University Courses // *IEEE Transactions on Learning Technologies*. 2023. Vol. 16. Issue 6. Pp. 1096–1110. DOI: 10.1109/TLT.2023.3290814
15. *Thango B.A.* The Future of Education: Writing Exams in the Metaverse at South African Universities // *Business, Management and Economics*. 2024. DOI: 10.5772/intechopen.112003
16. *Alkhatib Y.J., Forte A., Bitelli G., Pierdicca R., Malinverni E.* Bringing Back Lost Heritage into Life by 3D Reconstruction in Metaverse and Virtual Environments: The Case Study of Palmyra, Syria // *Lecture Notes in Computer Science*. 2023. Pp. 91–106. DOI: 10.1007/978-3-031-43404-4_7
17. *Шкаев Д.Г.* Метатуризм: тенденции и перспективы // *Экономические и социальные проблемы России*. 2023. № 4 (56). С. 29–34. DOI: 10.31249/espr/2023/04.02. EDN RJRSBQ.
18. *Lyu J.* Cultural Heritage Preservation in the Metaverse a Digitalized Student Study Tour of the Heritage Corridor of Sanjiang, Guangxi, China : Thesis for Master of Design. 2022. 121 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.25677.04320
19. *Al-Tabeeb A.K., Al-Desouqi A.* Metaverse in Architecture: An Approach to Documenting and Exploring the Egyptian Heritage Through Metaverse // *Green Building & Construction Economics*. 2023. Pp. 276–295. DOI: 10.37256/gbce.4220232300
20. *Макаренко С.И.* Интероперабельность человеко-машинных интерфейсов : монография. СПб., 2023. 185 с. EDN WIQQEF.
21. *Mohammed S.Y., Aljanabi M., Gadekallu T.R.* Navigating the Nexus: A Systematic Review of the Symbiotic Relationship between the Metaverse and Gaming // *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*. 2024. Vol. 5. Pp. 88–103. DOI: 10.1016/j.ijcce.2024.02.001
22. *Ramezani D., Jaferian G., Wagner M.* An investigation into the educational possibilities of metaverse in the context of educational gaming : a review // *INTED Proceedings*. 2024. Vol. 1. Pp. 5120–5129. DOI: 10.21125/inted.2024.1326
23. *Zhang X., Yang D., Yow C.H., Huang L., Wu X., Huang X. et al.* Metaverse for Cultural Heritages // *Electronics*. 2022. Vol. 11. Issue 22. P. 3730. DOI: 10.3390/electronics11223730

Поступила в редакцию 11 мая 2024 г.

Принята в доработанном виде 31 мая 2024 г.

Одобрена для публикации 23 сентября 2024 г.

ОБ АВТОРЕ: **Лейсан Ирековна Садыкова** — аспирант, ведущий инженер отдела генпланов и автодорог; **РН-БашНИПИнефть**; 450006, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Ленина, д. 86; architectoramineva@mail.ru.

INTRODUCTION

A metaverse technology is proposed, focusing on user-centred technological adaptation as an environment for the reproduction of digitized landmarks.

The aim of the study is to identify the main key technology segments for architectural heritage sites depending on the type of metaverse.

In order to achieve the aim of the study, the objectives of the study are:

- analyzing breakthrough and end-to-end technologies;
- evaluation of criteria of the key technological segment of architectural heritage objects in a metaverse environment.

The works revealing aspects of this study can be considered as fundamental in relation to this study:

- heritage management represented by regulations, standards;
- descriptions of end-to-end technologies forming the metaverse: I.I. Sutherland, S.K. Bakhtiari, L.H. Lee, T. Brod, P. Zhou, D.V. Sanatov, M.A. Kharitonov, E.A. Godunova, A.S. Purgin;
- preservation of architectural heritage objects with the introduction of digitalisation technologies: A.N. Nesterova, A.E. Semina, L. Yang, Y. Nie, S. Innocente, F. Nonis, A.L. Faro, R. Ruggieri, D.G. Shkaev, I.P. Gladilina, E.V. Klimkovich, A.S. Bondarenko.

MATERIALS AND METHODS

General scientific methods (logical, method of analogy, systematization), specific scientific methods (comparative analysis of scientific sources of information, conducted on the basis of digital libraries Researchgate, CyberLeninka), digital method (queries in the Internet, global trends) were applied.

Traditional preservation of architectural heritage sites

Work with heritage sites, in accordance with the Federal Law of 25.06.2002 No. 73-FZ “Objects of cultural heritage (monuments of history and culture) of the peoples of the Russian Federation”¹, requires the submission of a project with rationalization of the decisions taken and mandatory passing of a state expert review. According to Town-planning Code of the Russian Federation² state expertise is subject to design documentation and results of engineering surveys performed for the preparation of documentation

¹ Objects of cultural heritage (monuments of history and culture) of the peoples of the Russian Federation : Federal Law of the Russian Federation from 25.06.2002 No. 73-FZ (as amended on 25.06.2002). URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/18230>

² Town-planning Code of the Russian Federation from 29.12.2004 No. 190-FZ (ed. from 25.12.2023) (with amendments and additions, effective from 01.02.2024). URL: <https://legalacts.ru/kodeks/Gradostroitelnyi-Kodeks-RF/>

of objects of cultural heritage (OCH) of regional and local significance. In accordance with the RF Government Decree No. 331 dated 05.03.2021³ for the objects financed with the use of public funds it is necessary to introduce a digital information model (DIM). According to the Requirements for Digital Information Models of Production and Non-Production Capital Construction Facilities for Moscow⁴ and St. Petersburg⁵ the format, naming, division and preparation of DIM files are regulated. The above documents confirm that modelling of objects for expert examination is gradually becoming mandatory. Also, in Russia at the federal level there is a register for systematization and storage of data on OCH in digital format.

The experience in the conservation of Architectural Heritage Objects (AHO) has focused on the study and protection of cultural property, the search for principles and methods of conservation and restoration, improvement of the regulatory framework, strategic planning and management of heritage sites in the context of globalization. The listed approaches have undergone changes over time, for example, addressing the study and protection of cultural values, the search for principles and methods of conservation and restoration was replaced by a transition to monumental protection of heritage just as conservation approaches to heritage, the development of reconstruction, modernization and repurposing of heritage sites were transformed into reconstructive, pragmatic approaches to heritage.

These methods are effective for working with existing heritage sites at a time when many heritage sites have been irretrievably lost or are in a state of disrepair. These processes are associated with the lack of an effective mechanism of control over the preservation and maintenance of cultural heritage objects, the difficulty of including heritage objects in the modern domestic market (tourist market, housing market), the lack of elaborated mechanisms in the economic sectors to consistently address the problems of monuments, as

³ Establishing the cases in which the developer, technical customer, the person providing or carrying out the preparation of investment justification, and (or) the person responsible for the operation of the capital construction object, ensure the formation and maintenance of the information model of the capital construction object (with amendments and additions) : Resolution of the Government of the Russian Federation of 05.03.2021 No. 331. URL: <https://base.garant.ru/400424628/>

⁴ Requirements for digital information models of production and non-production capital construction objects submitted for expert review. URL: http://www.moexp.ru/doc/req_cim_ot_08-2022.pdf

⁵ Requirements for digital information models of capital construction objects submitted for expert review. URL: https://www.spbexp.ru/upload/iblock/906/trebovaniya_k_tsim_redkatsiya_18_06_2020.pdf

well as the inclusion of monuments in the economic turnover with a change in their historical function.

The analysis of literary sources allowed to determine the tendency of relevance of OCH conservation with application of digital technologies (DT). The identified information indicates a high interest of scientists in this problem and an increased number of digital techniques, tools and approaches that qualitatively complement classical approaches to the preservation of OCH. For example, digital survey and the corresponding digital system of documenting objects provide opportunities and ways of preserving existing heritage and restoring lost heritage [1], the need to develop methodological frameworks for urban-ecological conservation of heritage objects based on information models and geoinformation databases [2], supplementing traditional approaches to cultural heritage conservation with modern effective digital approaches through theoretical calculation, cryptography, blockchain technology.

Cross-cutting technologies shaping the metaverse

The concept of a virtual world, as we now understand it, can be traced back to the 1960s, when scientists proposed a kinaesthetic interface with interactive graphics, feedback, body movements and sound [9]. Following advances in computing power of computers and communication technologies, some developers suggest that the physical and virtual worlds are converging into a kind of hyperreality — a phenomenon of reality simulation [10].

According to the US Congressional Technology Assessment for Users in Computer Simulations and Virtual Activities on the Internet⁶, technologies include AR (augmented reality), MR (mixed reality), VR (virtual reality), which have potential in innovation in several areas: entertainment, health, engineering, real estate, retail, military, education, and collaboration. The challenges of the metaverse and the technology itself are discussed in detail in the paper, which identifies existing technologies and technological infrastructure for creating a metaverse characterized by persistent, shared, parallel and three-dimensional virtual spaces that combine to form a perceived virtual universe.

The associated technologies consist of eight technology tools: internet, cloud storage, artificial intelligence, computer vision, blockchain, internet of things, user interactivity, augmented reality; and six metaverse ecosystem tools: avatars, content creation, virtual economy, social permissibility, privacy, accountability [11].

The main problematic aspects of the metaverse:

- problems of organizing the environment as a behavioural scenario and limited computational capabilities for better interaction;
- interoperability issues between systems;
- lack of censorship;

⁶ The Metaverse: Concepts and Issues for Congress. URL: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R47224>

- creator culture — content creation in the meta universe is tightly tied to interaction, as the limitation in available tools in the meta universe prevents novices or non-professionals from realizing their potential;

- lack of a centralized system of state regulation;
- the absence of a trusted currency and a banking system that does not contradict the fundamental idea of decentralization [11].

Metaverses are divided into three types: industrial, corporate and consumer [12].

Industrial metaverses are based on collecting data and maximizing its use to accelerate transactions and enable technology integration. Industrial giants such as Siemens, BMW, Hyundai, Schlumberger, Gazprom, Rostec, and Rosatom are investing in this technology.

Corporate metaverses are related to the organization of immersive workspace for comfortable joint remote work. Such companies as Meta Platforms, Microsoft Corporation work with this technology.

Consumer metaverses are related to the media industry, advertising, and gaming. Quite a large number of large companies invest in metaverses: Alphabet Inc., Apple Inc., Roblox Corporation, Epic Games Inc.

The design and development of the metaverse as a technology is not defined, as more advanced technologies are needed to maintain its ecosystem. Moreover, a huge number of technologies, applications, platforms that can interact with the metaverse are developed in a haphazard manner and with incompatible business strategies [13].

The most famous metaverses

Consumer: Decentraland (2017)⁷ is the first working meta universe where you can buy land with cryptocurrency, order pizza, advertise goods, visit a cinema with other users, and go to an auction (Fig. 1). It is based on the Ethereum blockchain.

The Sandbox⁸ is a gaming ecosystem on the Ethereum blockchain. You can create, share and sell assets in a virtual world. Sand is an ERC-20 token that manages all transactions (Fig. 2).

⁷ Decentraland. URL: <https://decentraland.org/>

⁸ The Sandbox. URL: <https://www.sandbox.game/en/>



Fig. 1. Vegas City in Decentraland



Fig. 2. Sandbox metaverse



Fig. 3. Matryoshka doll metaverse



Fig. 4. Liberland metaverse

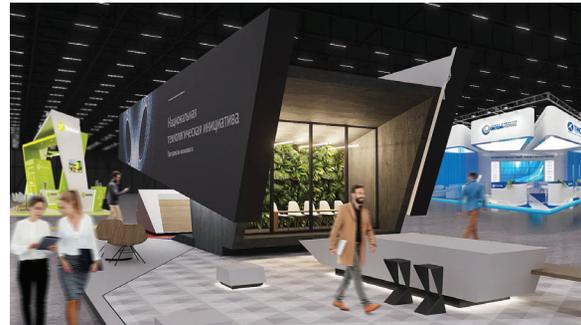


Fig. 5. Virtual space variant in Areena virtual space

Matryoshka Renaissance (2023, Russia)⁹ is an emerging metaverse, it is a three-dimensional virtual city for holding exhibition, business, educational and entertainment events accessible to the whole world and organizing effective networking. It is supposed to place digital twins of industrial enterprises for virtual visit (Fig. 3).

The Liberland meta universe¹⁰ is the result of the cooperation between Liberland, Zaha Hadid Architects, Mytaverse and ArchAgenda a.o. — is conceived as a centre of virtual industry synergy and networking for crypto projects, crypto companies and crypto events (Fig. 4).

The type of metaverses presented is most closely related to space, architecture, design, as user engagement and interactivity depends on the effect of locality.

Corporate: Areena virtual space¹¹ is a service for organizing events in virtual space. Gamified interface, communication and communication with the help of avatar and creation of events of different scale, as well as work from any device are relevant for the creation of meetings of different levels (Fig. 5).

Azur digital twins is a system that integrates cloud, Internet of Things (IoT), Edge Computing, Artificial Intelligence (AI) and Mixed reality.

Industrial: Siemens¹² is the concept of a digital world that reflects and simulates real machines and factories, buildings and cities, networks and transport systems (Fig. 6).

BMW¹³ is a digital factory twin that allows you to pre-assess construction phases and optimize them. It is a complete digital twin of the factory whose virtual interface is like a sophisticated cloud-based video game. Every object from the real world has a three-dimensional analogue that acts just like its physical version (Fig. 7).

Gazprom — the formation of a connected ecosystem by moving from the creation of digital twins of equipment to a common ecosystem of all sites.



Fig. 6. Siemens industrial metaverse

⁹ Russian meta-universe. Matryoshka Renaissance. URL: <https://metarenessans.ru/>

¹⁰ Liberverse. URL: <https://world.liberland.org/>

¹¹ Advanza launches platform for online events in Russia. URL: <https://www.sostav.ru/publication/advanza-46082.html>

¹² The Industrial Metaverse, Siemens. URL: <https://www.siemens.com/global/en/company/digital-transformation/industrial-metaverse.html>

¹³ The iX1 metaverse experience, BMW. URL: <https://www.bmw.com/en/events/dreams.html>



Fig. 7. BMW industrial metaverse

OCH conservation and the metaverse. Assessment of key technology segment

Architectural heritage objects have a wide range of interactions in the scope of the metaverse. Let's consider the OCH model from the point of view of property and architecture, engineering and construction management. The type of these objects is distributed between *corporate metaverses*: the possibility of remote collaboration, virtual office is relevant for scientists and designers; and *industrial metaverses*: in the form of digital twins, if it is a question of preserving an existing industrial facility and its infrastructure. The set of technologies for immersive collaboration tasks in OCH will allow creating hybrid workplaces for collaborative work in virtual reality: organization of meetings, training, communication of employees, design and use of tools for creating digital models of objects and processes. Joint work with the information model of the designed object can become more interactive and detailed. Also, within the framework of work with the enterprises of a subdivision or university departments metaverses can be created, training and joint work are carried out in virtual spaces, for example, this is how training is implemented at the University of Tokyo and this interaction is actively developing. Metaverses are gradually becoming a key development trend in the modern work of universities [14, 15].

It is necessary to emphasize the scientific significance of OCH, which, thanks to digital doubles and simulations, will receive modern digital tools for the most effective restoration, reconstruction projects, etc. This method refers to the type of *industrial metaverse* [12]. The main objective is to increase operational efficiency by maximizing the use of collected data, ensuring the integration of digital technologies (interoperability). Interoperability, in turn, reveals the possibilities of creating a metaverse platform so that a heritage site can be explored and a range of tasks can be uncovered, including optimizing the complexity of the digital model for the metaverse and fine-tuning textures and materials to ensure a realistic perception. This requires a detailed analysis of the goals, methods and outcomes to create a reconstructed world in digital form, demonstrating

a particular importance in the field of information preservation [16].

Finally, the OCH model should be considered as elements of virtual worlds. Recreating historical entourages, visiting heritage objects in the form of museum exhibits will breathe new life into them, especially if these objects were lost in the physical world [17]. The main type is the *consumer metaverse*. The immersion of digital models in a virtual environment allows them to be combined into systems and used in different scenarios, such as digital tourism [18]. The absence of geographical restrictions for visiting heritage sites, the possibility of personalizing the user by creating an avatar, and increasing the variability of interaction with space for the less mobile population are the most popular attractors for modern users. Digital innovations in the metaverse also contribute to the creation of a sustainable tourism industry by actively collaborating with the local community and creating scenarios of user interaction and digital infrastructure for the most effective representation of the visited site [19]. There is a need for interdisciplinary collaboration to realize the strategy, interoperability, roadmaps for researchers, architects, programmers and designers to develop an integrated action plan [20]. The application of breakthrough technologies is shaping a new type of smart heritage, which can be defined as an interactive virtual environment that fulfils the requirements of various stakeholders such as online heritage tours, heritage protection and sustainable cultural promotion, and game-like interaction will be a key option for utilizing the metaverse because of its familiar and engaging nature [21, 22].

Certainly, the benefits, risks and challenges associated with virtual recreation of heritage, such as preservation, dissemination of cultural heritage, should be considered in introducing new technologies to the cultural tourism market through models aimed at enriching and improving the user experience when it comes to activating historical and artistic heritage [23].

RESULTS

As a result of the analysis of key technological segments in the field of architectural heritage preservation in the metaverse environment, criteria for assessing the potential of this technology application in the sphere of real estate, engineering and construction, scientifically significant objects, recreating reconstructions, visiting heritage objects as museum exhibits or as objects in the sphere of tourism were identified.

CONCLUSION AND DISCUSSION

The prospect of applying digital technologies in the field of preserving architectural heritage objects is obvious. Technologies make it possible to increase the accuracy of the work performed, to identify inconsistencies at the early stages of design, to recreate the environment with high accuracy of the object lost in the physical

world, to provide an opportunity for immersive visits to the object for people with disabilities. In this situation, the metaverse acts as an accumulator of the above processes, as accompanying technologies and interdisciplinary interaction are required to maintain its vital activity.

Preservation of architectural heritage objects in the form of digital models, elements of the metaverse provides an opportunity to preserve and reproduce the memory and rich history of the development of architecture and urban planning.

REFERENCES

1. Semina A.E. *Principles and methods of digital documentation of the historical and architectural environment on the example of the cities of the Upper Kama region : dis. ... cand. arch. sciences.* Nizhny Novgorod, 2021; 251. EDN MHOSTK. (rus.).
2. Nesterova A.N. *Urban ecological support for the creation and functioning of memorial complexes during the reconstruction of urban development : dis. ... cand. tech. sciences.* Rostov-on-Don, 2019; 196. EDN SAVNDV. (rus.).
3. Yang L. Research on Digital Archives Construction of Jingdezhen Ceramic Material Cultural Heritage Based on Blockchain Technology. *International Journal of Engineering and Technology.* 2022; 14(3):52-55. DOI: 10.7763/ijet.2022.v14.1201
4. Gladilina I.P., Klimkovich E.V., Bondarenko A.S. The educational space of a university as a factor in the transformation of the digital society ecosystem. *Modern Pedagogical Education.* 2024; 1:216-220. EDN OUPHPM. (rus.).
5. Innocente C., Nonis F., Faro A.L., Ruggieri R., Ulrich L., Vezzetti E. A Metaverse Platform for Preserving and Promoting Intangible Cultural Heritage. *Applied Sciences.* 2024; 14(8):3426. DOI: 10.3390/app14083426
6. Song H., Selim G. Smart Heritage for Urban Sustainability : a Review of Current Definitions and Future Developments. *Journal of Contemporary Urban Affairs.* 2022; 6(2):175-192. DOI: 10.25034/ijcua.2022.v6n2-5
7. Shakeri S., Ornek M.A. How metaverse evolves the architectural design. *Architecture and Planning Journal (APJ).* 2023; 28(3). DOI: 10.54729/2789-8547.1230
8. Ballestin J.D., Hernandez L.A., Muniesa A.V. Digitisation and Virtualisation of Medieval Historical and Artistic Heritage. Taüll 1123 and Sigena Mágica, Two Examples of Strategies for Conserving, Disseminating and Preserving Heritage Through New Technologies. *Springer Series in Design and Innovation.* 2024; 256-263. DOI: 10.1007/978-3-031-57579-2_31
9. Sutherland I.E. The Ultimate Display. *Proceedings of IFIP Congress.* 1965; 65:506-508. URL: https://worrydream.com/refs/Sutherland_1965_-_The_Ultimate_Display.pdf
10. Bakhtiari S.K. Welcome to Hyperreality: Where the Physical and Virtual Worlds Converge. *Forbes.* 2020. URL: <https://www.forbes.com/sites/kianbakhtiari/2021/12/30/welcome-to-hyperreality-where-the-physical-and-virtual-worlds-converge/>
11. Lee L.H., Braud T., Zhou P., Lin A.W., Kumar A., Bermejo C. et al. All One Needs to Know about Metaverse: A Complete Survey on Technological Singularity, Virtual Ecosystem, and Research Agenda. *Journal of Latex Class Files.* 2021; 14(8):1-66. DOI: 10.13140/RG.2.2.11200.05124/8
12. Sanatov D.V., Kharitonov M.A., Godunova E.A., Purgin A.S., Tibina E.Yu., Antonova V.S. Industrial metaverses. *Sources of New Industries.* 2023; 5:57. (rus.).
13. Daugherty P., Carrel-Billiard M., Blitz M. Meet Me in the Metaverse. *Accenture, The Technology Vision 2022 Report.* 2022; 7.
14. Sin Z.P.T., Jia Y., Wu A.C.H., Zhao I.D., Lee R.C., Ng P.H.F. et al. Toward an Edu-Metaverse of Knowledge: Immersive Exploration of University Courses. *IEEE Transactions on Learning Technologies.* 2023; 16(6):1096-1110. DOI: 10.1109/TLT.2023.3290814
15. Thango B.A. The Future of Education: Writing Exams in the Metaverse at South African Universities. *Business, Management and Economics.* 2024. DOI: 10.5772/intechopen.112003
16. Alkhatib Y.J., Forte A., Bitelli G., Pierdicca R., Malinverni E. Bringing Back Lost Heritage into Life by 3D Reconstruction in Metaverse and Virtual Environments: The Case Study of Palmyra, Syria. *Lecture Notes in Computer Science.* 2023; 91-106. DOI: 10.1007/978-3-031-43404-4_7
17. Shkaev D.G. Metatourism: trends and prospects. *Economic and Social Problems of Russia.* 2023; 4(56):29-34. DOI: 10.31249/espr/2023/04.02. EDN RJRSBQ. (rus.).
18. Lyu J. *Cultural Heritage Preservation in the Metaverse A Digitalized Student Study Tour of the Heritage Corridor of Sanjiang, Guangxi, China: Thesis for Master of Design.* 2022; 121. DOI: 10.13140/RG.2.2.25677.04320
19. Al-Tabeeb A.K., Al-Desouqi A. Metaverse in Architecture: An Approach to Documenting and Exploring the Egyptian Heritage Through Metaverse. *Green Building & Construction Economics.* 2023; 276-295. DOI: 10.37256/gbce.4220232300
20. Makarenko S.I. *Interoperability of human-machine interfaces : monograph.* St. Petersburg, 2023; 185. EDN WIQQEF. (rus.).

21. Mohammed S.Y., Aljanabi M., Gadekallu T.R. Navigating the Nexus : A Systematic Review of the Symbiotic Relationship between the Metaverse and Gaming. *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*. 2024; 5:88-103. DOI: 10.1016/j.ijcce.2024.02.001
22. Ramezani D., Jaferian G., Wagner M. An investigation into the educational possibilities of metaverse in the context of educational gaming : a review. *INTED Proceedings*. 2024; 1:5120-5129. DOI: 10.21125/inted.2024.1326
23. Zhang X., Yang D., Yow C.H., Huang L., Wu X., Huang X. et al. Metaverse for Cultural Heritages. *Electronics*. 2022; 11(22):3730. DOI: 10.3390/electronics11223730

Received May 11, 2024.

Adopted in revised form on May 31, 2024.

Approved for publication on September 23, 2024.

BIONOTES: **Leysan I. Sadykova** — postgraduate student, leading engineer of the Department of General Plans and Highways; **RN-BashNIPIneft**; 86 Lenin st., Republic of Bashkortostan, Ufa, 450006, Russian Federation; architectoramineva@mail.ru.