

СТРОИТЕЛЬСТВО: НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ

Construction: Science and Education

DOI: 10.22227/2305-5502

том 14 выпуск 2 (52)

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.А. Дядичева*
редактор *Т.В. Бердникова*
администратор сайта журнала *Н.А. Милованова*
корректор выпусков журнала *О.В. Ермихина*
дизайнер-верстальщик журнала *А.Д. Федотов*
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.A. Dyadicheva Executive editor
T.V. Berdnikova Editor
N.A. Milovanova Journal Website Manager
O.V. Ermikhina Corrector of Journal Issues
A.D. Fedotov 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 28.06.2024.
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 22,64.

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. +7 (495) 287-49-14, доб. 2476

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2024

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. По данным РИНЦ, среди 756 журналов в области строительства «Строительство: наука и образование» входит в 8 ведущих журналов отрасли.

Статьям присваивается цифровой идентификатор 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., академик 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

Андреев Владимир Игоревич, академик РААСН, д-р техн. наук, проф., проф. каф. сопротивления материалов, 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

Казарян Армен Юрьевич, д-р искусствоведения, академик РААСН, директор института архитектуры и градостроительства, НИУ МГСУ, Москва, Россия

Кантаржи Исмаил 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. архитектурно-строительного проектирования и физики среды, НИУ МГСУ, Москва, Россия

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.

According to the RSCI, “Construction: Science and Education” is one of the eight leading industry journals among 756 journals in the field of construction.

The articles are assigned a digital identifier DOI.

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, Academic 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

Vladimir I. Andreev, Academician of RAASN, DSc in engineering, Professor, Professor of the Department of Strength of Materials, 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 RAASN, 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

Armen Yu. Kazaryan, Doctor of Arts, Academician of the RAASN, Director of the Institute of Architecture and Urban Planning, MGSU, Moscow, Russia

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

Levon R. Mailyan, Academician of RAASN, 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 Architectural and Structural Design and Environmental Physics, 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 Акинто, 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., проф. кафедры строительного материаловедения, НИУ МГСУ, Москва, Россия

Завадскас Эдмандас Каземирас, иностранный член РААСН, д-р техн. наук, проф., зав. каф. строительных технологий и управления, Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Вильнюс, Литва

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., проф. кафедры железобетонных и каменных конструкций, НИУ МГСУ, Москва, Россия

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

Мешерин 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 RAASN, First Vice-President of RAASN, 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 RAASN, DSc in engineering, Professor, Professor of the Department of Construction Materials Science, MGSU, Moscow, 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. Grafkina, 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 RAASN, Vice-President of RAASN, Academician of Russian Engineering Academy, DSc in engineering, Professor, Scientific Director, LLC "Podzemproekt", Moscow, Russian Federation

Nikolay I. Karpenko, Academician of RAASN, 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 RAASN, DSc in engineering, Professor, Professor of the Department of Reinforced concrete and Masonry Structures, MGSU, Moscow, 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 S. Lesovik, Corresponding Member of RAASN, 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 RAASN, 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 RAASN, 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 RAASN, 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 RAASN, Dr. Sc. Engineering, Professor, Head of the Department of Construction Technologies and Management, Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania

СТРОИТЕЛЬСТВО: НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ

Том 14 Выпуск 2 (52)

Москва

НИУ МГСУ

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ	
Н.А. Анискин, А.В. Ступищев Фильтрация дамбы верхнего бассейна гидроаккумулирующей станции.....	6
Мохаммад Алишрайдех, И.А. Енговатов, А.А. Морозенко Структура и содержание платформы управления стадиями жизненного цикла АЭС.....	18
В.А. Ермаков, С.А. Николаев Дефекты железобетонных дымовых труб в современных условиях эксплуатации.....	32
Н.С. Никитина, А.Е. Безгрибелная Фундамент турбоагрегата теплоэлектростанции на стройплощадке из тиксотропных грунтов.....	45
С.В. Качанова Развитие спортивной инфраструктуры в Российской Федерации.....	66
АРХИТЕКТУРА. РЕКОНСТРУКЦИЯ. РЕСТАВРАЦИЯ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ. АРХИТЕКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ. ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ГРАДОРЕГУЛИРОВАНИЕ	
А.Р. Клочко, Т.В. Шамаева, С.А. Добычина Устойчивое развитие современных виноделен: приемы и методы в архитектурном проектировании.....	75
А.Р. Клочко, Е.А. Ларкина Архитектура клубных домов Москвы.....	95
Д.Д. Андропова, Ю.Е. Нижегородцева, А.А. Гудков Экологические подходы к формированию общественных приречных пространств как инструмент развития водно-зеленого каркаса города Новокузнецка.....	113
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ. ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ. НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ	
С.В. Самченко, О.А. Ларсен, Дия Абдулкадим Насер Альобайди Исследование водопотребности доломитовых заполнителей для бетонов в условиях сухого жаркого климата.....	149
ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗДАНИЙ. ПРОБЛЕМЫ ЖКК. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЯ	
В.И. Теличенко, А.А. Липидус, М.Ю. Слесарев, Мозаффар Мохаммад Али Методы управления жизненным циклом объектов капитального строительства с учетом влияния экологических и других видов рисков.....	166
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЛОГИСТИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	
А.Е. Лебедева, И.В. Каракозова Применение метода канбан для анализа потока проектов в крупной подрядной организации строительного сектора.....	178

CONTENT

BUILDING STRUCTURES. SOILS AND FOUNDATIONS. TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION. DESIGNING OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS. ENGINEERING SURVEY AND INSPECTION OF BUILDINGS	
Nikolai A. Aniskin, Andrey V. Stupitsev Filtration of the dam of the PSPP upper basin.....	6
Mohammad Alshraideh, Igor A. Engovatov, Andrey A. Morozenko Structure and content of the NPP life cycle stage management platform.....	18
Valentin A. Ermakov, Sergey A. Nikolaev Defects of reinforced concrete chimneys in modern operating conditions.....	32
Nadezhda S. Nikitina, Anastasia E. Bezgribelnaya Foundation of the turbine unit of a thermal power plant on a construction site made of thixotropic soils.....	45
Sofya V. Kachanova Development of sports infrastructure in the Russian Federation.....	66
ARCHITECTURE. RECONSTRUCTION. RESTORATION. CREATIVE CONCEPTS OF ARCHITECTURAL ACTIVITY. ARCHITECTURAL DESIGN. URBAN DEVELOPMENT. URBAN MANAGEMENT	
Asmik R. Klochko, Tatiana V. Shamaeva, Sofia A. Dobychina Sustainable development of modern wineries: techniques and methods in architectural design.....	75
Asmik R. Klochko, Elizaveta A. Larkina Architecture of Moscow clubhouses.....	95
Daria D. Andropova, Juliya E. Nizhegorodtseva, Alexey A. Gudkov Ecological approaches to the formation of public riverside spaces as a tool for the development of water and green framework of Novokuznetsk city.....	113
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS. TECHNOLOGIES FOR BUILDING MATERIALS PRODUCTION. NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES	
Svetlana V. Samchenko, Oksana A. Larsen, Dheyaa Abdulkadim Naser Alobaidi Study of water consumption of dolomite aggregates for concrete under conditions of dry hot climate.....	149
ENGINEERING SYSTEMS. EXPLOITATION OF BUILDINGS. PROBLEMS OF HOUSING AND COMMUNAL COMPLEX. ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING. SAFETY OF BUILDINGS AND STRUCTURES. ECOLOGY	
Valeriy I. Telichenko, Azariy A. Lapidus, Mikhail Yu. Slesarev, Mozaffari Mohammad Ali Methods for managing the life cycle of capital construction objects considering the impact of environmental and other types of risks.....	166
INFORMATION SYSTEMS AND LOGISTICS IN CONSTRUCTION	
Alexandra E. Lebedeva, Irina V. Karakozova Application of the kanban method to the analysis of project flow in a large contracting organization of the construction sector.....	178

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

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 626

DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.6-17

Фильтрация дамбы верхнего бассейна гидроаккумулирующей станции

Николай Алексеевич Анискин, Андрей Владимирович Ступивцев

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Грунтовые плотины и дамбы из мелкозернистых грунтов являются распространенными сооружениями. Их широкое использование в гидротехническом строительстве объясняется экономичностью вследствие применения местных материалов. Часто в таких конструкциях используются глинистые грунты как для укладки в призмы плотины, так и для устройства противофильтрационных элементов. Однако укладка глинистого грунта сопряжена с некоторыми ограничениями, связанными с климатическими условиями строительства. Это сказывается на времени строительства и в конечном итоге — на стоимости сооружения. Рассмотрена возможность замены части глинистого грунта дамбы на песчаный грунт, укладка которого не зависит в такой степени от погодных условий. Такая замена требует дополнительной проверки сооружения с точки зрения ее фильтрационной работоспособности. Проведено исследование фильтрационного режима дамбы бассейна гидроаккумулирующей станции (ГАЭС), возведенной с использованием всепогодной технологии укладки грунта. Рассматривались ограждающая дамба бассейна ГАЭС из смешанных грунтов на нескальном основании высотой 32,0 м, заложением верхового откоса 1:6,0, низового откоса — 1:3,5; 9 вариантов конструкции с различными конструктивными элементами.

Материалы и методы. Расчеты фильтрации грунтовой плотины для установившегося и неуставившегося режимов плотины проведены численным методом конечных элементов в локально-вариационной постановке с помощью программного комплекса FILTR.

Результаты. Для рассмотренных вариантов конструкции земляной дабы получены параметры фильтрационного потока: положение депрессионной кривой, величины фильтрационного расхода и градиента. Сделаны рекомендации по выбору конструкции.

Выводы. Исследования показали, что возможно использовать смешанный грунт, укладываемый по всепогодной технологии, в призмах грунтовой дамбы вместо части глинистого грунта при их послойной укладке. Фильтрационный режим сооружения совместно с основанием при этом не вызывает опасения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: земляная дамба, фильтрационный поток, депрессионная кривая, фильтрационный расход, градиент фильтрации, численные методы расчета, метод конечных элементов

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Анискин Н.А., Ступивцев А.В. Фильтрация дамбы верхнего бассейна гидроаккумулирующей станции // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. Вып. 2. С. 6–17. URL: <http://ns0-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.6-17

Автор, ответственный за переписку: Николай Алексеевич Анискин, aniskin@mgsu.ru.

Filtration of the dam of the PSPP upper basin

Nikolai A. Aniskin, Andrey V. Stupivtsev

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

ABSTRACT

Introduction. Ground dams and levees made of fine-grained soils are very common structures. Their widespread use in hydraulic engineering is explained by their cost-effectiveness due to the use of local materials. Clay soils are often used in such structures both for laying in the prisms of the dam and for the installation of anti-filtration elements. However, the laying of clay soil is associated with some restrictions related to the climatic conditions of construction. During the rainy period or

during the period of snowfall and exposure to negative temperatures, the laying of such soil slows down due to the need to apply special measures, or stops altogether. This affects the time of construction and, ultimately, the cost of construction. The possibility of replacing part of the clay soil of the dam with sandy soil, the laying of which does not depend to such an extent on weather conditions, is considered. However, such a replacement requires additional verification of the structure in terms of its filtration capacity. A study of the filtration regime of the dam of the basin of the PSPP, built using all-weather technology of soil laying, was carried out. The parameters of the filtration flow for various design variants are obtained. Recommendations are given on the choice of an option for an underground dam. The enclosing dam of the PSPP basin made of mixed soils on a non-slip foundation with a height of 32.0 m, laying an upper slope of 1:6.0, and a lower slope of 1:3.5 was considered. 9 design options with various structural elements were considered.

Materials and methods. Calculations of soil dam filtration for steady state and unsteady dam regimes were carried out using the numerical finite element method in the local variational formulation using the FILTR software package.

Results. As a result of the research, the parameters of the filtration flow were obtained for the considered variants of the earthwork design: the position of the depression curve, the values of the filtration flow rate and the gradient. Recommendations on the choice of design are made.

Conclusions. Studies have shown that it is possible to use mixed soil laid using all-weather technology in the prisms of a soil dam instead of part of the clay soil when they are layered. At the same time, the filtration regime of the structure together with the foundation does not cause concern.

KEYWORDS: earthen dam, filtration flow, depression curve, filtration flow rate, filtration gradient, numerical calculation methods, finite element method

FOR CITATION: Aniskin N.A., Stupitvsev A.V. Filtration of the dam of the PSPP upper basin. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2024; 14(2):6-17. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.6-17

Corresponding author: Nikolai A. Aniskin, aniskin@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Грунтовые водоподпорные сооружения и дамбы являются самым распространенным типом гидротехнических сооружений вследствие доступности и относительной дешевизны используемых материалов. Вместе с тем при возведении таких сооружений с использованием глинистых грунтов необходимо соблюдать определенные требования по влажности укладки и уплотнению. Укладка глинистых грунтов затрудняется в период дождей и зимнее время при выпадении снега и воздействии отрицательных температур.

Рассматривается возможность замены части насыпи глинистого грунта на более удобоукладываемый песчаный грунт. Однако такая замена должна быть обоснована с точки зрения обеспечения необходимого фильтрационного режима сооружения. Замена на более проницаемый грунт может привести к нежелательному изменению параметров фильтрационного режима: изменению положения депрессионной кривой, увеличению фильтрационного расхода и градиента фильтрации [1].

Применительно к рассматриваемой дамбе верхнего аккумулирующего бассейна задача осложняется условиями работы сооружения. Дамба подвержена воздействию многократно повторяющегося цикла сработки — наполнения верхнего бассейна. В соответствии с правилами эксплуатации уровень верхнего бассейна изменяется в соответствии с режимом работы гидроаккумулирующей станции (ГАЭС). В ночное время ГАЭС работает в насосном режиме. При этом уровень верхнего бассейна поднимается на 9,5 м с отметки 257,0 до отметки нормального подпорного уровня (НПУ) 266,5 м. При работе в турбинном режиме происходит снижение

уровня воды в пределах тех же отметок. Время наполнения верхнего бассейна составляет 8 ч, время сработки — 6,5. Таким образом, скорость сработки по высоте составляет почти 1,5 м/ч, что является достаточно высоким параметром [2, 3].

В практике гидротехники известно много случаев возникновения аварийных ситуаций и аварий при снижении уровня верхнего бьефа [3–6]. В верховой призме грунтовой плотины возникает движение фильтрационного потока, направленного к поверхности верхового откоса. Это может вызвать появление недопустимых фильтрационных деформаций и обрушение откоса [4, 5].

Постоянное изменение уровня воды в бассейне вследствие технологии процесса работы гидроаккумулирующей станции (ГАЭС) вызывает в дамбе и ее основании неустановившийся фильтрационный поток. Решение такой задачи даже при современном развитии вычислительных методов и средств представляется достаточно сложным. Для численного решения рассматриваемой задачи использован метод конечных элементов (МКЭ) в локально-вариационной постановке [7–9].

В данной работе рассматривается несколько вариантов конструкции грунтовой дамбы, для которых выполнено численное решение задачи неустановившейся фильтрации. На основе полученных результатов проведен анализ влияния изменяемых параметров конструкции дамбы на фильтрационный режим сооружения. Сделаны выводы и сформулированы рекомендации по оптимизации конструкции с точки зрения фильтрационной надежности сооружения.

Оценка фильтрационной прочности грунта и устойчивости грунтовой плотины при изменении уровней воды в бьефах основана на решении зада-

чи неустановившейся фильтрации. Теоретические основы движения жидкости в пористой полностью насыщенной среде были сформулированы Н.Е. Жуковским [10]. Предложенные им дифференциальные уравнения в частных производных легли в основу решения задач неустановившейся фильтрации. Однако сложность решения дифференциальных уравнений в полной постановке вызвала развитие приближенных инженерных методов. Одно из направлений исследований базировалось на гидравлической теории, основным допущением которой являлось постоянство по вертикальному сечению фильтрационного потока его скорости в горизонтальном направлении. Эти допущения были сформулированы и описаны в виде дифференциального уравнения Буссинеском [10, 11].

Впоследствии ряд исследований показал, что принятые упрощения могут привести к искажению результатов [11, 12]. Это способствовало дальнейшему развитию методов решения, в частности аналитических [13] и гидравлических [14, 15]. В силу сложности решаемой задачи и несовершенства этих методов рассматривались задачи, как правило, в упрощенной постановке, что не позволило сделать обобщающие выводы о необходимых мерах по исключению аварийных ситуаций.

На современном этапе задачи неустановившейся фильтрации в грунтовых плотинах и основаниях в наиболее полной постановке решаются с использованием численных методов [16–22], позволяющих учесть множество действующих факторов (проницаемость грунтов плотины, ее геометрические характеристики, скорости и величины сработки и т.д.), и получить подробную картину изменения фильтрационного процесса и его основных параметров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При решении задач неустановившейся фильтрации с помощью МКЭ пористая среда, в которой происходит движение фильтрационного потока, может рассматриваться как ненасыщенная, так и полностью насыщенная.

Применительно к рассматриваемой задаче, когда изменяется уровень воды в водохранилище, поры грунта, не полностью заполненные водой, насыщаются (когда уровень воды растет) или из них оттекает вода (когда уровень воды понижается). Для описания зависимости проницаемости грунта от его водонасыщения чаще всего применяются геотриационные модели, чтобы описывать фильтрационные свойства широкого спектра грунтов [23–25]. Широкое распространение получила модель Ван-Генухтена [24], применяемая для решения задач неустановившейся фильтрации, в том числе численными методами.

Если фильтрация проходит в полностью насыщенных водой грунтах, неизвестная функция напора $H = f(x, y, z, t)$, зависящая от координат и времени, определяется из решения дифференциального уравнения теории фильтрации с известными граничными условиями [7–9]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial H}{\partial z} \right) - \mu \frac{\partial h}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

где K_x, K_y, K_z — коэффициенты фильтрации в направлениях осей X, Y, Z ; μ — коэффициент водоотдачи (водопоглощения) грунта.

С использованием вариационного исчисления решение уравнения (1) сводится к минимизации функционала Φ применительно к расчетной области [7–9]:

$$\Phi = \iiint_V \left\{ \frac{1}{2} \left[K_x \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)^2 + K_y \left(\frac{\partial H}{\partial y} \right)^2 + K_z \left(\frac{\partial H}{\partial z} \right)^2 \right] + \mu \frac{\partial H}{\partial t} H \right\} dx dy dz. \quad (2)$$

Определение минимума функционала и соответствующее ему распределение искомой напорной функции $H(x, y, z, t)$ выполнялось с помощью МКЭ в локально-вариационной постановке.

В данной работе для решения задачи неустановившейся фильтрации используется программный комплекс FILTR, хорошо зарекомендовавший себя ранее для решения подобных задач [7–9].

Цель исследования — оценка возможности возведения дамбы верхнего бассейна с использованием грунта, укладываемого по всепогодной технологии. Также анализируется влияние выбранных параметров на фильтрационный режим сооружения.

Исследовался фильтрационный режим дамбы верхнего бассейна ГАЭС со следующими параметрами (схема конструкции дамбы представлена на рис. 1): высота 32,0 м, заложение верхового откоса 1:6,0, низового 1:3,5, ширина по гребню 10,0 м. Верховая и низовая призмы выполнены путем послойной укладки с укаткой чередующихся слоев одинаковой толщины различного состава и проницаемости: смешанных грунтов с коэффициентом фильтрации $K_\phi = 0,01$ м/сут и смешанных грунтов, укладываемых по всепогодной технологии с $K_\phi = 0,5$ м/сут. По верховому откосу дамбы устроен противофильтрационный экран из суглинка с коэффициентом фильтрации $K_\phi = 0,005$ м/сут. По низовому откосу выполнена отсыпка из смешанных грунтов с коэффициентом фильтрации $K_\phi = 0,01$ м/сут. Для перехвата потока, профильтровавшего через

верховую призму, по оси дамбы устроен вертикальный дренаж толщиной 2,0 м из песчаного грунта с $K_{\phi} = 1,0$ м/сут, соединенный на нижних отметках с горизонтальным дренажем, выполненным вдоль подошвы низовой призмы. Горизонтальный дренаж входит в водосборный коллектор. Грунт основания дамбы характеризуется проницаемостью с $K_{\phi} = 0,02$ м/сут. В качестве переменных параметров, влияющих на фильтрационный режим сооружения, рассматривались толщины слоев грунтов призм дамбы, толщина отсыпки вдоль низового откоса, длина горизонтального дренажа и высотное положение водосборного коллектора.

Рассмотренные варианты конструкции дамбы с соответствующими им значениями изменяемых параметров представлены в табл. 1. На рис. 1 приведены расчетные схемы вариантов 1 и 7.

Фильтрационный режим сооружения совместно с основанием исследовался при снижении уровня верхнего бьефа с отметки НПУ 266,5 до отметки сработки 257,0 за время 6,5 ч с равномерной по высоте скоростью снижения воды.

В качестве параметров для сравнения результатов выбраны следующие величины: минимальное расстояние от поверхности откоса до депрессионной кривой, м; максимальные градиенты напора в экране и на входе фильтрационного потока в трубчатый дренаж; удельный фильтрационный расход через дамбу.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Решение задачи неустановившейся фильтрации в дамбе верхнего бассейна ГАЭС позволило ответить на вопрос о возможности комбинированной укладки грунтов в тело дамбы с чередованием слоев из смешанных глинистых грунтов и смешанных грунтов, укладываемых по всепогодной технологии. Результаты расчетов для всех вариантов сведены в табл. 2.

Результаты расчетов для 1-го и 7-го вариантов (табл. 1) с полученными положениями депрессионной поверхности и распределением линий равных напоров в расчетной области представлены

Табл. 1. Варианты конструкции грунтовой дамбы

Изменяемые параметры	Варианты конструкции грунтовой плотины							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Толщина слоев, укладываемых в центральную часть дамбы, м	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Толщина отсыпки вдоль низового откоса насыпи из смешанных грунтов с $K_{\phi} = 0,01$ м/сут, м	5,0	5,0	10,0	10,0	5,0	5,0	10,0	10,0
Отметка устройства водосборного коллектора	239,0	240,0	240,0	239,0	239,0	240,0	240,0	239,0
Расстояние от оси дамбы до водосборного коллектора	103,0	79,0	79,0	103,0	103,0	79,0	79,0	103,0

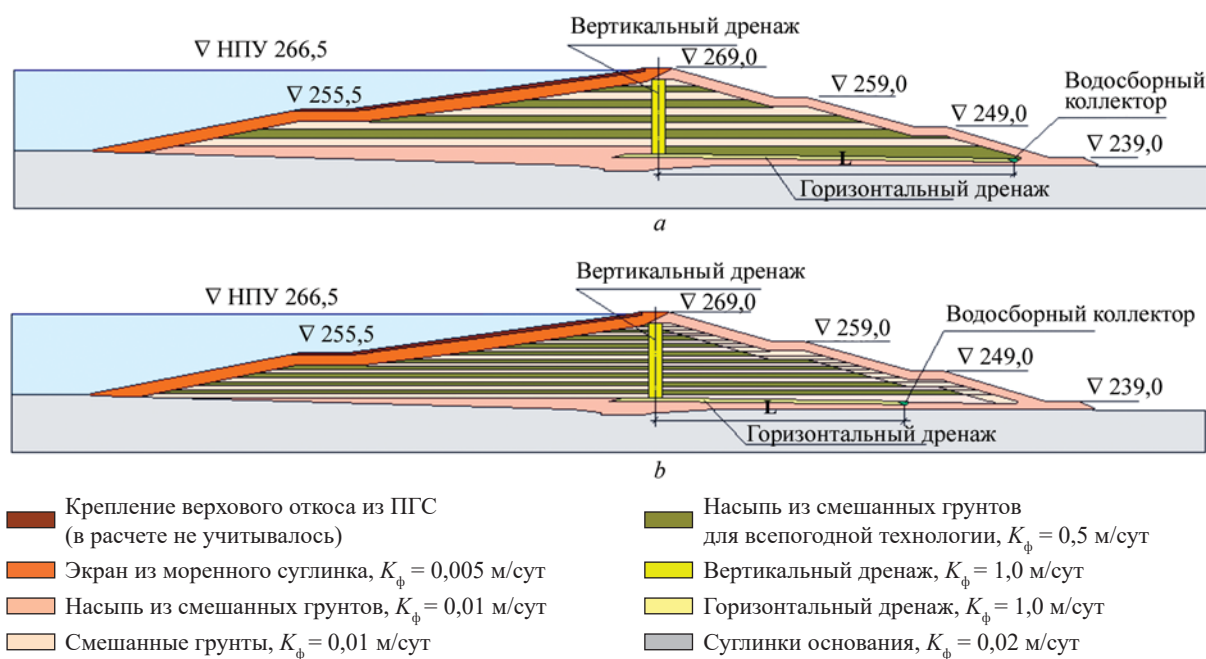


Рис. 1. Расчетная схема фильтрационного расчета дамбы: а — вариант 1; б — вариант 7

Табл. 2. Результаты фильтрационных расчетов

Номер варианта	Минимальное расстояние от поверхности откоса до депрессионной кривой, м	Максимальный фильтрационный градиент		Удельный фильтрационный расход через дамбу	
		в экране	на входе фильтрационного потока в трубчатый дренаж	м ³ /сут	м ³ /с
1	4,0	1,70	1,03	1,44	$1,66 \cdot 10^{-5}$
2	7,0	1,97	1,08	0,98	$1,13 \cdot 10^{-5}$
3	7,0	1,99	1,09	0,98	$1,13 \cdot 10^{-5}$
4	3,9	1,62	1,04	1,42	$1,64 \cdot 10^{-5}$
5	3,7	1,64	1,06	1,36	$1,57 \cdot 10^{-5}$
6	9,4	2,21	0,51	0,96	$1,11 \cdot 10^{-5}$
7	9,2	2,13	0,52	0,96	$1,11 \cdot 10^{-5}$
8	3,6	1,68	1,05	1,35	$1,56 \cdot 10^{-5}$
9	6,0	1,36	0,75	0,53	$0,61 \cdot 10^{-5}$

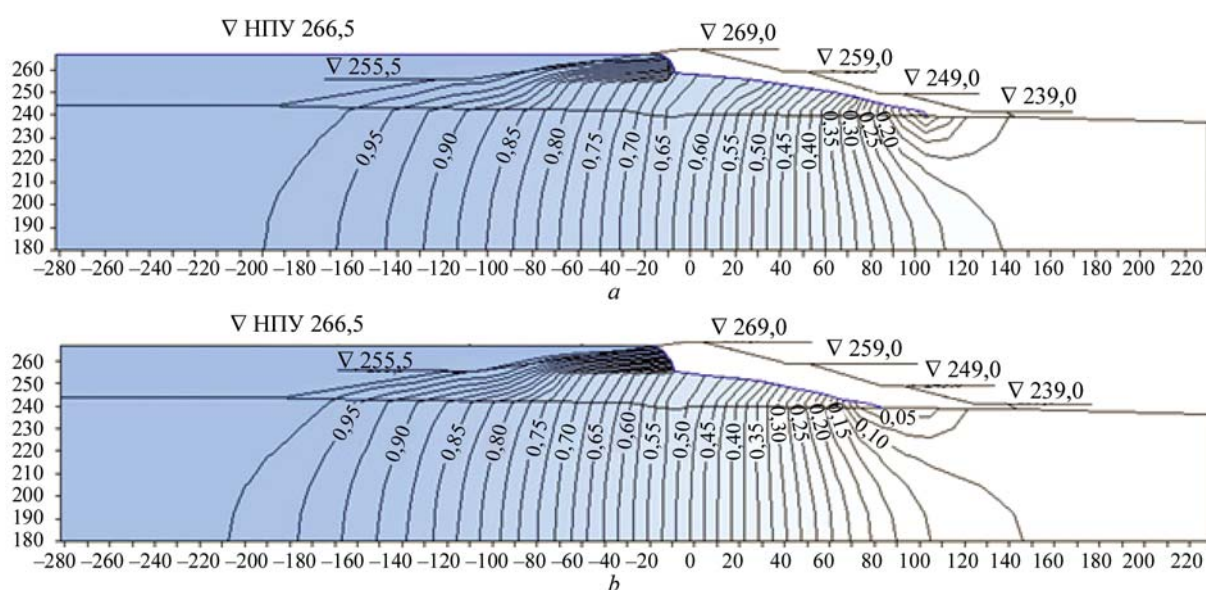


Рис. 2. Результаты фильтрационного расчета дамбы: а — вариант 1; б — вариант 7

на рис. 2. Шаг между соседними линиями принят равным $0,025H$, где H — значение полного фильтрационного напора, действующего в рассматриваемый момент времени.

Показаны результаты на момент полностью наполненного верхнего бьефа, для которого получены максимальные параметры фильтрационного потока.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы. В наибольшей степени на параметры фильтрационного потока влияет расположение водосборного коллектора (рассмотрены варианты его расположения на расстоянии 103,0 и 79,0 м от оси дамбы).

Остальные рассмотренные факторы практически не влияют на параметры фильтрационного потока.

Для всех исследованных вариантов величины фильтрационных градиентов в экране и на входе в водосборный коллектор не выходят за пределы до-

пустимого. Максимальные фильтрационные градиенты в экране изменяются в пределах от 1,62 до 2,21, максимальные градиенты на входе фильтрационного потока в коллектор — от 0,51 до 1,09. Удельный фильтрационный расход через дамбу и часть прилегающего основания незначителен и изменяется в зависимости от варианта от 0,96 до 1,44 м³/сут на погонный метр дамбы.

На положение депрессионной поверхности достаточно сильно влияет расположение водосборного коллектора. При расположении коллектора на расстоянии 103,0 м от оси дамбы (первоначальный вариант) минимальное расстояние от депрессионной поверхности до поверхности низового откоса составляет для рассмотренных вариантов от 3,6 до 4,0 м, что удовлетворяет требованию по глубине промерзания грунта в зимний период. Более благоприятным с этой точки зрения является вариант расположения коллектора на расстоянии 79,0 м от оси

дамбы. В этом случае заглубление депрессионной поверхности от поверхности откоса составляет от 7,0 до 9,4 м.

Учет нестационарности фильтрационного потока, вызванной сработкой и наполнением верхнего бассейна, улучшает фильтрационный режим дамбы по сравнению со стационарными решениями. Прежде всего, это сказывается на понижении депрессионной поверхности по сравнению со случаем постоянно наполненного бассейна.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод о возможности послойной укладки грунта различной проницаемости при заданных характеристиках грунтов и нормальной работе противofiltrационных элементов в теле дамбы ГАЭС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Замена части моренного суглинка, укладываемого в призмы грунтовой дамбы, на песчаный грунт,

укладываемый по всепогодной технологии, не приводит к критическим изменениям фильтрационного потока в сооружении: величины фильтрационного расхода и максимальных градиентов фильтрации не превышают допустимых пределов. Удельный фильтрационный расход для всех рассмотренных вариантов находится в интервале от 1,0 до 1,5 м³/сут на погонный метр дамбы. Максимальные градиенты напора в экране и на входе в коллектор не превышают критических величин.

Решение задач неустановившейся фильтрации для исследованных вариантов конструкции позволило сформулировать рекомендации по выбору рассмотренных параметров. Из всех факторов наибольшее влияние на формирование фильтрационного режима (в основном на положение депрессионной кривой) оказывает расположение водосборного коллектора. С точки зрения фильтрации более предпочтительное расстояние от оси плотины до оси коллектора — 79,0 м.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Adamo N., Al-Ansari N., Sissakian V., Laue J., Knutsson S. Dam safety problems related to seepage // Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering. 2020. Vol. 10. Issue 6. Pp. 191–239.
2. Fattah M.Y., Omran H.A., Hassan M.A. Behavior of an earth dam during rapid drawdown of water in reservoir — case study // International Journal of Advanced Research. 2015. Vol. 3. Issue 10. Pp. 110–122.
3. López-Acosta N.P., Sánchez M.A., Pereira J. Soil solution, G. Auvinet J.-M. Pereira. Assessment of exit hydraulic gradients at the toe of levees in water drawdown conditions // Scour and Erosion. 2014. Pp. 171–181. DOI: 10.1201/b17703-21
4. Stark T.D., Jafari N.H., Zhindon J.S.L., Baghdady A. Unsaturated and transient seepage analysis of San Luis dam // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2017. Vol. 143. Issue 2. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001602
5. Vandenberghe D.R. Total stress rapid drawdown analysis of the pilarcitos dam failure using the finite element method // Frontiers of Structural and Civil Engineering. 2014. Vol. 8. Issue 2. Pp. 115–123. DOI: 10.1007/s11709-014-0249-7
6. Беллендир Е.Н., Ивашинов Д.А., Стефанишин Д.В. и др. Вероятностные методы оценки надежности грунтовых гидротехнических сооружений. Т. 1. СПб. : ОАО ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2003.
7. Aniskin N.A., Sergeev S.A. The effect of draw-off on filtration regime of earth-fill dam // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. Vol. 18. Issue 1. Pp. 40–50. DOI: 10.22337/2587-9618-2022-18-1-40-50
8. Banichuk N.V., Makeev E.V. Variational method for non-classical problems of mechanics with constraints based on finite elements approximations and local variations // PNRPU Mechanics Bulletin. 2017. DOI: 10.15593/perm.mech/2017.3.03
9. Черноусько Ф.Л. Метод локальных вариаций для численного решения вариационных задач // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1965. Т. 5. № 4. С. 749–754. EDN VRTIIV.
10. Развитие исследований по теории фильтрации в СССР. М. : Наука, 1969. 545 с.
11. Шестаков В.М. Определение гидродинамических сил в земляных сооружениях и откосах при падении уровней в бьефах // Вопросы фильтрационных расчетов гидротехнических сооружений : сб. ВОДГЕО. 1956. № 2.
12. Muskat M. The flow of homogeneous fluids through porous media. New York : McGraw-Hill Book Company, 1937. 763 p.
13. Анахаев К.Н. О фильтрационном расчете перемычки // Математическое моделирование. 2011. Т. 23. № 2. С. 148–158. EDN RXPMLV.
14. Петриченко М.Р., Заборова Д.Д., Котов Е.В., Мусорина Т.А. Слабые решения предельных задач Крокко // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. 2018. Т. 11. № 3. С. 27–38. DOI: 10.18721/JPM.11303. EDN VBMEZB.
15. Chapman T.G., Dressler R.F. Unsteady shallow groundwater flow over a curved impermeable boundary // Water Resources Research. 1984.

Vol. 20. Issue 10. Pp. 1427–1434. DOI: 10.1029/WR020i010p01427

16. Okeke A.C.U., Wang F. Critical hydraulic gradients for seepage-induced failure of landslide dams // *Geoenvironmental Disasters*. 2016. Vol. 3. Issue 1. DOI: 10.1186/s40677-016-0043-z

17. Vandenberghe D.R. Total stress rapid drawdown analysis of the pilarcitos dam failure using the finite element method // *Frontiers of Structural and Civil Engineering*. 2014. Vol. 8. Issue 2. Pp. 115–123. DOI: 10.1007/s11709-014-0249-7

18. Billstein M. Development of a numerical model of flow through embankment dams. Department of Environmental Engineering. Lulea University of Technology, Lulea, Sweden, 1998. P. 59.

19. Yuan S., Zhong H. Three dimensional analysis of unconfined seepage in earth dams by the weak form quadrature element method // *Journal of Hydrology*. 2016. Vol. 533. Pp. 403–411. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.12.034

20. Yang J., Yin Z.Y., Laouafa F., Hicher P.Y. Modeling coupled erosion and filtration of fine particles in granular media // *Acta Geotechnica*. 2019. Vol. 14. Issue 6. Pp. 1615–1627. DOI: 10.1007/s11440-019-00808-8

21. Al-Labban S. Seepage and stability analysis of the earth dams under drawdown conditions by using the finite element method // *Electronic Theses and Dissertations*. 2018. P. 6157. URL: <https://stars.library.ucf.edu/etd/6157>

22. Hu S., Zhou X., Luo Y., Zhang G. Numerical simulation three-dimensional nonlinear seepage in a pumped-storage power station: case study // *Energies*. 2019. Vol. 12. Issue 1. P. 180. DOI: 10.3390/en12010180

23. Mualem Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media // *Water Resources Research*. 1976. Vol. 12. Issue 3. Pp. 513–522. DOI: 10.1029/WR012i003p00513

24. Van Genuchten M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // *Soil Science Society of America Journal*. 1980. Vol. 44. Issue 5. Pp. 892–898. DOI: 10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x

25. Kosugi K. General model for unsaturated hydraulic conductivity for soils with lognormal pore-size distribution // *Soil Science Society of America Journal*. 1999. Vol. 63. Issue 2. Pp. 270–277. DOI: 10.2136/sssaj1999.03615995006300020003x

Поступила в редакцию 2 мая 2024 г.

Принята в доработанном виде 12 мая 2024 г.

Одобрена для публикации 28 мая 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: Николай Алексеевич Анискин — доктор технических наук, профессор, директор Института гидротехнического и энергетического строительства; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; aniskin@mgsu.ru;

Андрей Владимирович Ступивцев — аспирант; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; StupivtsevAV@gmail.com.

Вклад авторов:

Анискин Н.А. — научное руководство, концепция исследования, развитие методологии, написание текста, доработка текста, итоговые выводы.

Ступивцев А.В. — проведение численного эксперимента и расчетных исследований, написание текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

Groundwater retaining structures and dams are the most common type of hydraulic structures due to the availability and relative cheapness of the materials used. However, when constructing such structures using clay soils, it is necessary to comply with certain requirements for moisture content of paving and compaction. Paving of clay soils is difficult during the rainy season and wintertime when snowfall and negative temperatures occur.

The possibility of replacing part of the clay soil embankment with more manageable sandy soil is con-

sidered. However, such replacement should be justified from the point of view of ensuring the required filtration regime of the structure. Replacement with more permeable soil may lead to undesirable changes in the filtration regime parameters: change of the depression curve position, increase of filtration flow rate and filtration gradient [1].

In the case of the upstream storage basin dam under consideration, the problem is complicated by the operating conditions of the structure. The dam is exposed to the repeatedly repeated cycle of upper basin drawdown and filling. In accordance with the operating

rules, the level of the upper basin changes in accordance with the operation mode of the pumped storage power plant (PSPP). At night, the PSPP operates in pumping mode. In this case the level of the upper basin rises by 9.5 metres from the level of 257.0 to the normal retaining level (NRL) of 266.5 metres. During operation in turbine mode the water level decreases within the same marks. The filling time of the upper basin is 8 hours and the drawdown time is 6.5 hours. Thus, the discharge rate by height is almost 1.5 m/h, which is a rather high parameter [2, 3].

In the practice of hydraulic engineering, many cases of emergencies and accidents are known to occur when the level of the upstream slope decreases [3–6]. In the upstream prism of an earth dam, there is a movement of filtration flow directed towards the surface of the upstream slope. This can cause unacceptable filtration deformations and slope collapse [4, 5].

Constant change of water level in the basin due to the process technology of the hydro-storage power plant (HSPP) causes unsteady filtration flow in the dam and its foundation. The solution of such a problem, even with the modern development of computational methods and tools, is quite complicated. For the numerical solution of the problem under consideration, the finite element method (FEM) in the local variational formulation was used [7–9].

This paper considers several variants of the earth dam design, for which the numerical solution of the problem of unsteady filtration is performed. On the basis of the obtained results, the influence of variable parameters of the dam design on the filtration regime of the structure is analyzed. Conclusions are drawn and recommendations on optimization of the design from the point of view of filtration reliability of the structure are formulated.

The assessment of soil filtration strength and stability of the earth dam under changing water levels in the embankments is based on the solution of the problem of unsteady filtration. The theoretical basis of fluid motion in a porous fully saturated medium was formulated by N.E. Zhukovsky [10]. The partial differential equations proposed by him formed the basis for solving the problems of unsteady filtration. However, the complexity of solving differential equations in full formulation caused the development of approximate engineering methods. One of the research directions was based on the hydraulic theory, the main assumption of which was the constancy of the velocity in the horizontal direction along the vertical cross-section of the filtration flow. These assumptions were formulated and described in the form of the Boussinesq differential equation [10, 11].

Subsequently, a number of studies have shown that the simplifications adopted can distort the results [11, 12]. This contributed to the further development of solution methods, in particular, analytical [13] and hydraulic [14, 15]. Due to the complexity of the prob-

lem to be solved and the imperfection of these methods, the problems were considered, as a rule, in a simplified formulation, which did not allow drawing generalized conclusions about the necessary measures to exclude emergencies.

At the present stage, the problems of unsteady filtration in earth dams and foundations are solved in the most complete formulation using numerical methods [16–22], which make it possible to take into account many factors (permeability of dam soils, its geometrical characteristics, velocities and values of discharges, etc.) and to obtain a detailed picture of the changes in the filtration process and its main parameters.

MATERIALS AND METHODS

When solving problems of unsteady filtration using FEM, the porous medium in which the filtration flow occurs can be considered as unsaturated or fully saturated.

For the problem under consideration, when the water level in the reservoir changes, soil pores not completely filled with water become saturated (when the water level rises) or water flows out of them (when the water level falls). Geofiltration models are most often used to describe the dependence of soil permeability on its water saturation in order to describe the filtration properties of a wide range of soils [23–25]. The Van-Genuchten model [24] is widely used for solving problems of unsteady filtration, including numerical methods.

If filtration takes place in soils completely saturated with water, the unknown head function $H = f(x, y, z, t)$, depending on coordinates and time, is determined from the solution of the differential equation of filtration theory with known boundary conditions [7–9]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial H}{\partial z} \right) - \mu \frac{\partial H}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

where K_x, K_y, K_z — filtration coefficients in directions of axes X, Y, Z , μ — water yield (water absorption) coefficient of soil.

Using the calculus of variations, the solution of equation (1) is reduced to minimizing the functional Φ with respect to the computational domain [7–9]:

$$\Phi = \iiint_V \left\{ \frac{1}{2} \left[K_x \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)^2 + K_y \left(\frac{\partial H}{\partial y} \right)^2 + K_z \left(\frac{\partial H}{\partial z} \right)^2 \right] + \mu \frac{\partial H}{\partial t} H \right\} dx dy dz. \quad (2)$$

The determination of the minimum of the functional and the corresponding distribution of the desired pressure function $H(x, y, z, t)$ was performed using FEM in the local variational formulation.

In this paper, the FILTR software package, which has proven itself earlier for solving similar problems [7–9], is used to solve the problem of unsteady filtration.

The purpose of the study is to assess the feasibility of constructing an upper basin dam using soil placed using all-weather technology. The influence of the selected parameters on the filtration regime of the structure is also analyzed.

The filtration regime of the dam of the upper basin of the hydroelectric power plant with the following parameters was studied (the scheme of the dam construction is presented in Fig. 1): height 32.0 m, top slope embedment 1:6.0, bottom slope embedment 1:3.5, crest width 10.0 m. The upper and lower prisms are made by laying alternating layers of equal thickness of different composition and permeability: mixed soils with filtration coefficient $K_f = 0.01$ m/day and mixed soils laid by all-weather technology with $K_f = 0.5$ m/day. On the upstream slope of the dam an impervious blanket

of loam with a filtration coefficient $K_f = 0.005$ m/day was constructed. On the downstream slope there is a mixed soil fill with filtration coefficient $K_f = 0.01$ m/day. To intercept the flow, filtered through the upper prism, a vertical drainage 2.0 m thick of sandy soil with $K_f = 1.0$ m/day is constructed along the dam axis, connected at the lower levels with the horizontal drainage made along the bottom of the lower prism. The horizontal drainage enters the catchment collector. The dam base soil is characterized by permeability with $K_f = 0.02$ m/day. The thickness of the soil layers of the dam prisms, the thickness of the fill along the bottom slope, the length of the horizontal drainage and the elevation of the catchment collector were considered as variables affecting the filtration regime of the structure.

The considered variants of dam design with their corresponding values of variable parameters are presented in Table 1. Fig. 1 shows the design schemes of variants 1 and 7.

The filtration regime of the structure together with the foundation was studied when the level of the upper reservoir decreased from the elevation 266.5 to the discharge elevation 257.0 during 6.5 h with a uniform rate of water decrease along the height.

Table 1. Variants of earth dam design

Variable parameters	Design options for earth dams							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Thickness of layers placed in the centre part of the dam, m	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Thickness of fill along the lower slope of an embankment made of mixed soils with $K_f = 0.01$ m/day, m	5.0	5.0	10.0	10.0	5.0	5.0	10.0	10.0
Water collector device marking	239.0	240.0	240.0	239.0	239.0	240.0	240.0	239.0
Distance from the dam axis to the catchment collector	103.0	79.0	79.0	103.0	103.0	79.0	79.0	103.0

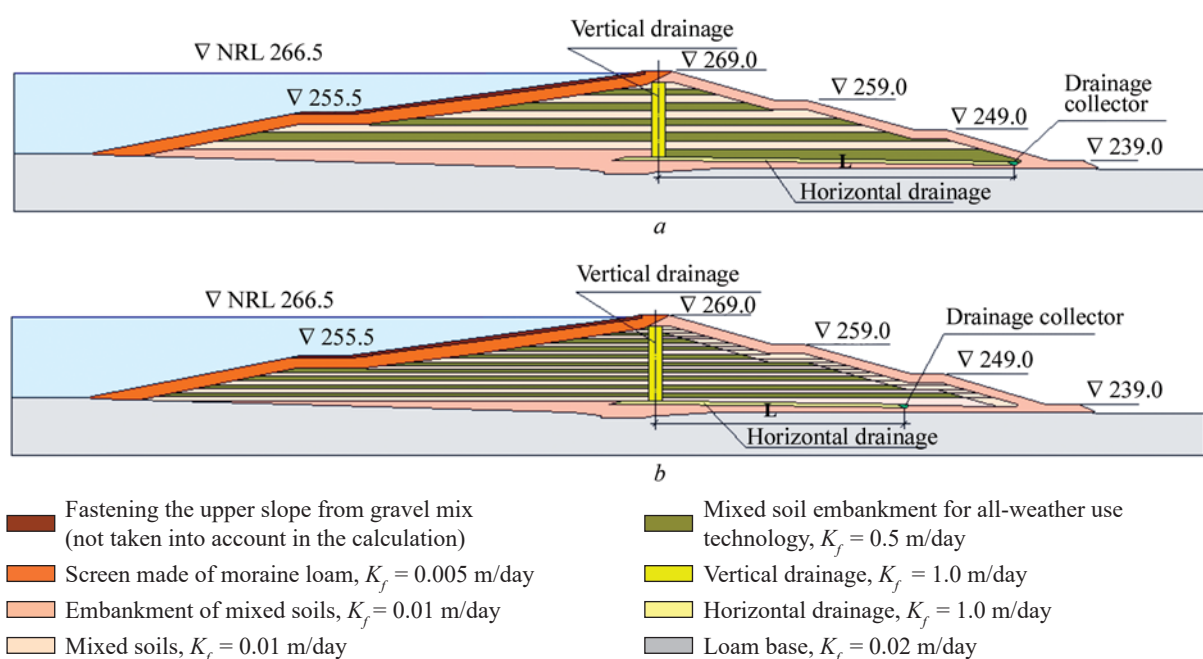


Fig. 1. Design scheme of the dam filtration calculation: *a* — variant 1; *b* — variant 7

The following values were chosen as parameters for comparison of the results: minimum distance from the slope surface to the depression curve, m; maximum head gradients in the screen and at the inlet of filtration flow into the pipe drainage; specific filtration flow rate through the dam.

RESEARCH RESULTS

The solution of the problem of unsteady filtration in the dam of the upper basin of the hydroelectric power plant allowed to answer the question about the possibility of combined soil placement in the dam body with alternating layers of mixed clayey soils and mixed soils placed using all-weather technology. The results of calculations for all variants are summarized in Table 2.

The results of calculations for the 1st and 7th variants (Table 1) with the obtained positions of the depression surface and distribution of equal head lines in

the calculation area are presented in Fig. 2. The step between neighbouring lines is taken as $0.025H$, where H is the value of total filtration head acting at the considered moment of time.

The results are shown for the moment of fully filled upstream, for which the maximum filtration flow parameters are obtained.

The following conclusions can be drawn on the basis of the obtained results. The location of the catchment collector has the greatest influence on the filtration flow parameters (variants of its location at a distance of 103.0 and 79.0 m from the dam axis were considered).

The other considered factors practically do not influence the filtration flow parameters.

For all investigated variants, the values of filtration gradients in the screen and at the inlet to the catchment collector do not exceed the permissible limits. Maximum filtration gradients in the screen vary from 1.62 to 2.21, maximum gradients at the inlet of filtration flow

Table 2. Results of filtration calculations

Variant number	Minimum distance from the slope surface to the depression curve, m	Maximum filtration gradient		Specific filtration flow rate through the dam	
		Into the screen	At the inlet of the filtration flow into the pipe drainage	m ³ /day	m ³ /sec
1	4.0	1.70	1.03	1.44	$1.66 \cdot 10^{-5}$
2	7.0	1.97	1.08	0.98	$1.13 \cdot 10^{-5}$
3	7.0	1.99	1.09	0.98	$1.13 \cdot 10^{-5}$
4	3.9	1.62	1.04	1.42	$1.64 \cdot 10^{-5}$
5	3.7	1.64	1.06	1.36	$1.57 \cdot 10^{-5}$
6	9.4	2.21	0.51	0.96	$1.11 \cdot 10^{-5}$
7	9.2	2.13	0.52	0.96	$1.11 \cdot 10^{-5}$
8	3.6	1.68	1.05	1.35	$1.56 \cdot 10^{-5}$
9	6.0	1.36	0.75	0.53	$0.61 \cdot 10^{-5}$

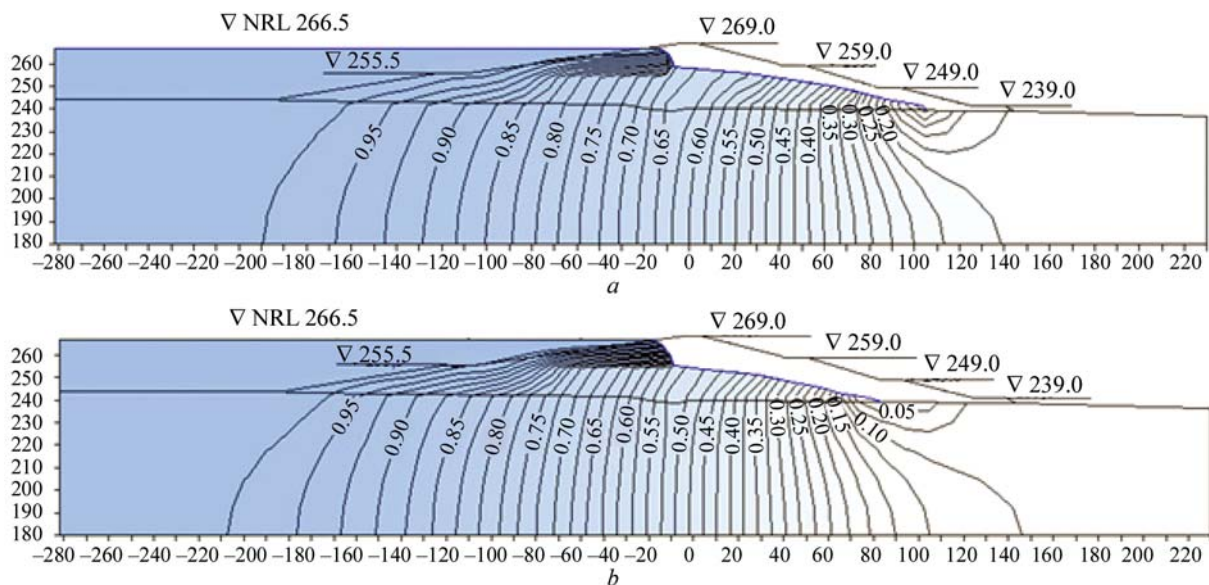


Fig. 2. Results of seepage calculation of the dam: *a* — variant 1; *b* — variant 7

into the collector — from 0.51 to 1.09. The specific filtration flow rate through the dam and part of the adjacent foundation is insignificant and varies depending on the variant from 0.96 to 1.44 m³/day per linear metre of the dam.

The position of the depression surface is strongly influenced by the location of the catchment collector. When the collector is located 103.0 m from the dam axis (the original option), the minimum distance from the depression surface to the downstream slope surface is 3.6 to 4.0 m for the options considered, which satisfies the winter freezing depth requirement. More favourable from this point of view is the option of the collector location at a distance of 79.0 m from the dam axis. In this case, the depth of the depression surface from the slope surface is from 7.0 to 9.4 m.

Taking into account the non-stationarity of the filtration flow caused by the drawdown and filling of the upper basin improves the filtration regime of the dam compared to stationary solutions. First of all, it affects the lowering of the depression surface compared to the case of a permanently filled basin.

All the above-mentioned allows to draw a conclusion about the possibility of layer-by-layer laying of

soil of different permeability at given characteristics of soils and normal operation of impervious elements in the body of the PSPP dam.

CONCLUSION

Replacement of a part of moraine loam, laid in the prisms of the earth dam, with sandy soil, laid using all-weather technology, does not lead to critical changes in the filtration flow in the structure: the values of filtration flow and maximum filtration gradients do not exceed the permissible limits. The specific filtration flow rate for all considered variants is in the range from 1.0 to 1.5 m³/day per linear metre of dam. Maximum head gradients in the screen and at the collector inlet do not exceed critical values.

The solution of unsteady filtration problems for the investigated design variants allowed us to formulate recommendations on the selection of the considered parameters. Of all the factors, the location of the catchment collector has the greatest influence on the formation of the filtration regime (mainly on the position of the depression curve). From the point of view of filtration the more preferable distance from the dam axis to the collector axis is 79.0 m.

REFERENCES

1. Adamo N., Al-Ansari N., Sissakian V., Laue J., Knutsson S. Dam safety problems related to seepage. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*. 2020; 10(6):191-239.
2. Fattah M.Y., Omran H.A., Hassan M.A. Behavior of an earth dam during rapid drawdown of water in reservoir — case study. *International Journal of Advanced Research*. 2015; 3(10):110-122.
3. López-Acosta N.P., Sánchez M.A., Pereira J. Soil Solution, G. Auvinet J.-M. Pereira. Assessment of exit hydraulic gradients at the toe of levees in water drawdown conditions. *Scour and Erosion*. 2014; 171-181. DOI: 10.1201/b17703-21
4. Stark T.D., Jafari N.H., Zhindon J.S.L., Baghdady A. Unsaturated and transient seepage analysis of San Luis dam. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2017; 143(2). DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001602
5. Vandenberge D.R. Total Stress rapid drawdown analysis of the Pilarcitos dam failure using the finite element method. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*. 2014; 8(2):115-123. DOI: 10.1007/s11709-014-0249-7
6. Bellendir E.N., Ivashintsov D.A., Stefanishin D.V. et al. *Probabilistic methods for assessing the reliability of soil hydraulic structures. Vol. 1*. St. Petersburg, JSC VNIIG named after B.E. Vedeneva. 2003. (rus.).
7. Aniskin N.A., Sergeev S.A. The effect of draw-off on filtration regime of earth-fill dam. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2022; 18(1):40-50. DOI: 10.22337/2587-9618-2022-18-1-40-50
8. Banichuk N.V., Makeev E.V. Variational method for non-classical problems of mechanics with constraints based on finite elements approximations and local variations. *PNRPU Mechanics Bulletin*. 2017. DOI: 10.15593/perm.mech/2017.3.03
9. Chernous'ko F.L. A local variation method for the numerical solution of variational problems. *USSR Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 1965; 5(4):749-754. EDN VRTIIV. (rus.).
10. *Development of research on filtration theory in the USSR*. Moscow, Nauka, 1969; 545. (rus.).
11. Shestakov V.M. Determination of hydrodynamic forces in earthen structures and slopes when water levels fall. *Questions of filtration calculations of hydraulic structures : collection*. VODGEO. 1956; 2. (rus.).
12. Muskat M. *The flow of homogeneous fluids through porous media*. New York, McGraw-Hill Book Company, 1937; 763. (rus.).
13. Anakhaev K.N. About filtration account the crosspiece. *Mathematical Models and Computer Simulations*. 2011; 23(2):148-158. EDN RXPMLV. (rus.).

14. Petrichenko M.R., Zaborova D.D., Kotov E.V., Musorina T.A. Weak solutions of the crocco boundary problems. *St. Petersburg Polytechnical University Journal: Physics and Mathematics*. 2018; 11(3):27-38. DOI: 10.18721/JPM.11303. EDN VBMEZB. (rus.).
15. Chapman T.G., Dressler R.F. Unsteady shallow groundwater flow over a curved impermeable boundary. *Water Resources Research*. 1984; 20(10):1427-1434. DOI: 10.1029/WR020i010p01427
16. Okeke A.C.U., Wang F. Critical hydraulic gradients for seepage-induced failure of landslide dams. *Geoenvironmental Disasters*. 2016; 3(1). DOI: 10.1186/s40677-016-0043-z
17. Vandenberghe D.R. Total stress rapid draw-down analysis of the Pilarcitos dam failure using the finite element method. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*. 2014; 8(2):115-123. DOI: 10.1007/s11709-014-0249-7
18. Billstein M. *Development of a numerical model of flow through embankment dams*. Department of Environmental Engineering. Lulea University of Technology, Lulea, Sweden, 1998; 59.
19. Yuan S., Zhong H. Three dimensional analysis of unconfined seepage in earth dams by the weak form quadrature element method. *Journal of Hydrology*. 2016; 533:403-411. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.12.034
20. Yang J., Yin Z.Y., Laouafa F., Hicher P.Y. Modeling coupled erosion and filtration of fine particles in granular media. *Acta Geotechnica*. 2019; 14(6):1615-1627. DOI: 10.1007/s11440-019-00808-8
21. Al-Labban S. Seepage and stability analysis of the earth dams under drawdown conditions by using the finite element method. *Electronic Theses and Dissertations*. 2018; 6157. URL: <https://stars.library.ucf.edu/etd/6157>
22. Hu S., Zhou X., Luo Y., Zhang G. Numerical simulation three-dimensional nonlinear seepage in a pumped-storage power station: case study. *Energies*. 2019; 12(1):180. DOI: 10.3390/en12010180
23. Mualem Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research*. 1976; 12(3):513-522. DOI: 10.1029/WR012i003p00513
24. Van Genuchten M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*. 1980; 44(5):892-898. DOI: 10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x
25. Kosugi K. General model for unsaturated hydraulic conductivity for soils with lognormal pore-size distribution. *Soil Science Society of America Journal*. 1999; 63(2):270-277. DOI: 10.2136/sssaj1999.03615995006300020003x

Received May 2, 2024.

Adopted in revised form on May 12, 2024.

Approved for publication on May 28, 2024.

B I O N O T E S: **Nikolai A. Aniskin** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Institute of Hydraulic Engineering and Energy Construction; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; aniskin@mgsu.ru;

Andrey V. Stupitvsev — postgraduate student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; StupitvsevAV@gmail.com.

Contribution of the authors:

Nikolai A. Aniskin — conceptualization, methodology, writing of the article, scientific editing of the text, supervision.

Andrey V. Stupitvsev — gathering and processing, writing of the article.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Структура и содержание платформы управления стадиями жизненного цикла АЭС

Мохаммад Альшрайдех, Игорь Анатольевич Енговатов,
Андрей Александрович Морозенко

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Управление жизненным циклом (ЖЦ) атомных электростанций (АЭС) является сложным процессом по многим причинам, одна из которых — большой объем информации, требующей осмысления и анализа на всех этапах ЖЦ: начиная с размещения и выбора площадки и до завершающего этапа вывода из эксплуатации. Управление ЖЦ АЭС представляет собой многофакторный процесс, включающий анализ большого количества разноплановой информации и действий. Для принятия во внимание всех деталей этого сложного процесса по управлению ЖЦ необходимо создание цифровой платформы, а для облегчения процесса обработки информации и управления ЖЦ АЭС — математическое описание.

Материалы и методы. Цель исследования — обоснование необходимости создания платформы управления ЖЦ АЭС от стадии размещения до стадии вывода из эксплуатации. Элементы платформы управления следует использовать для осуществления стратегического планирования при принятии долгосрочных решений, направленных на обеспечение безопасности, учитывая, что вывод станции из эксплуатации является самым высокорисковым этапом ЖЦ АЭС.

Результаты. Рассматриваются основы создания платформы управления ЖЦ АЭС, включая математическое описание и алгоритмы методики для управления им, представлены структура и образ платформы, приведен пример управления рисками.

Выводы. Предложены структура и содержание платформы управления ЖЦ АЭС, которая объединяет все стадии ЖЦ АЭС, систематизирует информацию обо всех событиях и элементах в цифровом формате с учетом факторов: безопасности, стоимости, долговечности, времени. Платформа позволяет проводить анализ и оценку стадий ЖЦ АЭС.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: управление жизненным циклом АЭС, управление рисками, анализ рисков, риски на стадиях жизненного цикла АЭС, платформа ЖЦ АЭС, методика управления ЖЦ АЭС, методика управления рисками, риски на ЖЦ АЭС

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Альшрайдех М., Енговатов И.А., Морозенко А.А. Структура и содержание платформы управления стадиями жизненного цикла АЭС // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. Вып. 2. С. 18–31. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.18-31

Автор, ответственный за переписку: Игорь Анатольевич Енговатов, eng46@mail.ru.

Structure and content of the NPP life cycle stage management platform

Mohammad Alshraideh, Igor A. Engovatov, Andrey A. Morozenko

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

ABSTRACT

Introduction. Life cycle management of nuclear power plants is a complex process for many reasons, one of which is a large amount of information that requires understanding and analysis at all stages of the life cycle (LC): from the stage of "Site placement and selection" to the final stage of "Decommissioning". NPP lifecycle management is a multifactorial process that includes obtaining and analysing a large amount of diverse information and actions. To consider all the details of this complex LC management process, it is necessary to create a digital platform, and to facilitate the process of information processing and management of NPP LC, a mathematical description is needed.

Materials and methods. The purpose of this paper is to substantiate the need to create a management platform for NPP LC from the stage of placement to the stage of decommissioning. The elements of the management platform should be used in the implementation of strategic planning when making long-term decisions aimed at ensuring safety, given that the decommissioning of the plant is the most high-risk stage of the NPP housing and communal services.

Results. The paper discusses the basics of creating an NPP LC management platform, including a mathematical description and algorithms of the methodology for managing it, presents the structure and image of the platform and provides an example of risk management.

Conclusions. The structure and content of the NPP LC management platform are proposed, which combines all stages of the NPP life cycle, consolidates and systematizes information about all events and elements in digital format, considering factors: safety, cost, durability, time, the platform allows for analysis and evaluation of NPP LC stages.

KEYWORDS: NPP life cycle management, risk management, risk analysis, risks at the stages of the NPP life cycle, NPP LC platform, NPP life cycle management methodology, risk management methodology, risks at NPP LC

FOR CITATION: Alshraideh M., Engovatov I.A., Morozenko A.A. Structure and content of the NPP life cycle stage management platform. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2024; 14(2):18-31. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.18-31

Corresponding author: Igor A. Engovatov, eng46@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Жизненный цикл (ЖЦ) сложных объектов капитального строительства, к которым относятся энергоблоки атомных электростанций (АЭС), включает следующие основные стадии [1, 2]:

1. Размещение и оценка площадки.
2. Проектирование.
3. Сооружение.
4. Эксплуатация.
5. Вывод из эксплуатации.

Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) термину «жизненный цикл атомной электростанции» дано определение: это интеграция управления безопасностью, управления старением и решений по управлению бизнесом, а также экономических соображений в течение срока службы атомной электростанции. Управление ЖЦ производится с целью [3, 4]:

- поддерживать приемлемый уровень производительности и безопасности;
- оптимизировать эксплуатацию, техническое обслуживание и срок службы конструкций систем и компонентов;
- максимизировать отдачу от инвестиций в течение всего срока эксплуатации атомной электростанции;
- учитывать национальные стратегии финансирования ЖЦ (включая вывод из эксплуатации), рациональное использование топлива и отходов;
- безопасность персонала и населения должна иметь первостепенное значение при эксплуатации атомной электростанции и выводе из эксплуатации;
- сумма и срок действия обязательств, остающихся после прекращения производства электроэнергии, значительно больше, чем для большинства бизнес-активов в других отраслях;
- надлежащая эксплуатация может привести к отсрочке капитальных затрат, необходимых для вывода из эксплуатации и хранения отходов;
- средства для выполнения обязательств по выводу из эксплуатации должны быть собраны во время эксплуатации;
- активизация эффективной системы управления рисками с первого этапа ЖЦ для минимизации и устранения рисков, которые могут повлиять на все этапы ЖЦ АЭС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Цель исследования — обоснование необходимости создания платформы управления ЖЦ АЭС от стадии размещения до стадии вывода из эксплуатации. В настоящее время в научной литературе системный анализ вопросов управления ЖЦ АЭС носит недостаточно полный характер, а существующие системы поддержки принятия решений обеспечивают лишь фрагментарные возможности управления ЖЦ. В данной публикации предложена платформа комплексного управления и принятия решений на протяжении всего ЖЦ АЭС.

РЕЗУЛЬТАТЫ

МАГАТЭ разработало принципы и руководящие указания по эффективному управлению ЖЦ [3] для легких реакторов на воде и для реакторов на тяжелой воде с целью удовлетворения требований к безопасному и длительному обеспечению электроэнергией с сохранением конкурентоспособности. Основную цель эксплуатирующей компании АЭС можно сформулировать как: «работать как можно дольше, насколько это экономически целесообразно и возможно с точки зрения безопасности». Таким образом управление жизненным циклом это:

- система программ и процедур для выполнения требований безопасной эксплуатации и выработки электроэнергии конкурентоспособным способом и в течение времени, рационального с технической и экономической точек зрения [5];
- инструмент управления для достижения целей производительности, безопасности, долговечности и экономичности [6].

Данные руководящие принципы были разработаны с использованием существующего международного опыта мировой атомной энергетики и материалов экспертов, занимающихся продлением лицензий и модернизацией, аспектами регулирования, повышением безопасности и экономичности АЭС [6].

Авторы считают, что управление ЖЦ АЭС заключается в сборе и объединении всех элементов и событий, влияющих на ЖЦ, в единой базе данных на платформе с последующей их обработкой с применением современных методов для оценки состояния АЭС, которая позволяет оценить текущий этап

ЖЦ и принять решение о переводе станции на следующий этап ЖЦ. Предлагаемая платформа управления ЖЦ АЭС, по сути, является цифровой базой данных с последующей их обработкой, вводимых на всех этапах ЖЦ АЭС по факторам (рис. 1).



Рис. 1. Факторы, влияющие на ЖЦ АЭС

Платформа управления ЖЦ АЭС служит основой при формировании программы для контроля ЖЦ АЭС с ее создания до момента вывода из эксплуатации, поэтому каждый элемент платформы прямо или косвенно отвечает за набор численных значений, которые помогают иметь полное представление обо всех событиях для принятия решений, в том числе о переходе на следующий этап.

Следует отметить, что управление необходимо в течение всего ЖЦ АЭС, а не на отдельном этапе.

Платформа призвана облегчить контроль и надзор за управлением текущей стадией проекта АЭС, оценить текущее состояние, а также контролировать перевод АЭС с текущей стадии на следующую.

Платформа разделена на 17 элементов, как показано на рис. 2.

Обеспечение безопасной, экономичной и долгосрочной эксплуатации эквивалентно предоставлению дополнительной генерирующей мощности, что предполагает продление срока действия в максимально возможной степени при сохранении безопасности и конкурентоспособности АЭС. Следует помнить, что целью строительства АЭС является экономичная выработка и продажа электроэнергии, доходы от которой должны обеспечивать финансирование всего ЖЦ [6–10].

Краткое описание наиболее важных элементов (событий) управления ЖЦ АЭС приведено в таблице.

Предлагаемая платформа управления ЖЦ АЭС (рис. 2) объединяет все элементы (события), влияющие на ЖЦ АЭС, в одно уравнение, где сумма всех элементов считается равной 1 или 100 баллам [5].

Присвоение числового значения каждому элементу дает возможность произвести оценку элементов по заданным критериям методами экспертной оценки и многокритериального принятия решений (Multi-criteria decision analysis — MCDA). Другими словами, платформа управления ЖЦ АЭС — это сумма элементов, которые образуют интегрированную систему, позволяющую спе-



Рис. 2. Элементы платформы управления жизненным циклом АЭС

Элементы (события) управления жизненным циклом АЭС

п/п	Элемент	Описание
1	Управление безопасностью	Компонент управления всей организацией описан в системе менеджмента качества. Повышение показателей безопасности организации посредством планирования, контроля и надзора за деятельностью, связанной с безопасностью, включая формирование сильной культуры безопасности посредством развития и укрепления надлежащего отношения и поведения в области безопасности [3, 4, 10]
2	Управление активами	Бизнес-дисциплина, связанная с мониторингом, и отслеживание активов организации. ЖЦ актива начинается с его приобретения и продолжается через его техническое обслуживание, ремонт и модернизацию вплоть до окончательной утилизации актива. В случае АЭС жизненный цикл объекта — от стадии размещения до вывода из эксплуатации [3, 4, 10]
3	Управление старением	Определяется как действия по проектированию, эксплуатации и техническому обслуживанию, направленные на контроль в допустимых пределах деградации систем, конструкций и компонентов при старении конструкции, системы и компонентов
4	Профилактическое техническое обслуживание	Административная и техническая деятельность, которая поддерживает конструкции, системы и компоненты в рабочем состоянии. Она включает как профилактическое обслуживание, так и прогнозируемое техническое обслуживание, а также корректирующее, периодическое и плановое техническое обслуживание с целью поддержания или продления срока службы путем контроля деградации и отказов до приемлемого уровня
5	Менеджмент качества	Систематизированный инструмент для выполнения работы с конечной целью — выполнить ее правильно с первого раза. Эффективному управлению ЖЦ способствует обеспечение того, чтобы система управления, используемая на ранних стадиях ЖЦ установки, адекватно отвечала требованиям последующего этапа ЖЦ
6	Управление использованием знаний	Систематическое управление информационными активами организации с целью создания ценности и удовлетворения тактических и стратегических требований. Оно состоит из инициатив, процессов, стратегий и систем, которые поддерживают и совершенствуют хранение, оценку, обмен, уточнение и создание знаний
7	Управление эффективностью	Стратегический подход к созданию и поддержанию улучшенной производительности сотрудников, ведущий к повышению эффективности компаний. Метод постоянного информирования сотрудников о должностных обязанностях, приоритетах, ожиданиях от результатов работы и планирования развития. Цель состоит в том, чтобы помочь повысить их эффективность и синхронизировать ее с целями организации. Это стратегический подход, при котором менеджеры организации предоставляют обратную связь своим сотрудникам для достижения стратегических целей. Это все текущие действия, взаимодействия и коммуникация между сотрудниками с целью помочь им достичь их собственных целей и внести свой вклад в успех команды и организации
8	Управление персоналом	Система отношений, связанных с целенаправленным воздействием на персонал организации для обеспечения его эффективного функционирования за счет наиболее полного использования трудового потенциала. Концепция управления персоналом — это система теоретико-методологических взглядов на понимание и определение сущности, содержания, целей, задач, критериев, принципов и методов управления персоналом, а также организационно-практических подходов к формированию механизма ее реализации в конкретных условиях функционирования организаций [13, 14]
9	Цифровизация	Каждое здание и каждый элемент оборудования имеет цифровую копию, позволяющую анализировать его состояние в реальном времени, предсказывать проблемы, предотвращать их с помощью предиктивной аналитики
10	Управление радиоактивными отходами	Упорядоченный процесс для удаления, повторного использования, сокращения и предотвращения образования отходов. Термин, также известный как утилизация отходов. Это подход, при котором компании реализуют комплексные стратегии эффективного управления отходами от их образования до окончательного удаления. Целью обращения с радиоактивными отходами является сведение к минимуму их воздействия на живых существ и окружающую среду. Обращение с радиоактивными отходами включает в себя процесс изоляции или уменьшения радиоактивных рисков путем снижения количества или концентрации любого радиоактивного материала, который вступает в контакт с биосферой [15–17]
11	Управление лицензиями	Применительно к АЭС включает в себя все процессы лицензирования и/или авторизации ядерной установки и ее деятельности. Организация процесса получения всех разрешений и лицензий, которые важны для сбора данных о фазах ЖЦ АЭС

п/п	Элемент	Описание
12	Периодическая оценка безопасности	Оценки состояния безопасности с учетом срока эксплуатации ядерной установки, пункта хранения, а также старения оборудования на основе законодательства стран [18]
13	Оптимизация с учетом экономических показателей	Сущность статического подхода к экономической эффективности состоит в максимизации результата при минимизации затрат [19]
14	Экологическое управление	Это урегулированная деятельность специальных уполномоченных субъектов, направлена на создание конкретных правоотношений в сфере охраны окружающей среды, рациональное природопользование, соблюдение экологических прав и исполнение экологических обязанностей [20]
15	Управление рисками	Процессы, связанные с идентификацией, анализом рисков и принятием решений, которые включают максимизацию положительных и минимизацию отрицательных последствий наступления рисков событий [9]
16	Управление материалоемкостью	Экономическая сущность материалоемкости продукции заключается в том, что она выражает удельные материальные затраты на производство единицы продукции с определенной потребительной стоимостью [21]
17	Управление заинтересованными сторонами	Управление заинтересованными сторонами проекта рассматривается как непрерывный процесс [22, 23], в частности, это четырехэтапный процесс выявления заинтересованных сторон, определения их влияния, разработки плана управления коммуникациями и оказания влияния на заинтересованные стороны посредством взаимодействия. В области маркетинга считается, что клиенты являются одной из наиболее важных заинтересованных сторон в управлении долгосрочной стоимостью бизнеса, при этом основная цель фирмы — управление удовлетворенностью клиентов

специалистам оценивать отдельные стадии ЖЦ АЭС с помощью методов многокритериального принятия решений.

Для числовой оценки ЖЦ АЭС предлагается следующее выражение, которое определяется как сумма веса событий (табл.) на каждой стадии:

$$C_{\text{ЖЦ АЭС}} = \sum C_p + \sum C_n + \sum C_c + \sum C_o + \sum C_{\text{вз}},$$

где $C_{\text{ЖЦ АЭС}}$ — суммарное значение веса всех стадий ЖЦ АЭС, баллы; $\sum C_p$ — суммарный вес стадии размещения, баллы; $\sum C_n$ — суммарный вес стадии проектирования, баллы; $\sum C_c$ — суммарный вес стадии строительства, баллы; $\sum C_o$ — суммарный вес стадии эксплуатации, баллы; $\sum C_{\text{вз}}$ — суммарный вес стадии вывода из эксплуатации, баллы.

После установления веса каждой стадии [24] определяется общий вес или оценка ЖЦ АЭС как сумма баллов на основе всей информации, собранной на этапе ЖЦ АЭС для количественной оценки и дальнейших расчетов и анализа. Надлежащее документирование и контроль потока информации, получаемой на всех этапах ЖЦ АЭС, ее обработка и оценка осуществляются с использованием набора методов, таких как метод Парето, матрица рисков, методы MCDM или многокритериальный анализ решений [11, 12, 25–28].

Структурный блок управления ЖЦ АЭС является важным инструментом, позволяющим контролировать процессы, а также сократить ресурсы и денежные затраты, необходимые для сбора информации на каждом этапе ЖЦ.

Цель создания платформы управления ЖЦ АЭС — обеспечение эффективного управления

в рамках специализированной технико-организационно-методической системы управления ЖЦ АЭС, создаваемой с использованием отечественного и зарубежного опыта управления в сфере атомной энергетики. Область применения платформы — все стадии ЖЦ АЭС [29].

Необходимость создания платформы управления ЖЦ АЭС связана с реализацией инвестиционных проектов (мегапроектов), содержащих совокупность взаимосвязанных проектов, объединенных общей целью, выделенными ресурсами и определенным сроком реализации [10].

Под мегапроектом принято понимать масштабный комплексный проект, включающий множество частных проектов и программ, тесно связанных между собой и объединенных общей целью [8]. Многие мегапроекты являются межотраслевыми и/или международными. Среди отличительных признаков мегапроектов можно выделить: высокий объем инвестиций (более 50 млрд руб.), длительность реализации 5 и более лет, а также трудоемкость порядка 15–20 млн человеко-часов, значительное влияние на развитие регионов и стран, в которых они реализуются.

Предложенная авторами платформа управления ЖЦ АЭС увязана с нормативной структурой Российской Федерации, она помогает углубить понимание того, как действовать, и связать информацию, предоставляемую всеми структурными единицами, с единой базой данных.

Использование платформы управления ЖЦ АЭС иллюстрируется на примере управления рисками, как одном из важнейших элементов управления ЖЦ АЭС в целом.

Алгоритм методики управления рисками ЖЦ АЭС с помощью платформы

Для управления рисками на стадии ЖЦ АЭС применяется набор методов, которые объединены в методику управления рисками АЭС (рис. 3), с целью получения наиболее обоснованных решений, сокращения трудозатрат и денежных затрат.

Идентифицированные риски оцениваются экспертами, при этом определяются их веса. В первой группе методов — метод Парето и метод матрицы рисков, они могут быть использованы как в качественном (матрица), так и в количественном анали-

зе (метод Парето). Ранее авторами в работе [5] было доказано, что они дают одинаковый результат.

После получения результатов анализа риски оцениваются с помощью методов многокритериального анализа решений, объединения методов анализа иерархий и нечеткой логики [26–29].

Определение веса рисков является одним из наиболее важных этапов в анализе рисков, который помогает установить приоритеты и принимать сложные решения.

Общая блок-схема управления рисками на ЖЦ АЭС представлена на рис. 4.

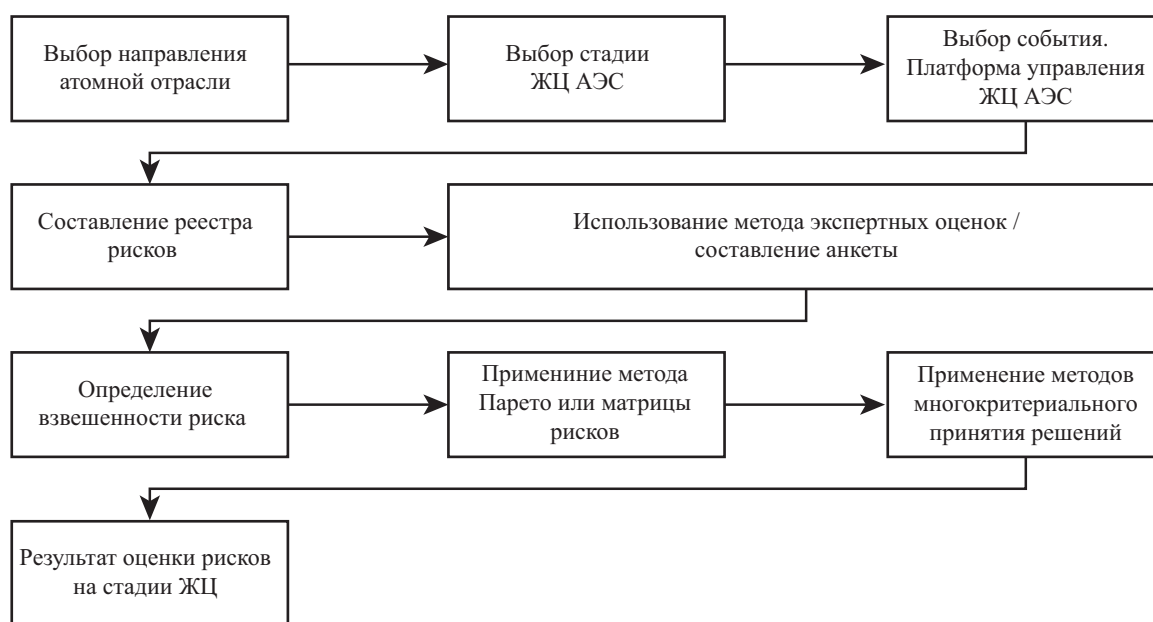


Рис. 3. Методика управления рисками на ЖЦ АЭС

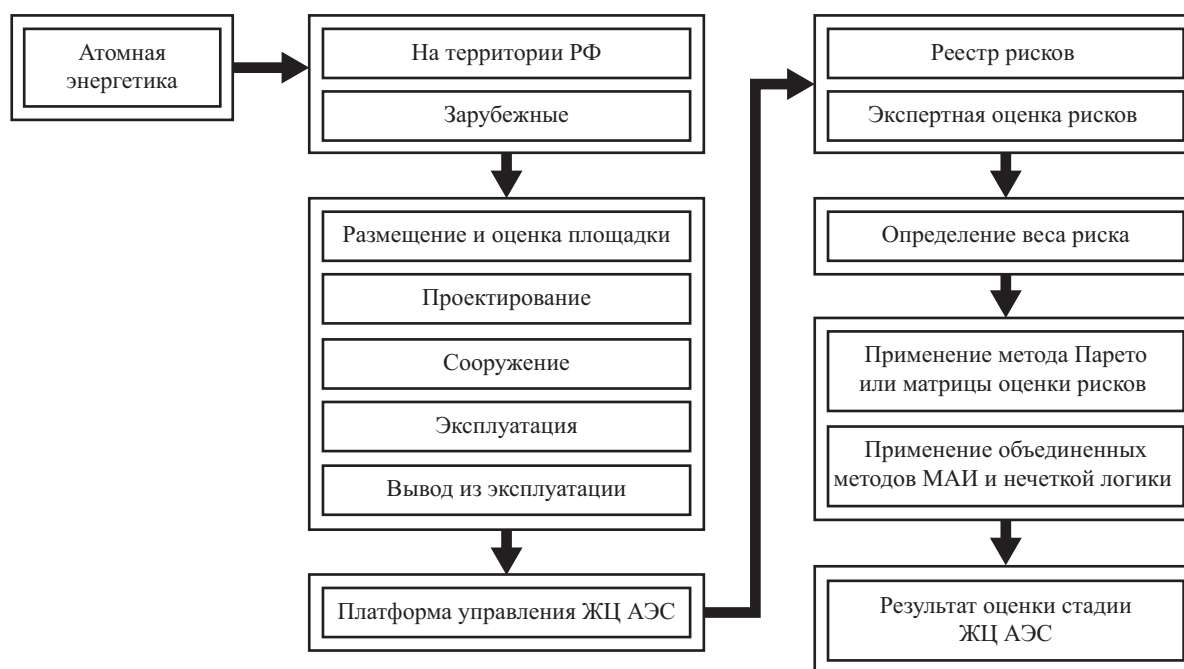


Рис. 4. Блок-схема управления рисками на ЖЦ АЭС

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложены структура и содержание платформы управления ЖЦ АЭС, которая объединяет все стадии жизненного цикла, консолидирует и систематизирует информацию обо всех событиях и элементах в цифровом формате с учетом фак-

торов: безопасности, стоимости, долговечности, времени.

Платформа позволяет проводить анализ и оценку стадий ЖЦ АЭС и принимать обоснованные решения о переводе АЭС на следующую стадию.

Описана методика управления рисками ЖЦ АЭС с помощью платформы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Альшрайдех М., Енговатов И.А. Классификация рисков на стадиях жизненного цикла атомной электростанции // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15. № 2. EDN NSKXHE
2. Альшрайдех М., Енговатов И., Морозенко А. Вопросы управления жизненным циклом АЭС // Энергетическая политика. 2023. № 1 (179). С. 56–71. DOI: 10.46920/2409-5516.2023_1179.56. EDN QQCRPB
3. Clark C.R. Safe and effective nuclear power plant life cycle management towards decommissioning // IAEA-TECDOC-1305. International Atomic Energy Agency IAEA. 2002. Pp. 1–30.
4. Nuclear power plant life management and longer-term operation // Nuclear Development. 2006. DOI: 10.1787/9789264029255-en
5. Альшрайдех М., Енговатов И.А., Морозенко А.А. Анализ методов идентификации и ранжирование рисков на жизненном цикле АЭС // Строительство: наука и образование. 2023. Т. 13. № 4. С. 128–141. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.4.9. EDN UIZFWP
6. Kang K.S., Clark C.R., Omoto A. Integrated plant life management (PLiM) // The IAEA Contribution. 2005.
7. Schlissel D., Biewald B. Nuclear power plant construction costs // Synapse Energy Economics. 2008.
8. Jeffrey C.S. Mega-project construction management: the Corps of Engineers and Bechtel Group in Saudi Arabia : thesis. Massachusetts Institute of Technology, 1991.
9. Hopkin P. Fundamentals of risk management: understanding, evaluating and implementing effective risk management. Kogan Page Publishers, 2018.
10. Добряхина О.П. Проблемы и риски реализации мегапроектов в России // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14. № 6. DOI: 10.15862/03ECVN622. EDN ILOWQL
11. Sarkar A., Mukhopadhyay A.R., Ghosh S.K. Issues in Pareto analysis and their resolution // Total Quality Management & Business Excellence. 2013. Vol. 24. Issue 5–6. Pp. 641–651. DOI: 10.1080/14783363.2012.704265
12. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений : учебное пособие. М. : Макс-Пресс, 2008. 196 с.
13. Schuler R.S., Budhwar P.S., Florkowski G.W. International human resource management : review and critique // International Journal of Management Reviews. 2002. Vol. 4. Issue 1. Pp. 41–70. DOI: 10.1111/1468-2370.00076
14. Wiley C. International Human Resource Management edited by Anne-Wil Harzing and Joris Van Ruysseveldt // Journal of Global Business. 1996. Vol. 7. Pp. 66–68.
15. Lidskog R., Andersson A.C. The management of radioactive waste. A description of ten countries. Svensk Karnbranslehantering AB, 2002.
16. Efremkov V.M. Radioactive waste management at nuclear power plants // IAEA Bulletin. 1989. Vol. 31. Issue 4. Pp. 37–42.
17. Gonzalez A.J. The safety of radioactive waste management // IAEA Bulletin. 2000. Vol. 42. Issue 3.
18. Кравчук М. Разработка системы показателей безопасности АЭС // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2012. Т. 2. № 8 (56). С. 4–11. EDN XRJKKF
19. Лукашин А.Ф. Оптимизация экономической эффективности работы предприятия на примере имеющихся показателей деятельности // Молодой ученый. 2016. № 8 (112). С. 578–580. EDN VWGBUJ
20. Пархачева А.С., Федоскин Н.Н. Государственное экологическое управление // Теоретические аспекты юриспруденции и вопросы правоприменения : сб. ст. по мат. XXX Междунар. науч.-практ. конф. 2019. С. 129–133. EDN FUFXON
21. Семашкина З.Н. Материалоемкость производства: содержание и эволюция понятия // Интернет-журнал «Науковедение». 2014. № 4 (23). С. 43. EDN TCFMLP
22. Borgström F., Karlsson L., Ortsäter G., Norton N., Halbout P., Cooper C. et al. Fragility fractures in Europe: burden, management and opportunities // Archives of Osteoporosis. 2020. Vol. 15. Issue 1. DOI: 10.1007/s11657-020-0706-y
23. Greenley G.E., Foxall G.R. Multiple stakeholder orientation in UK companies and the implications for company performance // Journal of Management Studies. 1997. Vol. 34. Issue 2. Pp. 259–284. DOI: 10.1111/1467-6486.00051
24. Данелян Т.Я. Формальные методы экспертных оценок // Статистика и Экономика. 2015. № 1. С. 183–187. EDN TQJPJL

25. Vaidya O.S., Kumar S. Analytic hierarchy process : an overview of applications // European Journal of Operational Research. 2006. Vol. 169. Issue 1. Pp. 1–29. DOI: 10.1016/j.ejor.2004.04.028
26. Saaty T.L. The analytic hierarchy process (AHP) // The Journal of the Operational Research Society. 1980. Vol. 41. Issue 11. Pp. 1073–1076.
27. Seising R., Trillas E., Kacprzyk J. Towards the future of fuzzy logic // Studies in Fuzziness and Soft Computing. 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-18750-1
28. Kahraman C. Fuzzy multi-criteria decision making: theory and applications with recent developments // Springer Optimization and Its Applications. 2008. DOI: 10.1007/978-0-387-76813-7
29. Зимаков А.В. Демонтаж АЭС в Евросоюзе: проблемы финансирования // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. 2022. Т. 15. № 1. С. 186–202. DOI: 10.31249/kg/2022.01.09. EDN FHPKZC

Поступила в редакцию 20 апреля 2024 г.

Принята в доработанном виде 9 мая 2024 г.

Одобрена для публикации 28 мая 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: **Мохаммад Альшрайдех** — аспирант кафедры строительства объектов тепловой и атомной энергетики; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0002-6396-7791; Msh.19894@yahoo.com;

Игорь Анатольевич Енговатов — доктор технических наук, профессор кафедры строительства объектов тепловой и атомной энергетики; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; Scopus: 6507232254, ResearcherID: AFN-5363-2022, ORCID: 0000-0001-9302-5431; eng46@mail.ru;

Андрей Александрович Морозенко — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительства объектов тепловой и атомной энергетики; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; Scopus: 57193025936, ResearcherID: AFO-1863-2022, ORCID: 0000-0003-4166-536X; morozenkoaa@ygsu.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

The life cycle (LC) of complex capital construction facilities, which include power units of nuclear power plants (NPP), includes the following main stages [1, 2]:

1. Site Allocation and Site Assessment.
2. Design.
3. Construction.
4. Operation.
5. Decommissioning.

The International Atomic Energy Agency (IAEA) defines the term "life cycle of a nuclear power plant" as the integration of safety management, ageing management and business management decisions, and economic considerations over the lifetime of a nuclear power plant. Life cycle management is performed with a purpose [3, 4]:

- maintain acceptable levels of performance and safety;
- optimize the operation, maintenance and service life of system structures and components;
- maximize the return on investment over the lifetime of the nuclear power plant;
- take into account national strategies for financing the life cycle (including decommissioning), fuel and waste management;

- the safety of personnel and the public should be of paramount importance in the operation and decommissioning of a nuclear power plant;

- the amount and duration of liabilities remaining after the cessation of power generation are significantly greater than for most business assets in other industries;

- proper operation may result in the deferral of capital expenditure required for decommissioning and waste storage;

- funds to fulfil decommissioning obligations should be collected during operation;

- activation of an effective risk management system from the first stage of the life cycle to minimize and eliminate risks that may affect all stages of the NPP life cycle.

MATERIALS AND METHODS

The aim of the study is to substantiate the necessity of creating a platform for NPP life cycle management from the stage of placement to the stage of decommissioning. At present, in the scientific literature, the system analysis of NPP life cycle management issues is not comprehensive enough, and the existing decision support systems provide only fragmentary possibilities

of life cycle management. This publication proposes a platform for integrated management and decision-making throughout the entire NPP lifecycle.

RESULTS

The IAEA developed principles and guidelines for effective life cycle management [3] for light water reactors and for heavy water reactors in order to meet the requirements for safe long-term electricity supply while maintaining competitiveness. The main objective of a nuclear power plant operating company can be summarized as: “to operate for as long as economically and safely possible”. Thus life cycle management is:

- a system of programmes and procedures for meeting the requirements for safe operation and power generation in a competitive manner and within a time frame that is technically and economically sound [5];
- management tool to achieve the goals of performance, safety, durability and economy [6].

These guidelines were developed using existing international experience in the global nuclear power industry and input from experts involved in license renewal and modernization, regulatory aspects, safety and economic improvement of NPP [6].

The authors believe that NPP life cycle management consists in collecting and combining all elements and events affecting the life cycle in a single database on the platform with their subsequent processing using modern methods to assess the state of NPP, which makes it possible to evaluate the current stage of the life cycle and make a decision to transfer the plant to the next stage of the life cycle. The proposed NPP life cycle management platform is, in fact, a digital database with their subsequent processing, entered at all stages of NPP life cycle by factors (Fig. 1).



Fig. 1. Factors influencing the NPP life cycle

The NPP life cycle management platform serves as a basis for the formation of a programme to control the NPP life cycle from its creation to the moment of decommissioning, so each element of the platform is directly or indirectly responsible for a set of numerical values that help to have a complete picture of all events for decision making, including the transition to the next stage. It should be noted that management is needed throughout the whole NPP life cycle, not at a single stage.

The platform is designed to facilitate the control and supervision of the management of the current stage of the NPP project, to assess the current status, and to control the transfer of the NPP from the current stage to the next stage.

The platform is divided into 17 elements as shown in Fig. 2.

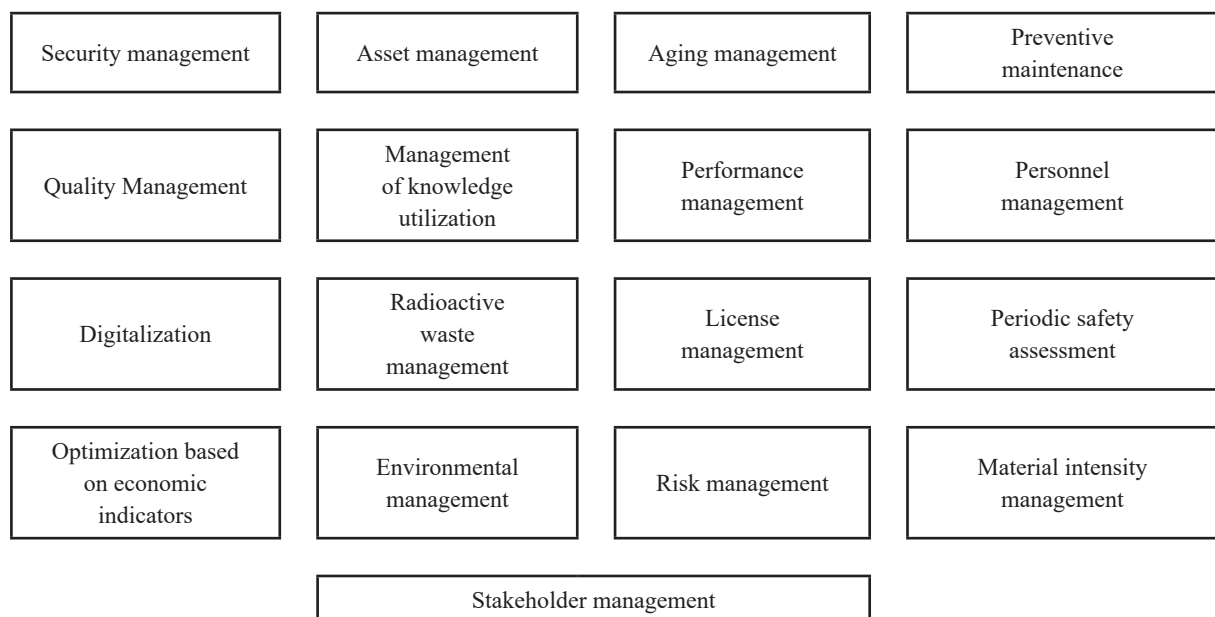


Fig. 2. Elements of the NPP life cycle management platform

Ensuring safe, economic and long-term operation is equivalent to providing additional generating capacity, which implies extending the lifetime to the maximum extent possible while maintaining the safety and competitiveness of the NPP. It should be remembered

that the purpose of NPP construction is the economical generation and sale of electricity, the revenues from which should finance the entire life cycle [6–10].

A brief description of the most important elements (events) of NPP LC control is given in the Table.

Elements (events) of NPP life cycle management

n/a	Element	Description
1	Security management	The management component of the whole organization is described in the quality management system. Improving the safety performance of the organization through the planning, control and supervision of safety related activities, including building a strong safety culture by developing and reinforcing appropriate safety attitude and behaviour [3, 4, 10]
2	Asset management	The business discipline associated with monitoring and tracking an organization's assets. The life cycle of an asset starts with its acquisition and continues through its maintenance, repair and modernization up to the final disposal of the asset. In the case of NPPs, the lifecycle of an asset is from the stage of placement to decommissioning [3, 4, 10]
3	Aging management	Defined as design, operation, and maintenance actions to control, within acceptable limits, the degradation of systems, structures, and components as the structure, system, and components age
4	Preventive maintenance	Administrative and technical activities that keep structures, systems and components in working order. It includes both preventive maintenance and predictive maintenance, as well as corrective, periodic and planned maintenance to maintain or extend service life by controlling degradation and failure to an acceptable level
5	Quality Management	A systematized tool for getting the job done with the ultimate goal of doing it right the first time. Effective life cycle management is facilitated by ensuring that the control system used in the early stages of the plant's life cycle adequately meets the requirements of the later stage of the life cycle
6	Management of knowledge utilization	The systematic management of an organization's information assets to create value and meet tactical and strategic requirements. It consists of initiatives, processes, strategies and systems that support and improve the storage, evaluation, sharing, refinement and creation of knowledge
7	Performance management	A strategic approach to creating and sustaining improved employee performance leading to improved company performance. A method of continually communicating job responsibilities, priorities, performance expectations and development planning to employees. The aim is to help improve their performance and synchronize it with the organization's goals. It is a strategic approach where managers of an organization provide feedback to their employees to achieve strategic goals. It is all the ongoing actions, interactions and communication between employees to help them achieve their own goals and contribute to the success of the team and the organization
8	Personnel management	A system of relations related to the purposeful influence on the personnel of an organization to ensure its effective functioning through the fullest use of labour potential. The concept of personnel management is a system of theoretical and methodological views on understanding and defining the essence, content, goals, objectives, tasks, criteria, principles and methods of personnel management, as well as organizational and practical approaches to the formation of its implementation mechanism in specific conditions of functioning of organizations [13, 14]
9	Digitalization	Every building and every piece of equipment has a digital copy, allowing you to analyze its condition in real time, predict problems, prevent them with predictive analytics
10	Radioactive waste management	An organized process for removing, reusing, reducing and preventing the generation of waste. A term also known as waste management. It is an approach whereby companies implement comprehensive strategies for the effective management of waste from generation to final disposal. The objective of radioactive waste management is to minimize its impact on living beings and the environment. Radioactive waste management involves the process of isolating or reducing radioactive risks by reducing the amount or concentration of any radioactive material that comes into contact with the biosphere [15–17]

n/a	Element	Description
11	Licence management	For NPP, this includes all licensing and/or authorization processes for the nuclear installation and its activities. Organization of the process of obtaining all approvals and licenses that are important for collecting data on the phases of the NPP life cycle
12	Periodic safety assessment	Safety assessments taking into account the lifetime of the nuclear facility, the storage site, and the ageing of the equipment based on national legislation [18]
13	Optimization based on economic indicators	The essence of the static approach to economic efficiency is to maximize the result while minimizing the costs [19]
14	Environmental management	This is a regulated activity of special authorized subjects, aimed at creating specific legal relations in the field of environmental protection, rational nature management, observance of environmental rights and performance of environmental duties [20]
15	Risk management	Processes related to risk identification, analysis and decision-making, which include maximizing positive and minimizing negative consequences of risk events [9]
16	Material intensity management	The economic essence of material intensity of products is that it expresses specific material costs for the production of a unit of products with a certain consumer value [21]
17	Stakeholder management	Project stakeholder management is considered as a continuous process [22, 23], specifically, it is a four-step process of identifying stakeholders, determining their influence, developing a communication management plan, and influencing stakeholders through engagement. In the field of marketing, customers are considered to be one of the most important stakeholders in managing the long-term value of a business, with customer satisfaction management being the main goal of the firm

The proposed NPP LC management platform (Fig. 2) combines all elements (events) affecting the NPP LC into one equation, where the sum of all elements is considered to be equal to 1 or 100 points [5].

Assigning a numerical value to each element makes it possible to evaluate elements according to specified criteria using methods of expert evaluation and multi-criteria decision analysis (MCDA). In other words, the NPP life cycle management platform is a sum of elements that form an integrated system allowing experts to evaluate individual stages of NPP life cycle using multi-criteria decision-making methods.

The following expression is proposed for the numerical assessment of the NPP life cycle, which is defined as the sum of the weight of events (Tabl.) at each stage:

$$C_{LCNPP} = \sum C_l + \sum C_d + \sum C_c + \sum C_o + \sum C_{ds},$$

where C_{LCNPP} — is the total weight of all stages of NPP life cycle, points; $\sum C_l$ — total weight of the location stage, points; $\sum C_d$ — total weight of the design stage, points; $\sum C_c$ — total weight of the construction stage, points; $\sum C_o$ — total weight of the operation stage, points; $\sum C_{ds}$ — total weight of the decommissioning stage, points.

Once the weight of each stage has been established [24], the overall weight or score of the NPP LC is determined as a sum of scores based on all the information collected during the NPP LC stage for quantification and further calculations and analyses. Proper documentation and control of the flow of information received at all stages of the NPP life cycle, its processing and evaluation are performed using a set of methods such

as the Pareto method, risk matrix, MCDM methods or multi-criteria decision analysis [11, 12, 25–28].

The NPP life cycle management building block is an important tool to control processes and to reduce the resources and monetary costs required to collect information at each stage of the life cycle.

The purpose of the NPP life cycle management platform is to ensure effective management within the framework of a specialized technical, organizational and methodological system of NPP life cycle management, created using domestic and foreign management experience in the nuclear power industry. The platform application area is all stages of the NPP life cycle [29].

The need to create a platform for NPP life cycle management is associated with the implementation of investment projects (megaprojects) containing a set of interrelated projects united by a common goal, allocated resources and a certain period of implementation [10].

A megaproject is commonly understood as a large-scale complex project that includes many private projects and programmes closely related to each other and united by a common goal [8]. Many megaprojects are cross-sectoral and/or international. Among the distinguishing features of megaprojects: high investment volume (more than 50 billion rubles), duration of implementation of five or more years, as well as labour intensity of about 15–20 million man-hours, significant impact on the development of regions and countries in which they are implemented.

The NPP life cycle management platform proposed by the authors is linked to the regulatory structure of the Russian Federation; it helps to deepen the understanding of how to proceed and to link the information provided by all structural units to a single database.

The use of the NPP life cycle management platform is illustrated by the example of risk management as one of the most important elements of NPP life cycle management as a whole.

Algorithm of NPP life cycle risk management methodology using the platform

To manage risks at the NPP life cycle stage, a set of methods is used, which are combined into the NPP risk management methodology (Fig. 3) in order to obtain the most reasonable decisions, reduce labour and monetary costs.

The identified risks are evaluated by experts, and their weights are determined. In the first group of methods — Pareto method and risk matrix method, they can be used both in qualitative (matrix) and quantitative analysis (Pareto method). Earlier authors in [5] proved that they give the same result.

Once the results of the analysis are obtained, the risks are evaluated using multi-criteria decision analysis methods, combining hierarchy analysis and fuzzy logic methods [26–29].

Determining risk weights is one of the most important steps in risk analysis, which helps prioritize and make complex decisions.

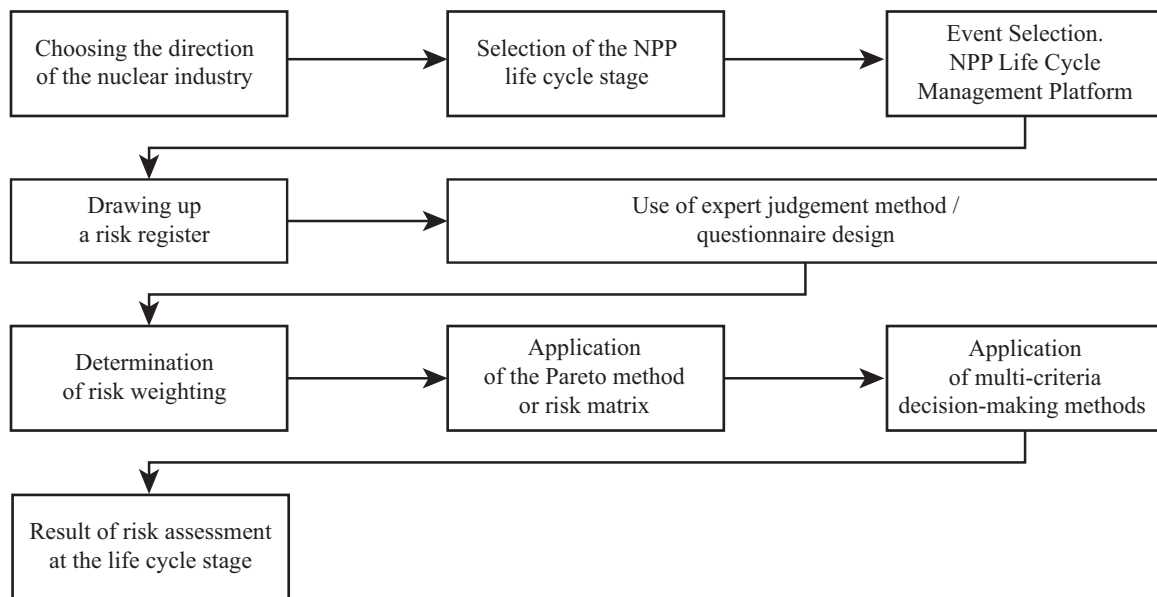


Fig. 3. Methodology of risk management in the NPP lifecycle

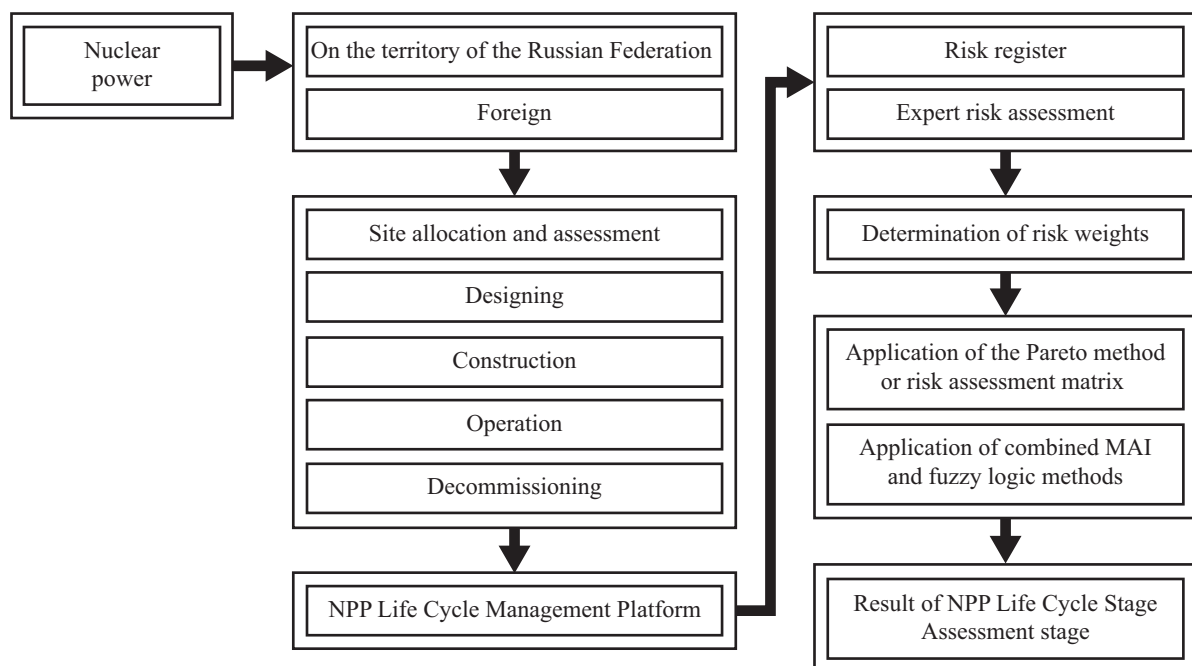


Fig. 4. Block diagram of risk management in the NPP life cycle

The general block diagram of risk management in the NPP lifecycle is presented in Fig. 4.

CONCLUSION

The structure and content of the NPP life cycle management platform is proposed, which integrates all stages of the life cycle, consolidates and systematizes

information about all events and elements in a digital format taking into account the factors: safety, cost, durability, time.

The platform allows analyzing and evaluating the stages of NPP lifecycle and making informed decisions on NPP transfer to the next stage.

The methodology of NPP lifecycle risk management using the platform is described.

REFERENCES

1. Alshraideh M., Engovatov I.A. Classification of risks at the stages of the life cycle of a nuclear power plant. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(2). EDN NSKKXE (rus.).
2. Alshraydekh M., Engovatov I., Morozenko A. The issues of NPP life cycle management. *Energy Policy*. 2023; 1(179):56-71. DOI: 10.46920/2409-5516.2023_1179.56. EDN QQCRPB (rus.).
3. Clark C.R. Safe and effective nuclear power plant life cycle management towards decommissioning. *IAEA-TECDOC-1305. International Atomic Energy Agency IAEA*. 2002; 1-30.
4. Nuclear power plant life management and longer-term operation. *Nuclear Development*. 2006. DOI: 10.1787/9789264029255-en
5. Alshraideh M., Engovatov I.A., Morozenko A.A. Analysing methods of risk identification and ranking in the life cycle of nuclear power plants. *Construction: Science and Education*. 2023; 13(4):128-141. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.4.9. EDN UIZFWP (rus.).
6. Kang K.S., Clark C.R., Omoto A. Integrated plant life management (PLiM). *The IAEA Contribution*. 2005.
7. Schlissel D., Biewald B. Nuclear power plant construction costs. *Synapse Energy Economics*. 2008.
8. Jeffrey C.S. *Mega-project construction management: the Corps of Engineers and Bechtel Group in Saudi Arabia : thesis*. Massachusetts Institute of Technology, 1991.
9. Hopkin P. *Fundamentals of risk management: understanding, evaluating and implementing effective risk management*. Kogan Page Publishers, 2018.
10. Dobryakhina O.P. Problems and risks of implementing megaprojects in Russia. *The Eurasian Scientific Journal*. 2022; 14(6). DOI: 10.15862/03ECVN622. EDN ILOWQL (rus.).
11. Sarkar A., Mukhopadhyay A.R., Ghosh S.K. Issues in Pareto analysis and their resolution. *Total Quality Management & Business Excellence*. 2013; 24(5-6):641-651. DOI: 10.1080/14783363.2012.704265
12. Lotov A.V., Pospelova I.I. *Multicriteria decision-making problems : textbook*. Moscow, Max-Press, 2008; 196. (rus.).
13. Schuler R.S., Budhwar P.S., Florkowski G.W. International human resource management : review and critique. *International Journal of Management Reviews*. 2002; 4(1):41-70. DOI: 10.1111/1468-2370.00076
14. Wiley C. International human resource management edited by Anne-Wil Harzing and Joris Van Ruysseveldt. *Journal of Global Business*. 1996; 7:66-68.
15. Lidskog R., Andersson A.C. *The management of radioactive waste. A description of ten countries*. Svensk Karnbranslehantering AB, 2002.
16. Efremenkova V.M. Radioactive waste management at nuclear power plants. *IAEA Bulletin*. 1989; 31(4):37-42.
17. Gonzalez A.J. The safety of radioactive waste management. *IAEA Bulletin*. 2000; 42(3).
18. Kravchuk M. Development of indicators system of NPP safety. *East European Journal of Advanced Technologies*. 2012; 2(8):(56):4-11. EDN XRJKKF (rus.).
19. Lukashin A.F. Optimization of the economic efficiency of an enterprise using the example of existing performance indicators. *Young Scientist*. 2016; 8(112):578-580. EDN VWGBUJ (rus.).
20. Parhachova A., Fedoskin N. State environmental management. *Theoretical Aspects of Jurisprudence and Issues of Law Enforcement : collection of articles based on the materials of the XXX international scientific and practical conference*. 2019; 129-133. EDN FUFXOH (rus.).
21. Semashkina Z. Material consumption in industrial production: the content and evolution of the views. *The Eurasian Scientific Journal*. 2014; 4(23):43. EDN TCFMLP (rus.).
22. Borgström F., Karlsson L., Ortsäter G., Norton N., Halbout P., Cooper C. et al. Fragility fractures in Europe: burden, management and opportunities. *Archives of Osteoporosis*. 2020; 15(1). DOI: 10.1007/s11657-020-0706-y
23. Greenley G.E., Foxall G.R. Multiple stakeholder orientation in UK companies and the implications for company performance. *Journal of Management Studies*. 1997; 34(2):259-284. DOI: 10.1111/1467-6486.00051
24. Danelyan T.Ya. Formal methods of expert estimations. *Statistics and Economics*. 2015; 1:183-187. EDN TQJPJL (rus.).
25. Vaidya O.S., Kumar S. Analytic hierarchy process : an overview of applications. *European*

Journal of Operational Research. 2006; 169(1):1-29. DOI: 10.1016/j.ejor.2004.04.028

26. Saaty T.L. The analytic hierarchy process (AHP). *The Journal of the Operational Research Society*. 1980; 41(11):1073-1076.

27. Seising R., Trillas E., Kacprzyk J. Towards the future of fuzzy logic. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*. 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-18750-1

28. Kahraman C. Fuzzy Multi-criteria decision making: theory and applications with recent developments. *Springer Optimization and Its Applications*. 2008. DOI: 10.1007/978-0-387-76813-7

29. Zimakov A.V. Nuclear decommissioning in the EU: financing issues. *Outlines of Global Transformations: Politics, Economics, Law*. 2022; 15(1):186-202. DOI: 10.31249/kgt/2022.01.09. EDN FHPKZC (rus.).

Received April 20, 2024.

Adopted in revised form on May 9, 2024.

Approved for publication on May 28, 2024.

B I O N O T E S: **Mohammad Alshraideh** — postgraduate student of the Department of Construction of Thermal and Atomic Power Stations; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-6396-7791; Msh.19894@yahoo.com;

Igor A. Engovatov — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Construction of Thermal and Atomic Power Stations; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Scopus: 6507232254, ResearcherID: AFN-5363-2022, ORCID: 0000-0001-9302-5431; eng46@mail.ru;

Andrey A. Morozenko — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head Department of the Department of Construction of Thermal and Atomic Power Stations; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Scopus: 57193025936, ResearcherID: AFO-1863-2022, ORCID: 0000-0003-4166-536X; morozenkoaa@vgsu.ru.

Contribution of the authors all authors made an equivalent contribution to the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Дефекты железобетонных дымовых труб в современных условиях эксплуатации

Валентин Алексеевич Ермаков, Сергей Алексеевич Николаев

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Проанализировано возникновение дефектов на железобетонных стволах дымовых труб в настоящих условиях эксплуатации. Изучена история строительства железобетонных дымовых труб. Используются общепризнанные обзорно-аналитические методы исследования. Проведена аналитическая работа по действующим способам устранения дефектов на железобетонных стволах, сделан вывод о неэффективности данных решений.

Материалы и методы. Выполнены обследования железобетонных дымовых труб, построенных в 1950–1980 гг., включающие изучение конструктивных особенностей и способов строительства, анализ условий эксплуатации, визуальное обследование, а также обследование строительных конструкций разрушающим и неразрушающим методами контроля. Выявлены взаимосвязи конструктивных решений железобетонного ствола к действующим нагрузкам от подключенных устройств к газоотводящему стволу, влияющих на внутреннюю и, как следствие, внешнюю оболочку железобетонных труб, в связи с переходом на другой вид топлива, которое не соответствует дымовой трубе по проекту. Осуществлен анализ возникновения дефектов и современные способы их устранения.

Результаты. Установлено в ходе обследования, что с возникновением дефектов, образованных от перехода с твердого на газообразное топливо, несущая способность железобетонных дымовых труб резко снижается, что приводит к аварийности сооружений. Современные методы устранения дефектов вызывают большие по площади разрушения, так как временно устраняют только последствия, но не устраняют причины возникновения дефектов железобетонных дымовых труб. В связи с этим появляется опасность для работы технических устройств, подключенных к дымовым трубам, зданиям, находящимся в непосредственной близости к сооружениям, а также опасность для жизни работающего персонала.

Выводы. Полученные результаты позволяют обоснованно говорить о неэффективности современных способов устранения дефектов, которые имеют краткосрочный эффект и способствуют большим разрушениям, приводя сооружения к аварийному состоянию.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железобетонные дымовые трубы, дефекты, газоотводящий ствол, бетон, арматура, конденсат, выщелачивание свободной извести, несущая способность, остаточный ресурс

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ермаков В.А., Николаев С.А. Дефекты железобетонных дымовых труб в современных условиях эксплуатации // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. Вып. 2. С. 32–44. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.32-44

Автор, ответственный за переписку: Валентин Алексеевич Ермаков, Ermakov@mgsu.ru.

Defects of reinforced concrete chimneys in modern operating conditions

Valentin A. Ermakov, Sergey A. Nikolaev

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

ABSTRACT

Introduction. The paper is devoted to the analysis of the occurrence of the defects on reinforced concrete chimney shafts under current operating conditions. The history of the construction of reinforced concrete chimneys was studied. This paper uses generally accepted survey and analytical research methods. Analytical work was carried out on current methods for eliminating defects in reinforced concrete shafts and a conclusion was made on the ineffectiveness of these solutions.

Materials and methods. Inspections of reinforced concrete chimneys built in 1950–1980 were carried out, including the study of design features and construction methods, analysis of operating conditions, visual inspection, as well as inspection of building structures using destructive and non-destructive testing methods. An analysis was carried out to identify the relationships between the design solutions of the reinforced concrete shaft and the current loads from the connected devices to the gas outlet shaft, affecting the internal and, as a consequence, the outer shell of reinforced concrete pipes, in connection with the transition to another type of fuel, which does not correspond to the chimney according to the project. An analysis of the occurrence of defects and modern methods for eliminating them were carried out.

Results. It was established during the survey that with the occurrence of defects formed from the transition from solid to gaseous fuel, the load-bearing capacity of reinforced concrete chimneys is sharply reduced, which leads to the failure

of structures. Modern methods of defect elimination cause greater destruction in terms of area, as they temporarily eliminate only the consequences, but do not eliminate the causes of defects in reinforced concrete chimneys. In this connection, there is a danger to the operation of technical devices connected to the chimneys, to the buildings in close proximity to the structures, as well as a danger to the life of the operating personnel.

Conclusions. The results obtained allow us to reasonably speak about the ineffectiveness of modern methods of eliminating defects, which in turn has only a short-term effect and contributes to great destruction, leading structures to an emergency condition.

KEYWORDS: reinforced concrete chimneys, defects, gas exhaust shaft, concrete, reinforcement, condensate, leaching of free lime, bearing capacity, residual life

FOR CITATION: Ermakov V.A., Nikolaev S.A. Defects of reinforced concrete chimneys in modern operating conditions. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2024; 14(2):32-44. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.32-44

Corresponding author: Valentin A. Ermakov, Ermakov@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Строительство первых промышленных дымовых труб началось в XVIII в. Они были необходимы для функционирования доменных печей, используемых для выплавки чугуна. Первая доменная печь построена в 1709 г. по проекту английского изобретателя Абрахама Дерби [1]. Для таких печей и для иных процессов производства не требовались высокие дымовые трубы. Проходила модернизация в каждой отрасли, в том числе и производственной, которая и предрасположила к возведению более высоких, чем в те времена, дымовых труб. Основным материалом для строительства таких сооружений стали железобетонные конструкции¹.

В настоящее время в России эксплуатируется огромное количество железобетонных дымовых труб, только в Москве на станциях тепло- и электроснабжения в эксплуатации находится свыше 35 подобных сооружений.

С целью обеспечения городов теплом и электроэнергией в больших объемах и с переходом от печей в домах к предприятиям по выработке энергии запустили строительство теплоэлектроцентралей (ТЭЦ). Ни одно предприятие, использующее в своем перечне оборудования для сжигания топлива, не обходится без строительства дымовых труб.

В период 1950–1980 гг. многие старые угольные ТЭЦ были закрыты или переоборудованы для сжигания природного газа (ПГ). Это связано с тем, что ПГ более эффективное и экологически чистое топливо, к тому же запасы угля начали истощаться [2]. Произошла модернизация котлов с переходом от твердого топлива [3] на газообразное, однако возник вопрос, как новое топливо будет взаимодействовать с конструкциями железобетонных дымовых труб и как это повлияет на работу всех ТЭЦ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дымовая труба — вертикально расположенное сооружение, которое служит для отвода продук-

тов сгорания в верхние слои атмосферы. Принцип действия основан на эффекте тяги, который обеспечивает перемещение газов по всей длине ствола от впускного к выпускному отверстию трубы. Ствол трубы имеет форму по горизонтали круглую, овальную или многоугольную, по вертикали — форму цилиндра или усеченного конуса. Высотой промышленные дымовые трубы могут достигать нескольких сотен метров, к примеру, высота самой высокой трубы на сегодняшний день составляет 420 м, она была возведена в 1988 г. на Экибастузской ГРЭС-2 (Казахстан) [4].

Важнейшей частью дымовой трубы является железобетонная оболочка — ствол дымовой трубы: одноствольный или многоствольный. Одноствольные дымовые трубы состоят из наружного слоя оболочки, тогда как многоствольная конструкция предполагает устройство «труба в трубе», иными словами, в трубе сооружают несколько стволов от тепловых агрегатов с вентилируемым пространством между ними, в котором предполагается устройство площадок. Основным достоинством многоствольной трубы служит защита несущего железобетонного ствола от агрессивной среды отводимых газов. Газоотводящий ствол выполняет функции несущей конструкции и обеспечивает устойчивость трубы при воздействии различных факторов окружающей среды. Поэтому еще на этапе проектирования необходимо иметь следующие исходные данные, которые и будут основополагающими при строительстве сооружений²:

1. Режим работы трубы и характеристика отводимых газов (состава, концентрации, температуры, влажности, количества и скорости движения газов в стволе, состава и количества пылевидных частиц, химического состава и количества конденсата).

2. Эскизы поперечного сечения газоходов у ввода в трубу с указанием основных размеров.

¹ СП 13-101–99. Правила надзора, обследования, проведения технического обслуживания и ремонта промышленных дымовых и вентиляционных труб.

² Инструкция по проектированию железобетонных дымовых труб. НИИЖБ, Главтепломонтаж, Всесоюзный научно-исследовательский и проектный институт «Теплопроект». 1962.

3. Информацию о грунтах (геологических разрез буровых скважин в количестве не менее трех скважин глубиной 10–12 м, равномерно расположенных с наружной стороны предполагаемого под трубу фундамента на расстоянии не более 5 м от края плиты), возможном закислении или защелачивании грунта в период эксплуатации трубы, положении грунтовых вод и их химическом составе.

4. Схемы фундаментов смежных с трубой сооружений и давлений на грунт под ними.

5. Сведения о высоте трубы и диаметре устья.

6. Для сейсмических районов — информацию о максимальной силе землетрясений за последние 20 лет.

7. Для районов вечной мерзлоты — о мощности и глубине заложения деятельного и вечномерзлого грунта.

Стволы одноствольных железобетонных монолитных дымовых труб (рис. 1) представляют собой усеченный полый конус, но с переменным уклоном образующей наружной поверхности от 8 до 1,5 % с убыванием по высоте. Верхнюю часть ствола на 1/3 высоты трубы рекомендуется выполнять цилиндрической формы. По высоте ствол железобетонной монолитной трубы имеет переменную толщину, причем минимальная толщина в верхней его части по соображениям долговечности и для обеспечения возможности качественного уплотнения бетонной смеси вибратором принимается при верхнем внутреннем диаметре до 4,8 м не менее 160 мм; при диаметре от 4,8 до 7,2 м — не менее 180 мм; от 7,2 до 9 м — не менее 200 мм; свыше 9 м — не менее 250 мм [5].

Ствол трубы разбивается по высоте на участки с постоянной толщиной стенки. Толщина стенки ствола изменяется в местах перехода от одного участка к другому, как правило, в местах устройства консолей для опирания футеровки или несущих конструкций внутренних газоотводящих стволов. Стволы монолитных железобетонных труб армируются вертикальной и горизонтальной арматурой, устанавливаемой как у наружной, так и у внутренней поверхности стенки ствола. Сечение арматуры определяется расчетом. Для армирования используется арматура периодического профиля. В старых трубах арматура может быть гладкого профиля, причем однорядная, только у наружной поверхности стенки².

Проект дымовой трубы должен содержать расчеты:

1. Расчет прочности и устойчивости железобетонной дымовой трубы.

При расчете прочности и устойчивости дымовых труб учитываются следующие факторы:

- нагрузка от собственного веса трубы;
- ветровая нагрузка;
- температурные воздействия;
- сейсмическая активность.

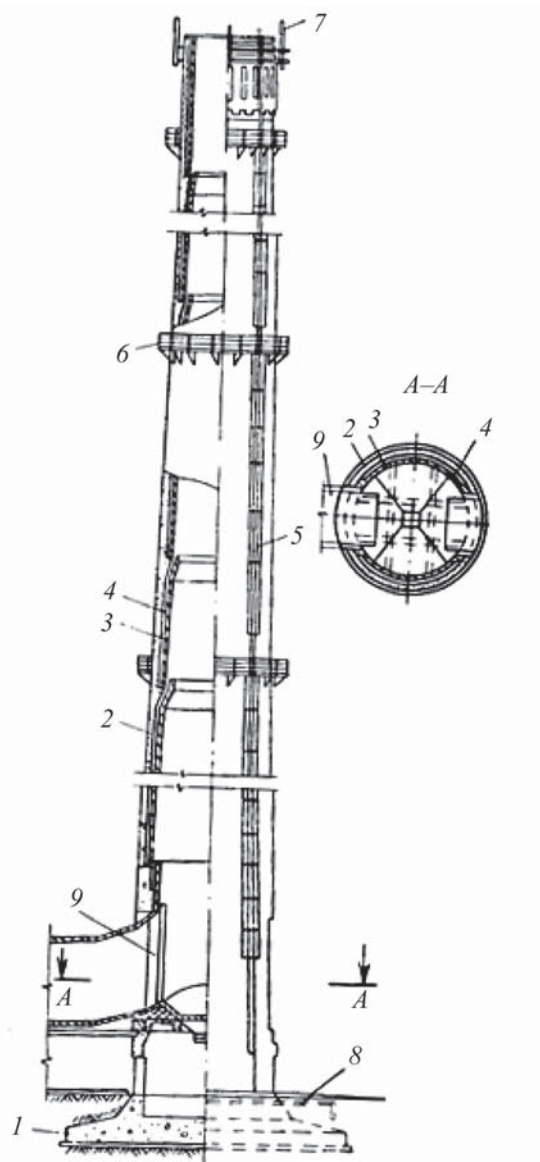


Рис. 1. Схема железобетонной дымовой трубы: 1 — фундамент; 2 — ствол; 3 — футеровка; 4 — теплоизоляция; 5 — ходовая лестница; 6 — световоронная площадка; 7 — молниеотвод; 8 — заземление молниеотвода; 9 — вход газохода

Расчет прочности и устойчивости осуществляется с использованием методов строительной механики и сопротивления материалов.

2. Расчет дымового тракта.

При проектировании дымовых труб также необходимо выполнить расчет дымового тракта, который включает определение аэродинамических характеристик дымовой трубы, выбор оптимального диаметра и высоты трубы, а также расчет потерь давления в дымовом тракте.

3. Расчет коррозионной стойкости.

Для обеспечения долговечности дымовых железобетонных труб следует провести расчет коррозионной стойкости. При этом учитываются такие факторы, как состав дымовых газов, температура

и влажность внутри трубы, наличие агрессивных веществ в дымовых газах и др.

4. Расчет теплотехнических характеристик.

Теплотехнический расчет дымовых труб проводится для определения оптимальных параметров теплоизоляции и выбора материалов для ее выполнения.

Для защиты несущего ствола дымовой трубы от температурного и агрессивного воздействия отводимых газов в необходимых случаях применяется футеровка и тепловая изоляция ствола. В зависимости от температуры и агрессивности отводимых газов футеровку следует выполнять из шамотного, кислотоупорного или глиняного обыкновенного кирпича, специального бетона, керамики, стали, а также пластмасс [6].

Футеровка из кирпича предусматривается звеньями, опирающимися на консольные выступы в стволе. Высота звеньев должна быть не более 25 м при толщине в один кирпич и не более 12,5 м при толщине в 1/2 кирпича. В зоне проемов для газоходов толщину футеровки следует увеличивать до 1,5–2 кирпичей. При применении специальной фасонной шпунтовой керамики толщина футеровки может быть уменьшена. Примыкание нижнего звена к вышележащему необходимо проектировать с учетом роста футеровки (в результате процессов сульфатации материала швов кладки) и температурного расширения материала футеровки как по высоте, так и по диаметру³.

Обследование железобетонных дымовых труб является обязательной частью их эксплуатации. Проведение мониторинга состояния промышленных сооружений позволяет своевременно выявлять нарушения, возникающие в конструкциях в процессе эксплуатации, и оперативно их устранять [7].

³ СП 375.1325800.2017. Трубы промышленные дымовые. Правила проектирования.

Для оценки технического состояния дымовых труб обследование включает¹:

- 1) визуальный и измерительный контроль;
- 2) тепловизионный контроль;
- 3) геодезический контроль;
- 4) контроль прочностных характеристик конструкций;
- 5) расчеты строительных конструкций;
- 6) оценку остаточного ресурса.

Основными влияющими факторами на несущую конструкцию, а именно железобетонный ствол, являются отложения изнутри, иначе золовые отложения [8, 9], которые в свою очередь сокращают сечение дымохода и разрушения изнутри дымовой трубы под действием агрессивных газов и влияние отходящих дымовых газов от котлоагрегатов⁴.

Таким образом, с переходом на газообразное топливо настоящие дымовые трубы не соответствуют конструкции по проекту, что оказывает существенное влияние на железобетонный ствол.

Данные дефекты можно наблюдать на начальных стадиях их развития. Один из способов наблюдения — тепловизионное обследование (рис. 2), на котором можно заметить температурные сдвиги, что в свою очередь подтверждает снижение газоплотности футеровки дымовой трубы [10, 11].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам обследования в настоящее время стали выявляться дефекты и повреждения категории «В» и «Б»⁵, а именно дефекты железобетонного ствола:

⁴ РД 34.20.328–95. Методика обследования дымовых труб тепловых электростанций.

⁵ СТО 17230282.27.010.001–2007. Стандарт организации ОАО РАО «ЕЭС России» «Здания и сооружения объектов энергетики. Методика оценки технического состояния».

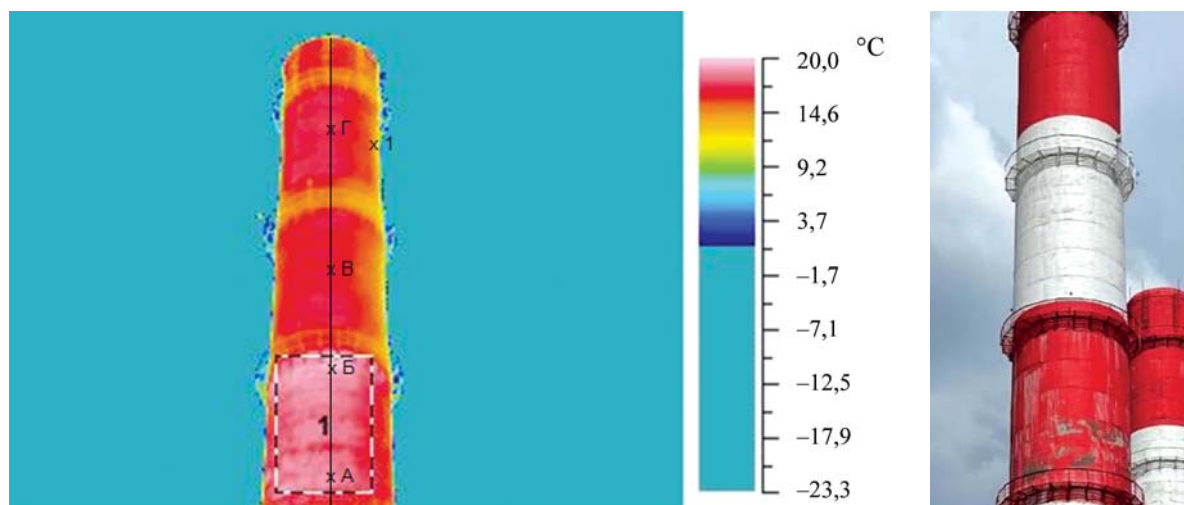


Рис. 2. Результат тепловизионной съемки железобетонной дымовой трубы высотой $h = 120,0$ м, на котором прослеживается температурный сдвиг $\Delta t \geq 9,0$ °C, свидетельствующий о нарушении газоплотности футеровки и разрушении защитного слоя бетона

- разрушения защитного слоя бетона;
- фильтрация влаги сквозь тело бетона;
- оголение и коррозионный износ оголенной арматуры;
- обратный уклон чугунного оголовка дымовой трубы;

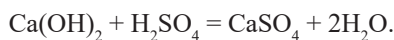
- отсутствие защитной обмазки на футеровке.

Данные дефекты вызваны одной из следующих причин.

При сжигании ПГ происходят химические реакции окисления компонентов ПГ кислородом. Формула реакции:



Содержащийся в ПГ сероводород (H_2S) может образовывать соединения серы при сжигании газа на ТЭЦ. Сера, присутствующая в ПГ, может образовывать оксиды серы при сжигании, такие как диоксид серы (SO_2) и триоксид серы (SO_3). В случае, если в трубе образуется «точка росы», начинается конденсация газообразных отходов. Конденсат без примесей кислот и сульфатов вызывает коррозию материала первого вида — выщелачивание свободной извести из цементного камня бетонов и растворов [12]. При наличии в конденсате серной кислоты происходит коррозия второго вида — разрушение кислотой цементного камня в бетонах и растворах и кирпича в кладке. Реакция выражается формулой [13, 14]:



Так как в трубе присутствует водяной пар, то сернистые соединения дают с ним серную кислоту. Образование такого агрессивного конденсата представляет для трубы большую опасность. Если имеет место сильный перепад температур наружного воздуха и дымовых газов внутри трубы, начинается миграция влаги: проникая внутрь железобетонного ствола, кислота начинает разъедать арматуру и камень [14, 15]. Появившиеся трещины в результате коррозии арматуры (шириной раскрытия до 0,05 мм) не представляют непосредственной опасности разрушения, однако они способствуют ускорению разрушения железобетона [16]. На наружной поверхности труб иногда можно увидеть белесые пятна (рис. 4) — это и есть конденсат, проникающий сквозь футеровку и ствол [17]. Зимой такая влага превращается в лед [18, 19]. Образованный конденсат возникает на внутренней поверхности ствола дымовой трубы, а именно на консолях для футеровки (рис. 3), это вызвано переходом ТЭЦ с сжигания твердого топлива (угля) на ПГ, как основного топлива, а также снижением фактических режимов эксплуатации.

Образующийся конденсат приводит к процессу фильтрации влаги сквозь тело бетона, сопровождающийся выщелачиванием свободной извести по ослабленным сечениям, уменьшая значения

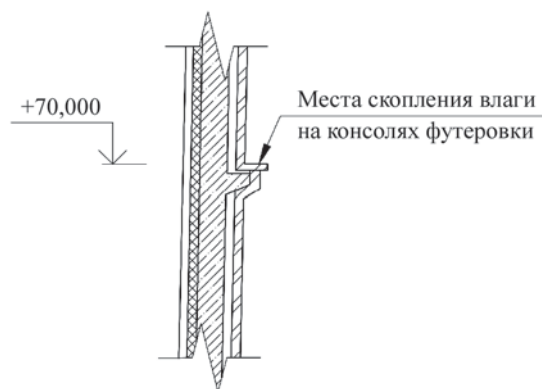


Рис. 3. Консоли футеровки, где обильно скапливается конденсат при средней высоте дымовой трубы 120,0 м от поверхности земли и диаметре устья 7,0 м



Рис. 4. Процесс выщелачивания свободной извести по ослабленным сечениям бетона

прочности бетона (табл., рис. 4), а также к коррозии арматуры [13, 15, 20].

Анализ результатов испытаний показывает снижение прочности железобетонного газоотводящего ствола от проектного класса бетона (В22,5) с отметки +53,500 и выше. Самые существенные отклонения наблюдаются на отметках от 2/3 высоты дымовой трубы. Это связано с тем, что дымовые трубы работают не в полную мощность, в ходе чего внутри дымовой трубы создается избыточное давление. Выходящие дымовые газы по мере эвакуации из дымовой трубы остывают и, задерживаясь в газоотводящем стволе, достигают точки росы, образуя на внутренней поверхности конденсат. Осевшая влага скапливается на консолях и стенках, проникая внутрь железобетонного ствола, тем самым снижая прочностные характеристики бетона.

Данные дефекты свидетельствуют о нарушении газоплотности дымовой трубы, что в свою очередь может при развитии повреждения перейти

Результаты измерений фактической прочности бетона на разных высотных отметках дымовой трубы высотой $h = 120,0$ м

Отметка уровня	Проектный класс (марка) бетона железобетонной обоймы R	Значение прочности на участках R_p , МПа	Соответствие фактическому классу (марке) бетона
+1,800	M300	28,9	B22,5 (M300)
+15,500	M300	29,1	B22,5 (M300)
+38,500	M300	32,0	B22,5 (M300)
+53,500	M300	23,9	B15 (M200)
+68,500	M300	09,5	B7,5 (M100)
+83,500	M300	09,3	B5 (M75)
+95,500	M300	22,5	B15 (M200)
+100,000	M300	25,9	B20 (M250)
+113,000	M300	14,3	B10 (M150)

в категорию «А»⁶ и привести к аварийному состоянию дымовой трубы в целом.

Таким образом, на данный момент времени с переходом с твердого на газообразное топливо возникли дефекты на железобетонных стволах дымовых труб. Условия эксплуатации дымовой трубы *не соответствуют конструкции сооружения по проекту*. Действующие способы ликвидации дефектов устраняют лишь *последствия* уже образованных дефектов на газоотводящих стволах, но не устраняют *причины* возникновения дефектов. В местах образованных дефектов железобетонного ствола используют нанесение ремонтного состава, имеющего хороший уровень адгезии с бетоном, маскируя разрушения оболочки дымовой трубы. Как правило, ремонтные составы, нанесенные на материал, имеют марку по водонепроницаемости выше, чем у бетона, применяемого при строительстве дымовых труб, тем самым влага начинает проникать по периметру нанесения ремонтного состава. Со временем происходит процесс обрушения ослабленного бетона вместе с нанесенным ремонтным составом, чтократно увеличивает площадь разрушений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из ответственных элементов ТЭЦ являются дымовые трубы, предназначенные для отвода продуктов сгорания от котлоагрегатов. Наибольшее распространение получили дымовые трубы из железобетона. С 1960 по 1980 г. большинство ТЭЦ было переориентировано на сжигание ПГ вместо твердого топлива (угля). При этом были модернизированы котлоагрегаты, а конструкции дымовых труб остались в первоначальном состоянии. Смена типа топлива привела не только к изменению хи-

мического состава отходящих газов, но и к корректировке режима работы котлоагрегатов, что отразилось на периодичности и величине воздействий газов на несущие конструкции труб.

Результаты обследований дымовых труб из железобетона, работающих в условиях сжигания ПГ, показывают, что остаточный ресурс стремительно сокращается за счет ускоренного развития дефектов и повреждений конструкций, по опыту проведенных обследований это не наблюдалось в дымовых трубах при сжигании твердого топлива. Отмечается фактическое снижение газоплотности футеровки и повышенное скопление конденсата на консолях дымовых труб из-за неравномерности подачи отходящих газов от котлоагрегатов. Образующийся конденсат приводит к выщелачиванию свободной извести по ослабленным сечениям конструкции и коррозии арматуры вследствие фильтрации влаги сквозь тело бетона.

В настоящее время для восстановления несущей способности железобетонного ствола в основном используют ремонтные составы, обладающие высокой прочностью. В результате существует опасность отделения ремонтного состава единым массивом с фрагментами бетона, что при падении может привести к травмированию персонала, повреждению технического оборудования и близлежащих конструкций. Применение ремонтных составов малоэффективно, так как не решает проблему возникновения и развития дефектов и лишь временно маскирует проблемные участки. При этом восстановление несущей способности осуществляется без должного расчетного обоснования.

Таким образом, актуальна задача оценки несущей способности конструкций труб с учетом изменений условий эксплуатации, что станет основой для определения эффективных методов восстановления и защиты конструкций. Для решения поставленной цели планируются проведение численных расчетов несущей способности дымовых труб, ис-

⁶ СТО 17230282.27.010.001–2007. Стандарт организации ОАО РАО «ЕЭС РОССИИ» «Здания и сооружения объектов энергетики. Методика оценки технического состояния».

следование защитных составов и материалов для возможности футеровки внутренних поверхностей, оценка газоплотности элементов футеровки и трубы в целом.

Практическая значимость работы заключается в возможности оценки несущей способности и остаточного ресурса существующих железобетонных дымовых труб.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Карабасов Ю.С., Черноусов П.И., Коротченко Н.А., Голубев О.В. Металлургия и время : энциклопедия. В 6 т. 2011–2014.
2. Степанов С.Г., Исламов С.Р. Газификация угля: возврат в прошлое или шаг в будущее? // Новости теплоснабжения. 2007. № 1 (77).
3. Бельский В.И., Сергеев Б.В. Промышленные печи и трубы. Издание второе. М. : Стройиздат, 1974. 301 с.
4. Зулкарнаев Г.С., Мелентьев А.С., Гафиятуллина Н.М. Конструктивные решения железобетонных промышленных газоотводящих труб // Молодой ученый. 2016. № 10 (114). С. 208–213. EDN WAOAZX.
5. Асташкин В.М., Жолудов В.С., Корсунский А.З., Малютин Е.В., Спорыхин Б.Б. Дымовые трубы: традиции и инновации. Глава 1. Классификация и основные элементы промышленных дымовых труб. 2011.
6. Асташкин В.М., Жолудов В.С., Корсунский А.З., Малютин Е.В., Спорыхин Б.Б. Дымовые трубы: традиции и инновации. Глава 2. Основы проектирования дымовых труб. 2011.
7. Коткова О.Н. Мониторинг безопасности дымовой трубы предприятия нефтехимии // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. № 3 (11). С. 81–84. DOI: 10.17673/Vestnik.2013.03.16. EDN PYDCSJ.
8. Subbotin A., Razov I., Popova E., Dolgih A. Impact of the ash deposits from coal combustion on thermal conditions of the furnace pipes // MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 110. P. 01068. DOI: 10.1051/mateconf/201711001068
9. Fakourian S., Roberts M., Dai J. Numerical prediction of ash deposit growth burning pure coal and its blends with woody biomass in a 1.5 MWT combustor // Applied Thermal Engineering. 2023. Vol. 224. P. 120110. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2023.120110
10. Бабушкин Р.А., Гмызов Д.С., Иванов Ю.П. Тепловизионная диагностика дымовых труб // Инновационная наука. 2015. № 9 (9). С. 52–57. EDN UINXKZ.
11. Лазутин Н.В., Матвеев Ю.В. Тепловизионное обследование дымовой трубы — эффективный способ выявления скрытых дефектов в процессе проведения экспертизы промышленной безопасности ее строительных конструкций // Аспирант и соискатель. 2015. № 6 (90). С. 87–89.
12. Kirchhof L.D., Antoches de Lima R.C., da Silva Santos Neto A.B., Quispe A.C., da Silva Filho L.C.P. Effect of moisture content on the behavior of high strength concrete at high temperatures // Matéria (Rio de Janeiro). 2020. Vol. 25. Issue 1. DOI:10.1590/s1517-707620200001.0898
13. Ельшин А.М., Ижорин М.Н., Жолудов В.С., Овчаренко Е.Г. Дымовые трубы: теория и практика конструирования и сооружения. М. : Стройиздат, 2001. 295 с.
14. Mainier F.B., Fernandes Almeida P.C., Nani B., Fernandes L.H., Reis M.F. Corrosion caused by sulfur dioxide in reinforced concrete // Open Journal of Civil Engineering. 2015. Vol. 5. Issue 4. Pp. 379–389. DOI:10.4236/ojce.2015.54038
15. Jaśniok T., Jaśniok M. Influence of rapid changes of moisture content in concrete and temperature on corrosion rate of reinforcing steel // Procedia Engineering. 2015. Vol. 108. Pp. 316–323. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.06.153
16. Chernin L. Effect of corrosion on the concrete-reinforcement interaction in reinforced concrete beams. Haifa, 2008. 184 p.
17. Фадеева Г.Д., Гарькин И.Н., Забиров А.И. Промышленные железобетонные дымовые трубы: методика проведения экспертизы // Современная техника и технологии. 2014. № 8 (36). С. 47–50. EDN SNLDYZ.
18. Дудочкин И.Б., Овчинников Я.В., Кухта М.В., Шишкина Е.А., Зарипова Г.У. Технологии строительства дымовых промышленных труб // Технические науки — от теории к практике. 2015. № 45. С. 93–99. EDN TRRTCP.
19. Slavcheva G., Bekker A.T. Temperature and humidity dependence on strength of high performance concrete // Solid State Phenomena. 2017. Vol. 265. Pp. 524–528. DOI: 10.4028/www.scientific.net/ssp.265.524
20. Voland K., Weise F., Meng B. Alkali-silica reaction in concrete pavements // Key Engineering Materials. 2016. Vol. 711. Pp. 714–721. DOI: 10.4028/www.scientific.net/kem.711.714

Поступила в редакцию 3 мая 2024 г.

Принята в доработанном виде 28 мая 2024 г.

Одобрена для публикации 28 мая 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: **Валентин Алексеевич Ермаков** — кандидат технических наук, доцент кафедры испытаний сооружений; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; Ermakov@mgsu.ru;

Сергей Алексеевич Николаев — аспирант кафедры испытаний сооружений; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; NikolaevS.A@yandex.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

Construction of the first industrial chimneys began in the 18th century. They were necessary for the functioning of blast furnaces used for iron smelting. The first blast furnace was built in 1709 according to the project of the English inventor Abraham Derby [1]. These furnaces and other manufacturing processes did not require high chimneys. Modernization was taking place in every industry, including manufacturing, which predisposed to the construction of taller chimneys than in those times. The main material for the construction of such structures were reinforced concrete structures¹.

At present, a huge number of reinforced concrete chimneys are in operation in Russia, only in Moscow there are more than 35 such structures in operation at heat and power stations.

In order to provide cities with heat and electricity on a large scale and with the transition from cookers in homes to power generation enterprises, the construction of combined heat and power plants (CHP) was launched. No enterprise using in its list of fuel combustion equipment is without the construction of chimneys.

In the period 1950–1980, many old coal-fired CHP plants were closed or converted to natural gas (NG) combustion. This was due to the fact that NG is more efficient and environmentally friendly fuel, and coal reserves were beginning to be depleted [2]. Boilers were modernized from solid fuel [3] to gaseous fuel, but the question arose how the new fuel would interact with the structures of reinforced concrete chimneys and how it would affect the operation of all CHP.

MATERIALS AND METHODS

A chimney is a vertically located structure that serves to discharge combustion products into the upper atmosphere. The principle of operation is based on the draught effect, which ensures the movement of gases along the entire length of the trunk from the inlet to the outlet of the chimney. The trunk of the chimney has a horizontal shape of round, oval or polygonal, and a vertical shape of cylinder or truncated cone. The height of industrial chimneys can reach several

hundred metres, for example, the highest chimney to date is 420 m, and it was erected in 1988 at Ekibastuzskaya GRES-2 (Kazakhstan) [4].

The most important part of a chimney is the reinforced concrete shell — the chimney shaft: single or multi-barrel. Single-barrel chimneys consist of the outer layer of the shell, whereas the multi-barrel construction implies a “pipe-in-pipe” device, in other words, several barrels from thermal units are constructed in the chimney with a ventilated space between them, in which the arrangement of platforms is assumed. The main advantage of the multi-bore pipe is the protection of the supporting reinforced concrete shaft from the aggressive environment of the discharged gases. The gas outlet shaft acts as a load-bearing structure and ensures the stability of the pipe under the influence of various environmental factors. Therefore, it is necessary to have the following initial data at the design stage, which will be fundamental for the construction of the facilities²:

1. Mode of operation of the pipe and characterization of the vented gases (composition, concentration, temperature, humidity, quantity and velocity of gases in the shaft, composition and quantity of dust particles, chemical composition and quantity of condensate).
2. Sketches of the cross-section of the gas ducts at the pipe inlet with the main dimensions.
3. Information on soils (geological sections of boreholes at least three boreholes 10–12 m deep, evenly located on the outer side of the foundation proposed for the pipe at a distance of not more than 5 m from the edge of the slab), possible acidification or alkalization of the soil during the pipe operation, groundwater position and its chemical composition.
4. Diagrams of foundations of adjacent structures and ground pressures beneath them.
5. Information on pipe height and mouth diameter.
6. For seismic areas, information on the maximum magnitude of earthquakes over the last 20 years.
7. For permafrost areas — the thickness and depth of active and permafrost ground.

The barrels of single-barrel reinforced concrete monolithic chimneys (Fig. 1) are truncated hollow

¹ CP 13-101–99. Rules for supervision, inspection, maintenance and repair of industrial chimneys and ventilation pipes.

² Instruction on design of reinforced concrete chimneys. NIIZhB, Glavteplotmontazh, All-Union Research and Design Institute «Teploproekt». 1962.

cone, but with a variable slope of the outer surface from 8 to 1.5 % with decreasing height. It is recommended to make the upper part of the shaft cylindrical for 1/3 of the pipe height. The height of the barrel of reinforced concrete monolithic pipe has a variable thickness, and the minimum thickness in its upper part for reasons of durability and to ensure the possibility of quality compaction of the concrete mixture with a vibrator is accepted at the upper inner diameter up to 4.8 m not less than 160 mm; at a diameter of 4.8 to 7.2 m — not less than 180 mm; from 7.2 to 9 m — not less than 200 mm; over 9 m — not less than 250 mm [5].

The pipe barrel is divided by height into sections with constant wall thickness. The wall thickness of the barrel changes at the transition points from one section to another, as a rule, in the places where cantilevers are installed to support the lining or bearing structures of internal gas discharge barrels. Monolithic reinforced concrete pipe barrels are reinforced with vertical and horizontal reinforcement installed both at the outer and inner surfaces of the barrel wall. The cross-section of the reinforcement is determined by calculation. Periodic profile reinforcement is used for reinforcement. In old pipes, the reinforcement can be of smooth profile, with single row reinforcement only at the outer surface of the wall².

The design of the chimney must contain calculations:

1. Calculation of strength and stability of reinforced concrete chimney.

The following factors are taken into account when calculating the strength and stability of chimneys:

- load from the pipe's own weight;
- wind load;
- temperature effects;
- seismic activity.

Strength and stability calculations are carried out using methods of structural mechanics and resistance of materials.

2. Calculation of the flue duct.

When designing chimneys, it is also necessary to perform the flue duct calculation, which includes the determination of the aerodynamic characteristics of the chimney, the selection of the optimum diameter and height of the chimney, as well as the calculation of pressure losses in the flue duct.

3. Calculation of corrosion resistance.

To ensure the durability of reinforced concrete chimneys, corrosion resistance should be calculated. Such factors as flue gas composition, temperature and humidity inside the chimney, presence of aggressive substances in flue gases, etc. are taken into account.

4. Calculation of thermal performance.

Thermal calculation of chimneys is carried out to determine the optimal parameters of thermal insulation and the choice of materials for its performance.

To protect the supporting shaft of the chimney from the temperature and aggressive influence of

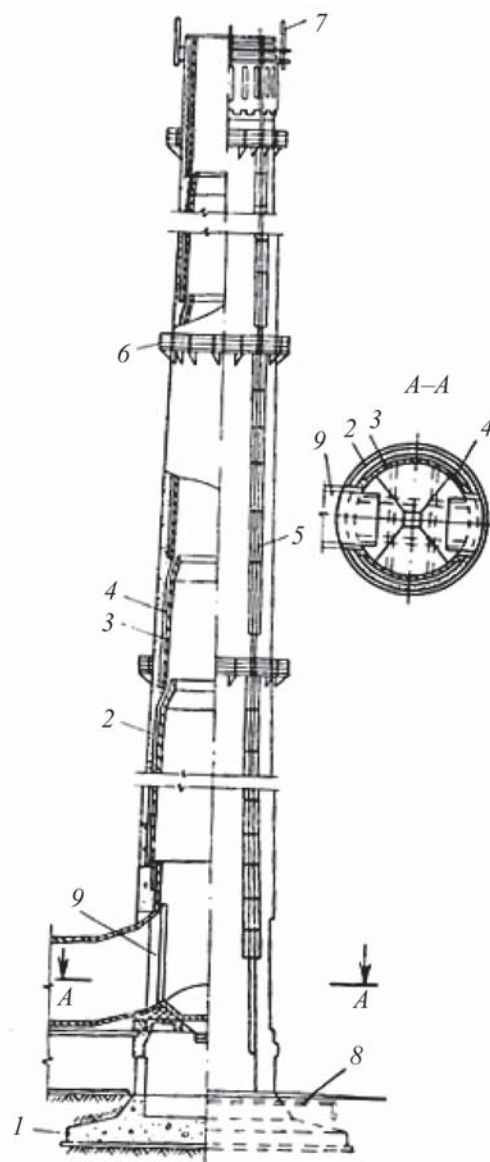


Fig. 1. Scheme of reinforced concrete chimney:
1 — foundation; 2 — trunk; 3 — lining; 4 — thermal insulation; 5 — running ladder; 6 — traffic light platform; 7 — lightning rod; 8 — lightning rod grounding; 9 — gas duct inlet

the exhaust gases, where necessary, lining and thermal insulation of the shaft is used. Depending on the temperature and aggressiveness of the discharged gases, the lining should be made of fireclay, acid-resistant or clay ordinary bricks, special concrete, ceramics, steel, as well as plastics [6].

Brick linings are provided in links resting on cantilevered projections in the shaft. The height of the links should be no more than 25 m with a thickness of one brick and no more than 12.5 m with a thickness of 1/2 brick. In the area of openings for gas ducts, the thickness of lining should be increased to 1.5–2 bricks. By using special shaped sheet piling ceramics, the thickness of the lining can be reduced. The connection of the lower link to the overlying link must be designed

taking into account the growth of the lining (as a result of sulphating processes of the masonry joint material) and the thermal expansion of the lining material both in height and diameter³.

Inspection of reinforced concrete chimneys is a mandatory part of their operation. Monitoring of the condition of industrial structures allows timely detection of violations occurring in the structures during operation and their prompt elimination [7]. To assess the technical condition of chimneys the inspection includes¹:

- 1) visual and measurement control;
- 2) thermal imaging;
- 3) geodetic control;
- 4) control of strength characteristics of structures;
- 5) calculations of building structures;
- 6) residual life assessment.

The main influencing factors on the load-bearing structure, namely the reinforced concrete shaft, are deposits from inside, otherwise ash deposits [8, 9], which in turn reduce the cross-section of the chimney and destruction from the inside of the chimney under the action of aggressive gases and the influence of exhaust flue gases from boiler units⁴.

Thus, with the switch to gaseous fuels, the present chimneys are not as designed, which has a significant impact on the reinforced concrete shaft.

These defects can be observed at the initial stages of their development. One of the ways of observation is thermal imaging (Fig. 2), where temperature shifts can be observed, which in turn confirms the reduction of gas tightness of the chimney lining [10, 11].

³ CP 375.1325800.2017. Industrial flue pipes. Design rules.

⁴ GD 34.20.328–95. Methods of inspection of chimneys of thermal power plants.

RESEARCH RESULTS

According to the results of the survey, defects and damages of category “W” and “B”⁵, namely defects of the reinforced concrete shaft, have now become apparent:

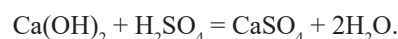
- of the destruction of the concrete protective layer;
- filtration of moisture through the concrete body;
- Bare and corrosive wear of bare fittings;
- the reverse slope of the cast iron chimney head;
- no protective coating on the lining.

These defects are caused by one of the following reasons.

During combustion of GHG, chemical reactions occur to oxidize the GHG components with oxygen. Reaction formula:



Hydrogen sulphide (H_2S) in GHGs can form sulphur compounds when the gas is burned in a CHP plant. Sulphur present in GHG can form sulphur oxides during combustion, such as sulphur dioxide (SO_2) and sulphur trioxide (SO_3). If a “dew point” forms in the pipe, condensation of the gaseous waste begins. Condensate without impurities of acids and sulphates causes corrosion of the material of the first kind — leaching of free lime from the cement stone of concretes and mortars [12]. In the presence of sulphur acid in the condensate, corrosion of the second kind occurs — acid destruction of cement stone in concrete and mortars and bricks in masonry. The reaction is expressed by the formula [13, 14]:



As water vapour is present in the pipe, sulphur compounds give sulphur acid with it. The formation

⁵ OS 17230282.27.010.001–2007. Standard of the Organization of RAO UES of RUSSIA, JSC “Buildings and structures of power engineering facilities. Methodology of technical condition assessment”..

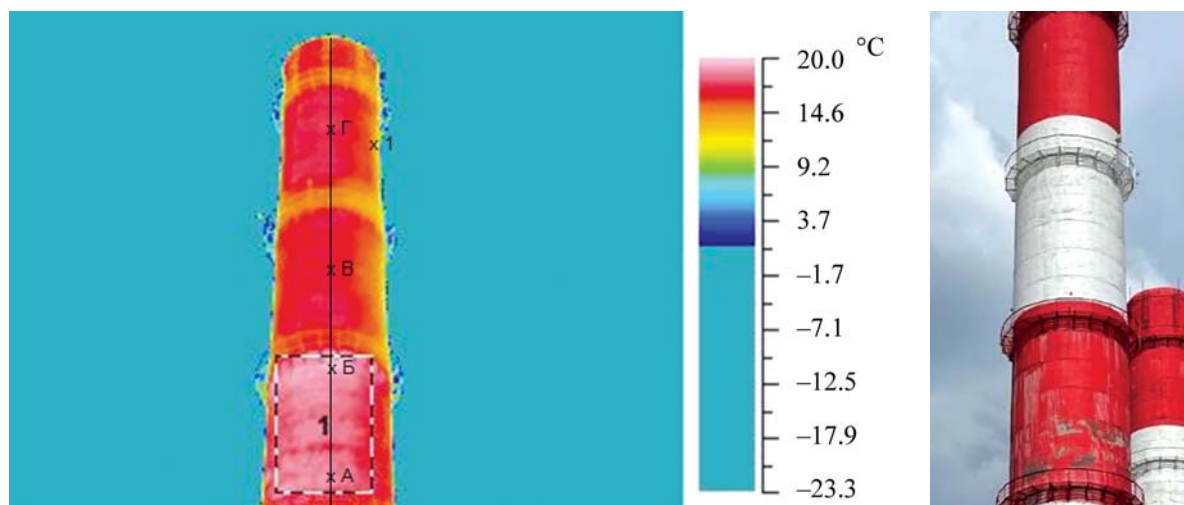


Fig. 2. The result of thermal imaging of the reinforced concrete chimney with the height $h = 120,0$ m, where the temperature shift $\Delta t \geq 9,0$ °C can be traced, indicating the violation of gas tightness of the lining and the destruction of the protective layer of concrete

of such aggressive condensate is very dangerous for the chimney. If there is a strong temperature difference between the outside air and flue gases inside the pipe, moisture migration starts: penetrating into the reinforced concrete shaft, acid starts to corrode the reinforcement and stone [14, 15]. The cracks that appear as a result of reinforcement corrosion (opening width up to 0.05 mm) do not pose an immediate danger of failure, but they contribute to accelerating the destruction of reinforced concrete [16]. On the outer surface of pipes, sometimes one can see whitish spots (Fig. 4) — this is the condensate penetrating through the lining and the shaft [17]. In winter, such moisture turns into ice [18, 19]. The formed condensate occurs on the inner surface of the chimney shaft, namely on the liner cantilevers (Fig. 3), this is caused by the transition of CHP from solid fuel (coal) combustion to GHG as the main fuel, as well as by the reduction of actual operating modes.

The condensate formed leads to the process of moisture filtration through the concrete body, accompanied by leaching of free lime along the weakened sections, reducing the values of concrete strength (Table, Fig. 4), as well as corrosion of reinforcement [13, 15, 20].

These defects indicate a violation of gas tightness of the chimney, which in turn may, in case of damage development, go to the category “A”⁶ and lead to an emergency condition of the chimney as a whole.

Thus, at this point in time, with the transition from solid to gaseous fuel, defects have occurred on the reinforced concrete shafts of the chimney. The operating conditions of the chimney do *not correspond to the design of the structure according to the project*. The current methods of defect elimination only eliminate the *consequences of* already formed defects on the gas discharge shafts, but do not eliminate the *causes of* defects. In the places of formed defects of the rein-

⁶ OS 17230282.27.010.001-2007. Standard of the Organization of RAO UES of RUSSIA, JSC “Buildings and structures of power engineering facilities. Methodology of technical condition assessment”.

forced concrete shaft, the application of a repair compound having a good level of adhesion with concrete is used, masking the destruction of the chimney shell. As a rule, the repair compounds applied to the material have a water resistance grade higher than that of the concrete used in the construction of chimneys, thus

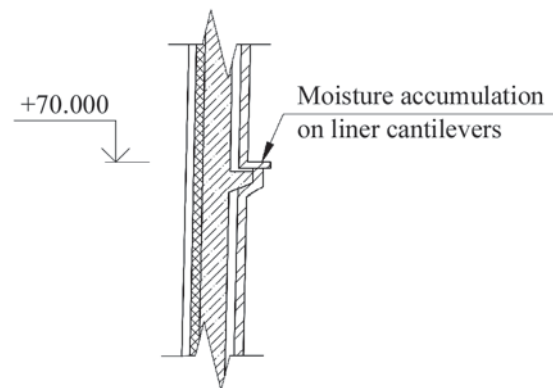


Fig. 3. Lining cantilevers where condensate accumulates abundantly at an average chimney height of 120.0 m from the ground surface and a mouth diameter of 7.0 m



Fig. 4. Leaching process of free lime through weakened concrete sections

Results of measurements of actual concrete strength at different heights of the chimney with height $h = 120.0$ m

Level mark	Design class (grade) of concrete of reinforced concrete cage R	Strength value at sections R_f , MPa	Compliance with the actual concrete class
+1.800	M300	28.9	B22.5 (M300)
+15.500	M300	29.1	B22.5 (M300)
+38.500	M300	32.0	B22.5 (M300)
+53.500	M300	23.9	B15 (M200)
+68.500	M300	09.5	B7.5 (M100)
+83.500	M300	09.3	B5 (M75)
+95.500	M300	22.5	B15 (M200)
+100.000	M300	25.9	B20 (M250)
+113.000	M300	14.3	B10 (M150)

moisture begins to penetrate the perimeter of the application of the repair compound. Over time, the weakened concrete collapses together with the applied repair compound, which multiplies the area of damage.

CONCLUSION AND DISCUSSION

One of the most important elements of CHP are chimneys designed for the removal of combustion products from boiler units. Reinforced concrete chimneys are the most widespread. From 1960 to 1980, the majority of CHP was reoriented to combustion of GHG instead of solid fuel (coal). At the same time, boiler units were modernized, while chimney structures remained in their original state. The change of fuel type led not only to changes in the chemical composition of flue gases, but also to adjustments in the operation mode of boiler units, which affected the frequency and magnitude of the impact of gases on the supporting structures of the chimney.

The results of inspections of reinforced concrete chimneys operating under conditions of GHG combustion show that the residual life is rapidly decreasing due to accelerated development of defects and damages of structures, according to the experience of the conducted inspections it was not observed in chimneys under solid fuel combustion. There is an actual decrease in gas tightness of the lining and increased condensate accumulation on the flue pipe cantilevers due to uneven

supply of flue gases from boiler units. The formed condensate leads to leaching of free lime in the weakened sections of the structure and corrosion of reinforcement due to moisture filtration through the concrete body.

Currently, high-strength repair compounds are mainly used to restore the bearing capacity of reinforced concrete shafts. As a result, there is a risk of the repair compound separating into a single mass with concrete fragments, which, if it falls, may result in injury to personnel, damage to technical equipment and neighbouring structures. The use of repair compositions is ineffective as it does not solve the problem of defects occurrence and development and only temporarily masks the problem areas. At the same time, the load-bearing capacity is restored without proper calculation justification.

Thus, the task of estimating the load-bearing capacity of chimney structures taking into account changes in operating conditions is relevant, which will be the basis for determining effective methods of restoration and protection of structures. To solve the set goal, it is planned to carry out numerical calculations of the bearing capacity of chimneys, to study protective compositions and materials for the possibility of lining internal surfaces, to assess the gas density of lining elements and the chimney as a whole.

The practical significance of the work lies in the possibility of assessing the bearing capacity and residual life of existing reinforced concrete chimneys.

REFERENCES

1. Karabasov Yu.S., Chernousov P.I., Korotchenko N.A., Golubev O.V. *Metallurgy and time: encyclopedia*. In 6 volumes. 2011–2014. (rus.).
2. Stepanov S.G., Islamov S.R. Coal gasification: a return to the past or a step into the future? *Heat Supply News*. 2007; 1(77). (rus.).
3. Belsky V.I., Sergeev B.V. *Industrial furnaces and pipes. Second edition*. Moscow, Stroyizdat, 1974; 301. (rus.).
4. Zulkarnaev G.S., Melentyev A.S., Gafiyatulina N.M. Structural solutions for reinforced concrete industrial gas exhaust pipes. *Young Scientist*. 2016; 10(114):208–213. EDN WAOAZX. (rus.).
5. Astashkin V.M., Zholudov V.S., Korsunsky A.Z., Malyutin E.V., Sporykhin B.B. *Chimneys: traditions and innovations. Chapter 1. Classification and main elements of industrial chimneys*. 2011. (rus.).
6. Astashkin V.M., Zholudov V.S., Korsunsky A.Z., Malyutin E.V., Sporykhin B.B. *Chimneys: traditions and innovations. Chapter 2. Basics of chimney design*. 2011. (rus.).
7. Kotkova O.N. Safety monitoring of smoke stacks petrochemical company. *Vestnik SGASU. Town Planning and Architecture*. 2013; 3(11):81–84. DOI: 10.17673/Vestnik.2013.03.16. EDN PYDCSJ. (rus.).
8. Subbotin A., Razov I., Popova E., Dolgih A. Impact of the ash deposits from coal combustion on thermal conditions of the furnace pipes. *MATEC Web of Conferences*. 2017; 110:01068. DOI: 10.1051/mateconf/201711001068
9. Fakourian S., Roberts M., Dai J. Numerical prediction of ash deposit growth burning pure coal and its blends with woody biomass in a 1.5 MWT combustor. *Applied Thermal Engineering*. 2023; 224:120110. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2023.120110
10. Babushkin R.A., Gmyzov D.S., Iva-nov Yu.P. Thermal imaging diagnostics of chimneys. *Innovation Science*. 2015; 9(9):52–57. EDN UINXKZ. (rus.).
11. Lazutin N.V., Matveev Yu.V. Thermal imaging inspection of a chimney is an effective way to identify hidden defects in the process of conducting an industrial safety examination of its building structures. *Graduate Student and Applicant*. 2015; 6(90):87–89. (rus.).
12. Kirchhof L.D., Antochaves de Lima R.C., da Silva Santos Neto A.B., Quispe A.C., da Silva Filho L.C.P. Effect of Moisture Content on the Behavior

of High Strength Concrete at High Temperatures. *Matéria (Rio de Janeiro)*. 2020; 25(1). DOI:10.1590/s1517-707620200001.0898

13. Elshin A.M., Izhorin M.N., Zholudov V.S., Ovcharenko E.G. *Smoke pipes. Theory and practice of design and construction*. Moscow, Stroyizdat, 2001; 295. (rus.).

14. Mainier F.B., Fernandes Almeida P.C., Nani B., Fernandes L.H., Reis M.F. Corrosion caused by sulfur dioxide in reinforced concrete. *Open Journal of Civil Engineering*. 2015; 5(4):379-389. DOI: 10.4236/ojce.2015.54038

15. Jaśniok T., Jaśniok M. Influence of rapid changes of moisture content in concrete and temperature on corrosion rate of reinforcing steel. *Procedia Engineering*. 2015; 108:316-323. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.06.153

16. Chernin L. *Effect of corrosion on the concrete-reinforcement interaction in reinforced concrete beams*. Haifa, 2008; 184.

17. Fadeeva G.D., Garkin I.N., Zabiroy A.I. Industrial reinforced concrete chimneys: methods of examination. *Modern Technics and Technologies*. 2014; 8(36):47-50. EDN SNLDYZ. (rus.).

18. Dudochkin I., Ovchinnikov Ya., Kuhta M., Shishkina E., Zaripova G. Construction methods of industrial chimney. *Technical sciences — from theory to practice*. 2015; 45:93-99. EDN TRRTCP. (rus.).

19. Slavcheva G., Bekker A.T. Temperature and humidity dependence on strength of high performance concrete. *Solid State Phenomena*. 2017; 265:524-528. DOI: 10.4028/www.scientific.net/ssp.265.524

20. Voland K., Weise F., Meng B. Alkali-silica reaction in concrete pavements. *Key Engineering Materials*. 2016; 711:714-721. DOI: 10.4028/www.scientific.net/kem.711.714

Received May 3, 2024.

Adopted in revised form on May 28, 2024.

Approved for publication on May 28, 2024.

B I O N O T E S: **Valentin A. Ermakov** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Testing of Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Ermakov@mgsu.ru;

Sergey A. Nikolaev — postgraduate student of the Department of Testing of Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; NikolaevS.A@yandex.ru.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare that there is no conflict of interests.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 621.311:624.1

DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.45-65

Фундамент турбоагрегата теплоэлектростанции на стройплощадке из тиксотропных грунтов

Надежда Сергеевна Никитина¹, Анастасия Евгеньевна Безгрибелная^{1,2}¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ); г. Москва, Россия;² Институт Теплоэлектропроект; г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Теплоэлектростанции (ТЭС) в РФ являются ведущими энергогенерирующими комплексами по сравнению с другими комплексами энергетической промышленности и в силу своей независимости от местоположения источника энергии часто располагаются на площадках, характеризуемых грунтами с неудовлетворительными свойствами. Рассматривается соответствующий пример из практики строительства в Санкт-Петербурге на стройплощадке с тиксотропными грунтами.

Материалы и методы. Строительство и работа объектов на площадках с тиксотропными грунтами привлекает внимание исследователей и практиков своей зависимостью от воздействия статических и динамических нагрузок. Предложены разные методы устройства фундаментов (свайные, плитные и др.). Рассмотрена в качестве альтернативы конструкция свайного фундамента для дополнительного турбоагрегата теплоэлектростанции в Санкт-Петербурге, включающая две плиты с виброизоляторами.

Результаты. Проведенные исследования показали, что наличие виброизоляторов предоставляет возможность регулировать высотное положение системы «турбоагрегат – фундамент», а также практически полностью исключает передачу вибраций на грунтовое (свайное) основание и прилегающие строительные конструкции, включая существующие здания. Выполненное геотехническое моделирование (модель «агрегат – опорная плита – свайное основание» (динамический расчет опорной плиты и статический расчет свайного основания) и модель «агрегат – свайное основание» (динамический и статический расчеты свайного основания)) с помощью программного комплекса PLAXIS 3D показали, что на нижнюю плиту конструкции и на оголовки свай уровень вибрации многократно (в 40 раз) меньше уровня 2 мм/с, при котором требуется учитывать снижение несущей способности основания как фундамента, так и соседних к нему.

Выводы. Несмотря на преимущества альтернативного варианта по стоимости и объемам, риски, сопутствующие альтернативной конструкции, побуждают отдать предпочтение варианту конструкции, принятому в проектной документации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: виброизолятор, динамическая нагрузка, плитно-свайный фундамент, свайный фундамент, теплоэлектростанция, статическая нагрузка, тиксотропный грунт, фундамент

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Никитина Н.С., Безгрибелная А.Е. Фундамент турбоагрегата теплоэлектростанции на стройплощадке из тиксотропных грунтов // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. Вып. 2. С. 45–65. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.45-65

Автор, ответственный за переписку: Анастасия Евгеньевна Безгрибелная, bezgribelnaya@bk.ru.

Foundation of the turbine unit of a thermal power plant on a construction site made of thixotropic soils

Nadezhda S. Nikitina¹, Anastasia E. Bezgribelnaya^{1,2}¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation;² Teploelectroproekt Institute; Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Thermal power plants in Russia are the leading power generating complexes in comparison with other complexes of energy industry and due to their independence from the location of the energy source, they are often located on sites characterized by soils with unsatisfactory properties. A relevant example from the practice of construction in St. Petersburg on a construction site with thixotropic soils is considered.

Materials and methods. Construction and operation of objects on sites with thixotropic soils attracts the attention of researchers and practitioners by their dependence on the impact of static and dynamic loads. Different methods of foundation construction (pile, slab, etc.) were proposed. The pile foundation design for an additional turbine unit of a thermal power plant in St. Petersburg, including two slabs with vibration isolators, is considered as an alternative.

Results. The conducted research has shown that the presence of vibration isolators provides an opportunity to regulate the height position of the system “turbine unit – foundation”, as well as almost completely eliminates the transmission of vibrations to the ground (pile) foundation and adjacent building structures, including existing buildings. The performed geotechnical modelling (model “unit – baseplate – pile foundation” (dynamic calculation of the baseplate and static calculation of the pile foundation) and model “unit – pile foundation” (dynamic and static calculations of the pile foundation)) with the help of Plaxis 3D software package showed that the vibration level on the bottom plate of the structure and on the pile heads is many times (40 times) less than the level of 2 mm/s, at which it is necessary to take into account the reduction of the bearing capacity of the base of both the foundation itself and the adjacent ones.

Conclusions. Despite the advantages of the alternative variant in terms of cost and volume, the risks associated with the alternative design induce to favour the design variant adopted in the design documentation.

KEYWORDS: dynamic load, foundation, pile foundation, slab-and-pile foundation, thermal power plant, static load, thixotropic soil, vibration isolator

FOR CITATION: Nikitina N.S., Bezgribelnaya A.E. Foundation of the turbine unit of a thermal power plant on a construction site made of thixotropic soils. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2024; 14(2):45-65. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.45-65

Corresponding author: Anastasia E. Bezgribelnaya, bezgribelnaya@bk.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Теплоэлектростанции (ТЭС) в РФ являются ведущими энергогенерирующими комплексами по сравнению с другими комплексами энергетической промышленности: по данным Росстата за 2022 г.¹ Единая энергетическая система (ЕЭС) России включает 69 % энергии, вырабатываемой ими.

ТЭС широко распространены в условиях городской застройки, где, однако, зачастую отсутствует вариативность выбора площадки строительства, в результате чего геологические условия оказываются не самыми благоприятными и удобными для эксплуатации тяжелого оборудования со специфическими нагрузками. Примером может служить строительство дополнительных энергоблоков газотурбинной электростанции ЭС-1 Центральной ТЭЦ в Санкт-Петербурге², который известен своими слабыми глинистыми грунтами³ [1].

В процессе инженерно-геологических изысканий были выявлены насыпные грунты и заторфованные пески, пески крупные и пылеватые, а также суглинки текучепластичные, склонные к проявлению тиксотропных свойств при динамических нагрузках, без которых немыслима работа любого турбоагрегата ТЭЦ.

В связи с этим с целью поиска путей совершенствования проработанного в проектной документации фундамента указанной ТЭС предпринята попытка численной оценки динамического воздействия на ее свайный фундамент под турбоагрегатом в грунтах, склонных к проявлению свойств тиксотропии, с учетом динамических и статических нагрузок.

¹ Выработка электроэнергии в России в 2022 году выросла на 0,6 %. URL: <https://tass.ru/ekonomika/16939991>

² ЭС-1. Центральная ТЭЦ. Строительство тепловой газотурбинной электростанции // ЭЦМ. URL: <https://ecm.ru/projects/2016/6225/>

³ Геология Санкт-Петербурга // Экологический портал Санкт-Петербурга. URL: <https://m.infoeco.ru/okruzhayushaya-sreda/ndra>

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведен анализ инженерно-геологических условий стройплощадки, данных проектной и рабочей документации по архитектурным и конструктивным решениям, расчета фундамента в программном комплексе (ПК) SCAD, проекта организации строительства объекта. В ПК PLAXIS⁴ с учетом динамических воздействий турбоагрегата на фундамент и грунтовый массив построена соответствующая модель. Это позволило выполнить сравнительный анализ проектных решений и сформулировать обоснованные выводы, подтверждающие необходимость учета динамического воздействия при проектировании фундаментов под оборудование и агрегаты на грунтах, склонных к проявлению тиксотропных свойств.

В проектной документации рекомендован вариант свайного фундамента под турбоагрегат (железобетонные сваи, устраиваемые методом вдавливания, или буроинъекционные сваи).

В сложных инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга для пластичных глинистых грунтов минимально достаточным считается развить усилие вдавливания, равное несущей способности свай.

Учитывая стесненные условия стройплощадки, в описываемом исследовании принято решение использовать буронабивные сваи.

При наличии слабых водонасыщенных грунтов предусмотрен глинистый раствор бентонитовых глин, оказывающий гидростатическое воздействие на стенки, обеспечивая надежное скрепление отдельных слоев грунтов.

В случае фундаментов, возводимых на грунтах, склонных к проявлению свойств тиксотропии (полное или частичное разрушение структурных связей под воздействием динамических нагрузок и в последующем по прошествии определенного периода

⁴ PLAXIS 3D. Трехмерные геотехнические расчеты. URL: <https://www.plaxis.ru/product/plaxis-3d/>

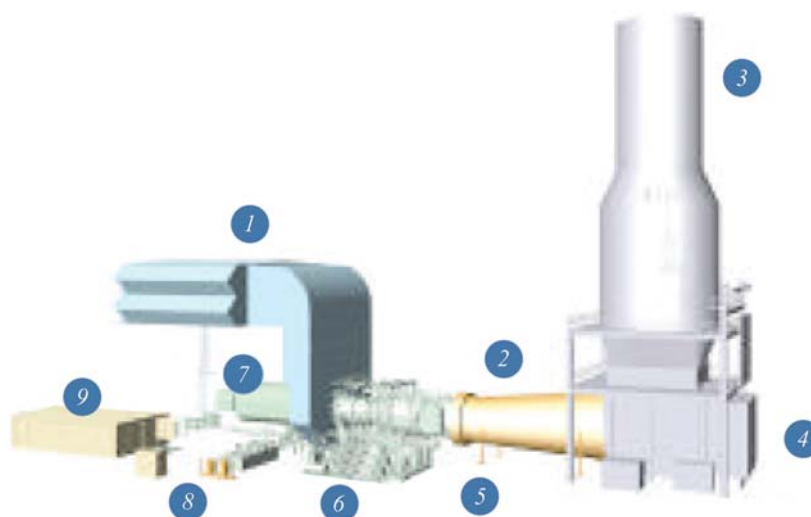


Рис. 1. Схема устройства газотурбинной установки для электрических станций фирмы Siemens⁵: 1 — система воздухозабора; 2 — газотурбинная установка (ГТУ); 3 — дымовая труба; 4 — отвод газов; 5 — диффузор; 6 — рама ГТУ; 7 — электрогенератор; 8 — трансформатор; 9 — блок управления

да времени самостоятельное восстановление в отсутствие других внешних нагрузок при постоянной температуре и влажности), при проектировании решено отдать предпочтение сложным массивным конструкциям, способствующим «гашению» динамических нагрузок, а также использовать виброизоляторы, например, пружинного типа.

Анализ результатов научно-проектных работ [2–9] показал, что свайные фундаменты обладают определенной спецификой работы при динамической нагрузке на тиксотропных грунтах: вокруг сваи образуется ослабленный грунтовый массив радиусом 5–8 диаметров сваи, и виброизоляторы способствуют смягчению этого воздействия. Поскольку всякая динамическая нагрузка на тиксотропные грунты очень опасна, признано целесообразным применять методы статического вдавливания или отдать предпочтение технологии устройства буронабивных свай с использованием глинистого раствора.

На основе вариантных расчетов и с учетом опыта проектирования и работы газотурбинных турбоагрегатов на плитных фундаментах в сложных грунтовых условиях на базе проектной и рабочей документации фундаментов турбоагрегата SGT-800 фирмы Siemens для объекта «ЭС-1 Центральная ТЭЦ строительство тепловой газотурбинной электростанции (ГТУ-ТЭЦ) в г. Санкт-Петербурге» был принят турбоагрегат SGT-800 фирмы Siemens (рис. 1), а для анализа в исследовании принят фундамент со сложной конструкцией, состоящей из верхней и нижней плит (рис. 2) с пружинной

виброизоляцией на свайном основании. Эффект снижения уровня вибрации достигается подбором виброизоляторов, позволяющих обеспечить оптимальные вибрационные и деформационные характеристики фундамента. Наличие виброизоляторов предоставляет возможность регулировать высотное положение системы «турбоагрегат – фундамент», а также практически полностью исключает передачу вибраций на грунтовое (свайное) основание и прилегающие строительные конструкции, включая существующие здания.

Наличие грунтов с тиксотропными свойствами, низкочастотного (25 Гц) возбуждения с широкой зоной распространения, больших нагрузок от тяжелых роторов генератора и тихоходного вала редуктора приводят к значительному снижению горизонтальной жесткости свайного основания при динамическом воздействии. При отсутствии виброизоляции это приведет к недопустимому уровню поперечных вибраций агрегата и к существенному снижению несущей способности фундаментов главного корпуса (машинного зала) и соседних зданий. При этом и сами ГТУ могут взаимно влиять друг на друга.

Принятая конструкция верхнего строения — плитный фундамент из монолитного железобетона на виброизоляторах производства фирмы GERB (см. рис. 2). Нагрузки от оборудования и опорной платформы передаются на нижнюю плиту через систему из 20 виброизолирующих пружинных элементов (из них 6 пружинно-демпферных). Виброизоляторы опираются на 10 вертикальных постаментов высотой около 50 см и поперечных сечением 50 × 200 см.

Масса подпружиненной железобетонной конструкции 1430 т.

⁵ Газотурбинные электростанции Siemens (Сименс) — установки — силовые станции из Германии. URL: <https://manbw.ru/analitics/siemens.html>

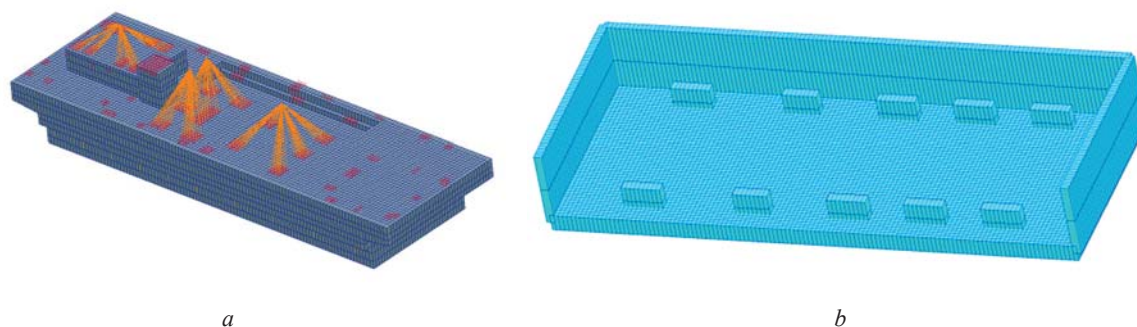


Рис. 2. Железобетонная конструкция верхней (а) и нижней (б) фундаментных плит [10]

Плита имеет толщину 3,0 м (без учета постаментов под генератор и под пусковой электродвигатель), в зоне установки шкафов вспомогательного оборудования в плите имеется ступенчатое понижение на 0,9 м.

Подвальная часть представляет собой открытый сверху и по одной из сторон короб с нижней плитой толщиной 1 м и подпорными стенами толщиной 0,4 м. На плите размещены постаменты вы-

сотой $0,44 \times 2,0$ м и толщиной 0,5 м под виброизолятор (рис. 2, б).

Рассматриваемая территория стройплощадки расположена в сейсмически спокойном районе, однако слабые толчки отмечались в разные годы (3–4 балла). Сейсмическая активность района, согласно СП 14.13330.2011, составляет 5 баллов.

В месте строительства двух газотурбинных установок расположены скважины: первая ГТУ — скв. 46, вторая — скв. 35 (рис. 3, 4).

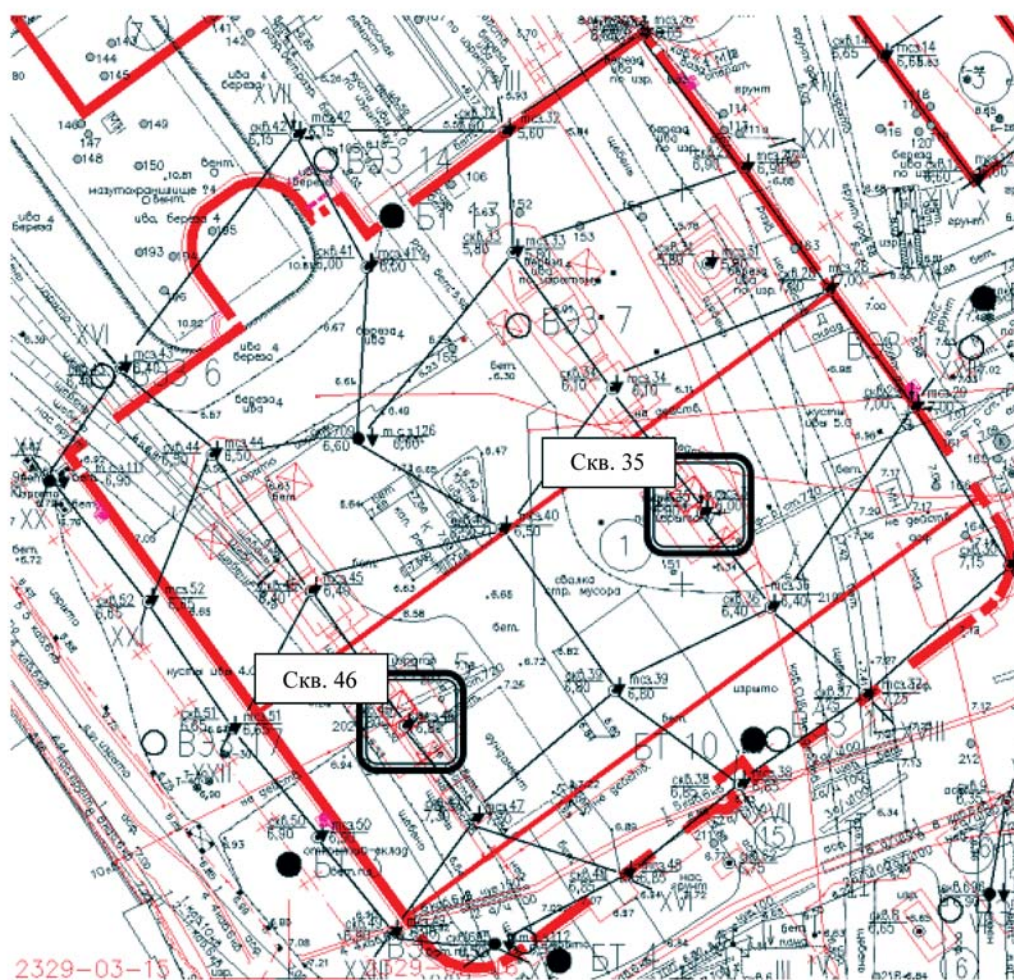


Рис. 3. План скважин

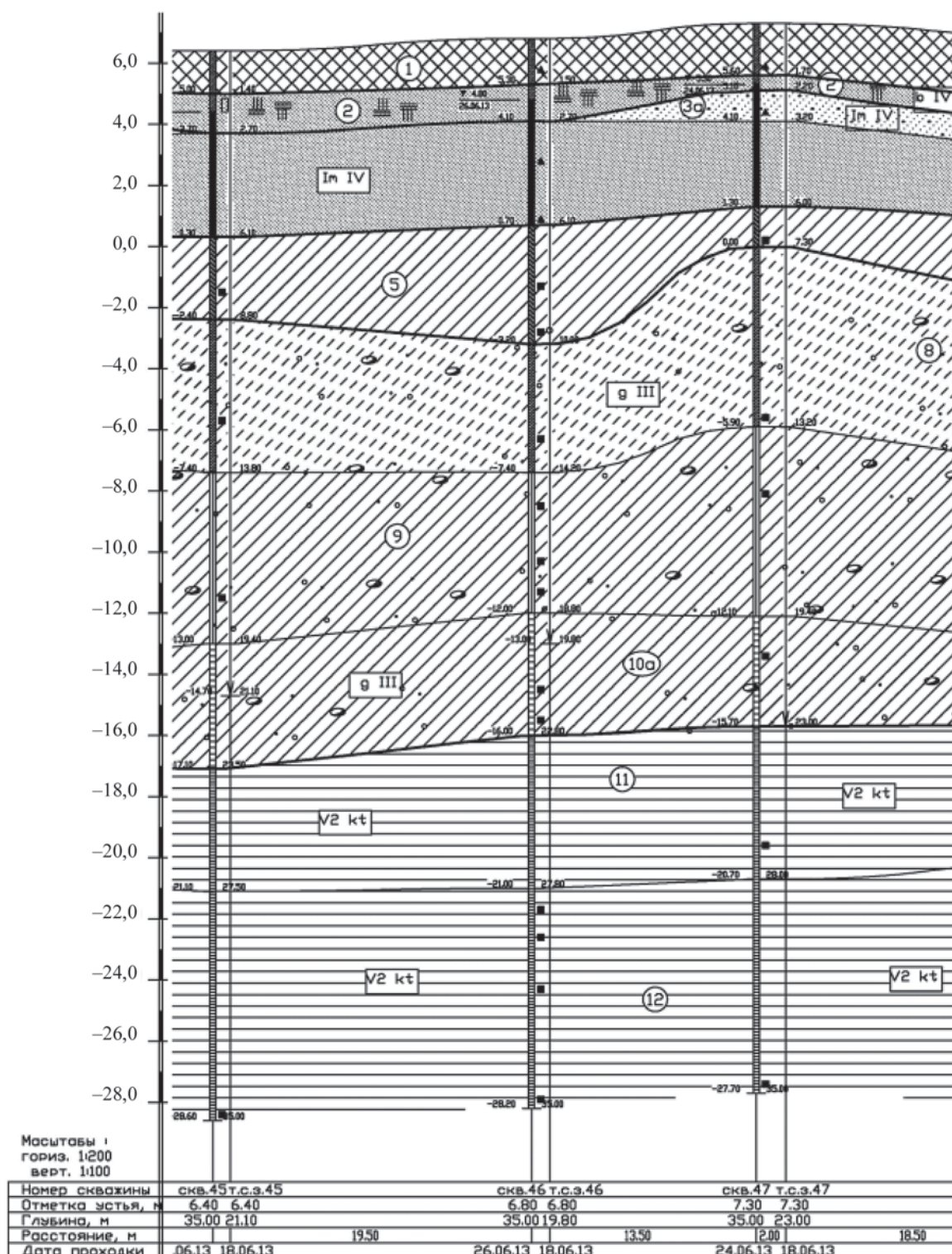


Рис. 4. Геологический разрез основания ГТУ-1

Относительной отметке +0,000 соответствует абсолютная +7,500 в Балтийской системе высот.

На площадке строительства выявлены супесчаный грунт с тиксотропными свойствами, представленный суглинками текучепластичными, с прослоями мягкопластичных, легких и тяжелых пылеватых, ленточных и слоистых, тиксотропных, коричневатых

серых, с прослоями песков пылеватых, насыщенных водой. Было взято 5 образцов данных грунтов, далее упоминаемых под № 7–11.

Для учета виброползучести грунтов использован добавочный коэффициент $K_{вп}$, снижающий величину статического модуля общей деформации (квазистатический подход):

$$K_{\text{вп}} = \Delta \varepsilon_c / (\Delta \varepsilon_c + \Delta \varepsilon_g), \quad (1)$$

где $\Delta \varepsilon_c$ и $\Delta \varepsilon_g$ — приращения деформации от статического и динамического нагружения в заданном диапазоне напряжений.

Модуль деформации грунта с учетом деформации виброползучести определяли по формуле:

$$E_{\text{вп}} = E_c \cdot K_{\text{вп}}, \quad (2)$$

где $E_{\text{вп}} = \sigma_z \cdot \beta / (\varepsilon_c + \varepsilon_g)$; $E_c = (\sigma_z / \varepsilon_c) \cdot \beta$; E_c — модуль деформаций по результатам статических испытаний; $\beta = 0,8$ для песчаных грунтов.

Этапы консолидации и девиаторного нагружения выполняли по консолидированно-дренированной схеме, этап вибрационного нагружения — по консолидированно-недренированной схеме. В результате испытаний получены значения деформаций при различных схемах нагружения.

Статико-динамические трехосные испытания глинистых грунтов показали, что исследуемые грунты под воздействием статической и динамической нагрузок проявляют свойства виброползучести и имеют коэффициенты виброползучести при амплитуде девиаторного нагружения до 30 кПа.

Средние значения $K_{\text{вп,ср10}} = 0,40$, $K_{\text{вп,ср20}} = 0,35$ применены при расчетах снижения деформационных характеристик грунта при динамическом воздействии в соответствии с п. 6.13.4 СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений».

Кроме того, при проектировании учтено, что при вибрационных нагрузках с частотой от 50 Гц стабилизация вертикальных перемещений для глинистых образцов не наступила, свидетельствуя о динамической неустойчивости и разжижении образцов при указанных частотах.

Полученные крайне низкие значения $K_{\text{вп}}$ обусловлены высокой чувствительностью образцов к вибрационным воздействиям, подлежащей учету при проектировании сооружений на свайных фундаментах. Возможно изменение схемы работы ростверка (переход от низкого ростверка к высокому) вследствие дополнительных осадок грунтовых слоев в межсвайном пространстве.

Значение модулей общей деформации по результатам девиаторного нагружения для рассмотренных образцов меняется в пределах $E_{\text{мин}} = 1332$ кПа и $E_{\text{макс}} = 34\,826$ кПа.

В исследовании проведен расчет свайного фундамента методом послойного суммирования и в ПК SCAD.

Расчет несущей способности свай выполнен согласно СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты». С учетом конструктивных ограничений принято свайное поле из 18 буронабивных свай диаметром 820 мм и длиной 21 м. Сваи жестко заделаны в фундаментную плиту.

В соответствии со СНиП 2.02.05–87 «Фундаменты машин с динамическими нагрузками» фундаментные конструкции ниже виброизоляторов

рассчитываются по обычным нормам на статические нагрузки.

Нижние концы свай фундаментов турбоагрегатов опираются на глины твердые с $L_f = -0,18$, модуль деформации $E = 30$ МПа.

Длина свай в грунте составляет 21 м, собственный вес $G_{\text{св}} = 300$ кН. Одиночная свая в составе фундамента рассчитывается по несущей способности грунта исходя из условия (7.2) из СП 24.13330.2011:

$$N \leq \frac{\gamma_0 + F_d}{\gamma_n + \gamma_k}, \quad (3)$$

где N — расчетная нагрузка, передаваемая на сваю; $\gamma_0 = 1,15$ — коэффициент условий работы при кустовом расположении свай; F_d — расчетная несущая способность грунта основания сваи; $\gamma_n = 1,1$ — коэффициент надежности по ответственности; $\gamma_k = 1,4$ — коэффициент надежности по грунту для случая определения несущей способности сваи расчетом.

В соответствии с СП 24.13330.2021 «Свайные фундаменты», несущая способность буронабивной сваи определяется по зависимости (формула 7.11 из ГОСТ 12248.4–2020 «Грунты. Определение характеристик деформируемости методом компрессионного сжатия»):

$$F_d = \gamma_c \cdot (R \cdot A + \gamma_{cf} \cdot u \sum f_i \cdot h_i), \quad (4)$$

где $\gamma_c = 1,0$ — коэффициент работы сваи в грунте; A — поперечное сечение сваи; γ_{cf} — коэффициент условий работы грунта под нижним концом и по боковой поверхности сваи; u — наружный периметр поперечного сечения сваи; f_i , h_i — расчетное сопротивление и толщина i -го слоя грунта на боковой поверхности сваи (расчетные сопротивления принимаются по табл. 7.8 из ГОСТ 12248.4–2020 «Грунты. Определение характеристик деформируемости методом компрессионного сжатия»).

Оценка статической жесткости сваи проводится на основании СП 24.13330.2021 «Свайные фундаменты». Оценка дана для случаев наименьшего (1900 мм) и наибольшего (6200 мм) расстояний между сваями в составе свайного поля.

Поскольку статическая горизонтальная жесткость свайного основания и грунта по боковым поверхностям фундамента незначительно влияет на результат расчетов, а нагрузки на плиту в основном вертикальные, значение горизонтальной жесткости принято равным 0,5 от значения вертикальной жесткости.

Генераторная часть фундамента существенно тяжелее турбинной (бетонный постамент под генератором и вес генератора превышают вес турбины и располагаются на противоположном конце от генератора диффузора).

Путем вариантных расчетов определена оптимальная расстановка 18 свай (рис. 5). Центр тяжести плана свай находится на расстоянии 11,1 м

от конца фундаментной плиты подвала. Центр тяжести постоянных нагрузок по модели — соответственно на 11,07 м. Эксцентриситет $e = 0,03/24,7 = 0,001$ (0,1 %). Условие ограничения эксцентриситета $0,1 < 3$ % выполнено (согласно работам [11–18]).

На основе проведенных испытаний и анализа опыта проектирования прошлых лет в качестве варианта в данном исследовании было принято решение о разработке проекта фундаментов под турбоагрегат с конструкцией, представленной двумя

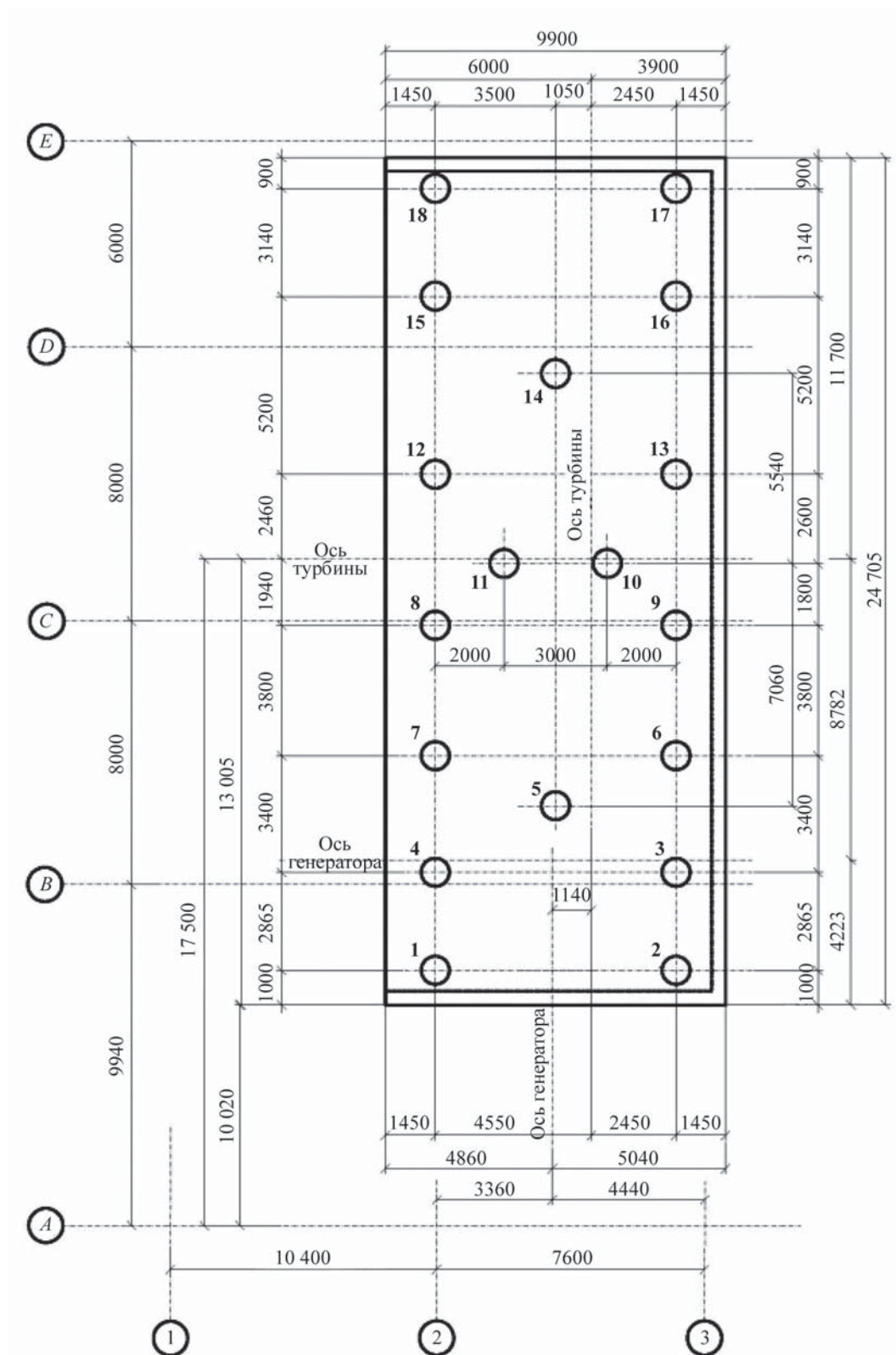


Рис. 5. План свайного поля ГТУ-1

массивными плитами, «соединенными» виброизоляторами, так как при отсутствии виброизоляции воздействие динамических нагрузок от машины приведет к недопустимому уровню поперечных вибраций агрегата и существенному снижению несущей способности фундаментов главного корпуса.

В рамках настоящего исследования выполнен расчет свайного фундамента вручную методом послойного суммирования при отсутствии действия на него динамической нагрузки (несущая способность висячих и буровых свай, свай-оболочек, заполняемых бетоном, определение осадки куста свай при центральной сжатии (расстояние между сваями 1900, 6200 мм)). Полученные результаты удовлетворительные. Строительство и эксплуатация данного объекта являются безопасными.

Исходя из полученных результатов приняты оптимальные геометрические характеристики свайного фундамента с учетом центрирования (18 буронабивных свай длиной 21 м).

В рассматриваемой задаче имеется источник периодических нагрузок — турбогенератор (турбина + генератор) электрической газотурбинной станции.

В исследовании рассмотрено влияние источника вибрации на грунтовое основание с учетом наличия тиксотропных грунтов. Физическое демпфирование колебаний, обусловленное эффектом вязкости, учитывается посредством демпфирования по Рэлею. Затуханию вибраций может помочь и «геометрическое демпфирование», которое проявляется вследствие осесимметричности модели.

Одним из важнейших при динамическом расчете является моделирование границ грунтового массива. Вибрационные волны имеют свойство отражаться от границ модели (что в действительности, конечно, не происходит), поэтому необходимо удостовериться, что имеет место поглощение волн, которые достигают границ. Чтобы избежать этого, прикладываем к границам специальные условия. Пример корректной динамической модели представлен на рис. 6.

В нашем случае источниками динамических воздействий служат турбина и генератор, установленные на бетонной плите толщиной 3,3 м. Турбина расположена на дополнительном возвышении от отметки общей плиты на 1,7 м. В основании симметрично расположены и жестко заделаны в фундаментную плиту. В рассматриваемой задаче учитываем, что динамическая нагрузка не «глушится» демпферами пружинного типа, а передается непосредственно через фундамент на грунт. В описываемом исследовании, напротив, учитывалось, что конструкция плиты более сложная, имеет верхнюю и нижнюю части, которые взаимосвязаны демпферами пружинного типа, благодаря чему на основание передается только статическая

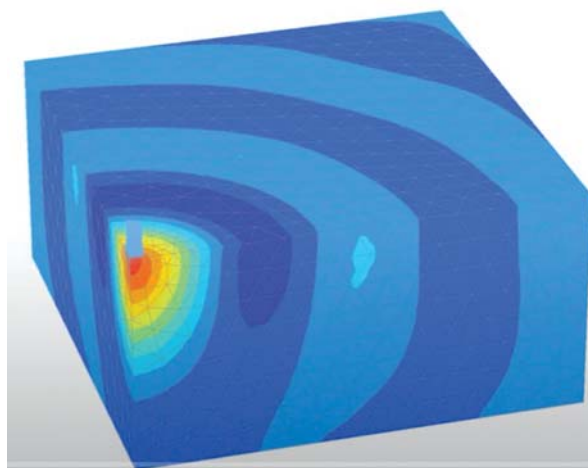


Рис. 6. Пример динамического расчета генератора на упругом основании на плите, толщиной 0,2 м без свай на грунтовом массиве, представленном глиной (СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений»)

нагрузка, значение которой, в свою очередь, также возрастает из-за наличия массивной верхней конструкции фундаментной плиты шириной 3 м и с большим процентом армирования на тяжелом бетоне.

В решаемой задаче предусмотрено проанализировать необходимость такой конструкции и на практике убедиться в том, что при заданных динамических нагрузках (которые в рассматриваемом случае не компенсируются) это требуется для безопасности здания ТЭС, ее сооружений, рядом стоящих строений и экономической целесообразности использования более сложной конструкции, «глушащей» большие динамические нагрузки, вызываемые турбиной и генератором ТЭС.

Вызванные турбогенератором колебания передаются через фундамент на грунтовый массив. Эти колебания моделируем посредством равномерно распределенной гармонической нагрузки в соответствии с паспортными данными машины.

Динамические нагрузки, выданные заводом-изготовителем, представлены в таблице.

Вычисление динамических нагрузок при эксплуатации $P_{д1}$

Обозначение нагрузок	Турбина	Генератор
f , Гц	110	25
ω , об/мин	6608	1500
Ω , рад/с	690,8	157,1
M ротора, кг	7677	27 500
$P_{д1}$, кН	33,8	27,5

Также учитывается вес самого турбогенератора (статическая составляющая рассматриваемой задачи), принимаемый из паспортных данных на тур-

боагрегат от завода-изготовителя и моделируемый посредством равномерно распределенной нагрузки.

Границы модели размещаем по возможности как можно дальше от рассматриваемой зоны, чтобы избежать искажения вследствие возможных отражений от границ модели. Также учтено при динамическом расчете, что волна не должна проходить более одного конечного элемента (КЭ) за шаг приращения времени, поэтому размер такого элемента выбирается строго из условия:

$$\Delta t \leq L_e / V, \quad (5)$$

где Δt — приращение времени, с; L_e — размерность КЭ сетки; V — скорость распространения волны в грунте, м/с.

Важнейшей особенностью проведения корректного расчета является учет дополнительных граничных условий, вязких границ, которые необходимо вводить по краям модели, чтобы исключить отражение вибрационных волн. Это свойство «вязкие границы» учтено в подразделе Dynamics (динамическая модель) модели PLAXIS 3D.

Расчет с учетом демпфирования проведен по Рэлею. Принят во внимание эффект демпфирования колебаний в материале. Расчетная схема при статическом нагружении показана на рис. 7, соответствующие изополю вертикальных перемещений — на рис. 8, то же при динамическом нагружении — на рис. 9.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведено сравнение расчета по модели «агрегат – опорная плита – свайное основание» (динамический расчет опорной плиты и статический расчет свайного основания) с расчетом по модели «агрегат – свайное основание» (динамический и статический расчеты свайного основания).

Расчеты продемонстрировали, что на нижнюю плиту конструкции и на оголовки свай уровень вибрации многократно (в 40 раз) меньше уровня 2 мм/с, при котором требуется учитывать снижение несущей способности основания как самого фундамента, так и соседних к нему.

В целом расчеты показали, что статические деформации (осадки, прогибы, крены) фундаментов двух подвергнутых сопоставлению конструкций удовлетворяют нормативным требованиям и требованиям изготовителей турбоагрегата.

Для модели «агрегат – опорная плита – свайное основание» максимальный уровень виброскоростей на рабочей частоте в зоне установки турбоагрегата составляет 0,59 мм/с. Нормативное ограничение, установленное заводом-изготовителем (1 мм/с), не превышено. В случае модели «агрегат – свайное основание» «затухание» колебаний не происходит, что может негативно повлиять как на фундамент, так и на окружающую застройку.

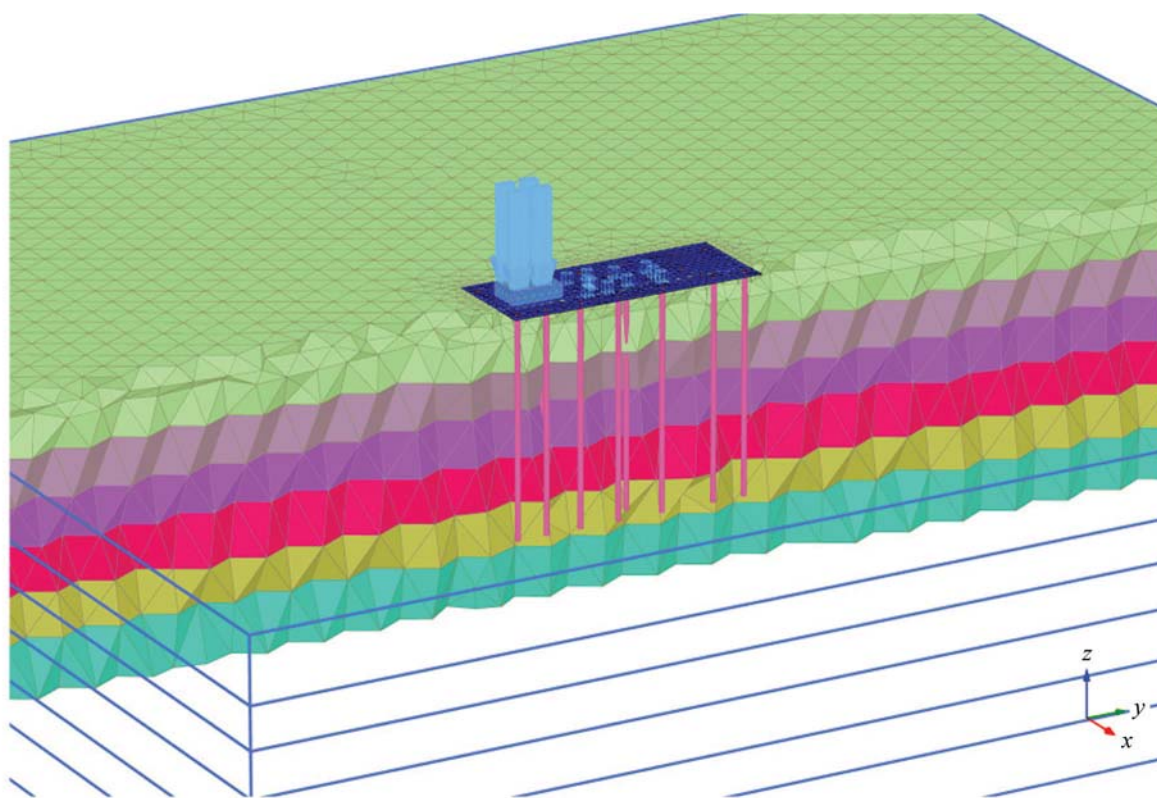


Рис. 7. Общий вид расчетной схемы на этапе приложения статических нагрузок

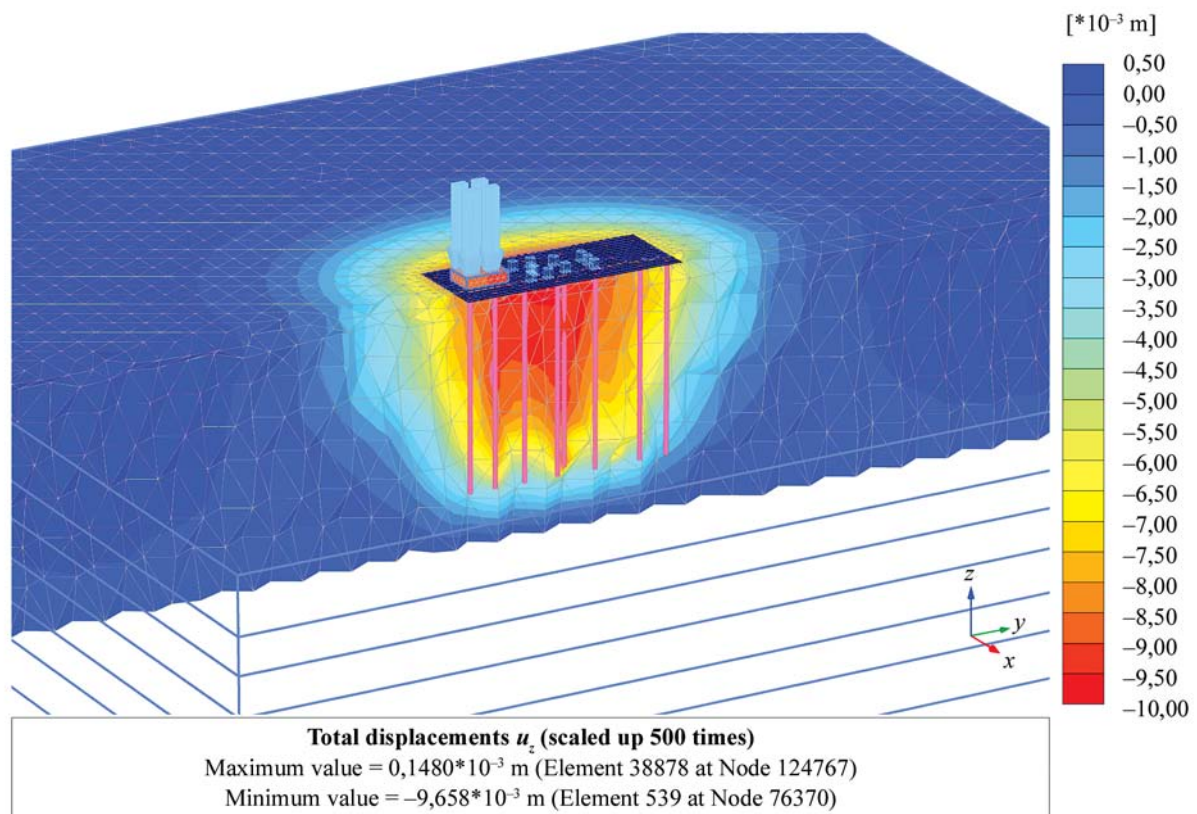


Рис. 8. Изополю вертикальных перемещений на этапе приложения статических нагрузок

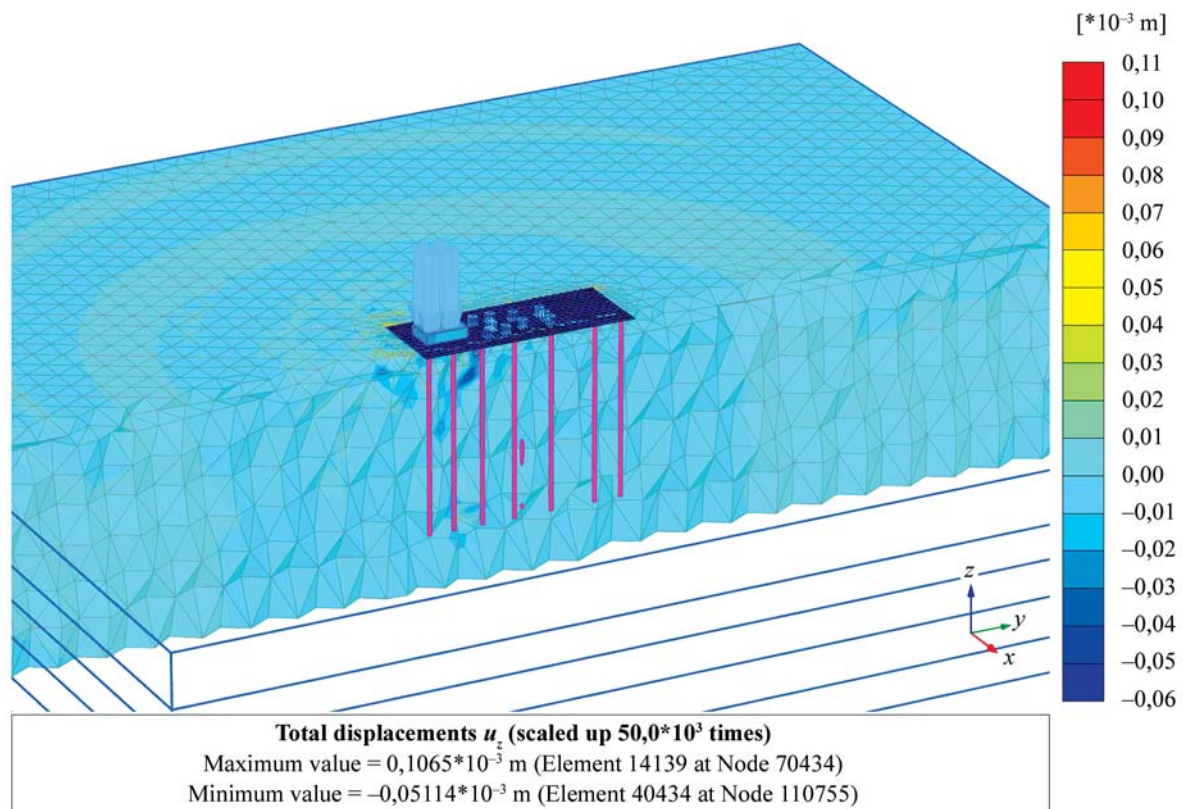


Рис. 9. Изополю вертикальных перемещений на этапе приложения динамических нагрузок

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования установлено, что необходимо использование демпферов и сложной конструкции, состоящей из плиты с жестко заделанными сваями и плитой, на которую опираются машины. Ввиду сложных геологических условий (наличие грунтов с тиксотропными свойствами и обводненных грунтов, глубокое залегание «оперябельных» слоев, расположение фундамента турбоагрегата внутри главного корпуса, где также предусматриваются другие массивные фундаменты под оборудование, такие как фундаменты под котлы-утилизаторы, наличие сложной конструкции главного корпуса с несколькими передвижными кранами большой грузоподъемности), а также учитывая, что станция располагается в центре г. Санкт-

Петербурга, необходимо предотвратить динамическое и статическое влияние как на существующую застройку, так и на главный корпус со всеми вспомогательными зданиями и сооружениями ТЭС.

Учитывая стоимость и объемы сравниваемых фундаментов, сделан вывод, что альтернативная конструкция намного дешевле, но, соотнося все риски, следует отдать предпочтение варианту конструкции, состоящей из верхней и нижней массивных плит, «соединенных» демпферами.

Следовательно, совмещение в одну конструкцию нижней и верхней плит в более понятную конструкцию (в проведенном исследовании это свайно-плитное основание) и полный отказ от установки виброизоляторов нецелесообразно и опасно для рассматриваемой конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мангушев Р.А., Осокин А.И., Сотников С.Н. Геотехника Санкт-Петербурга. Опыт строительства на слабых грунтах : монография. М. : Издательство АСВ, 2018. 386 с.
2. Ступников В.С., Данчук Е.М., Черкасова Л.И. Тиксотропия глинистых грунтов // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2020. № 1. С. 2. EDN ZQOUGR.
3. Поздняков В.А., Пахомов В.Е., Королев В.А. Тиксотропия глинистых грунтов // Современные перспективы развития гибких производственных систем в промышленном гражданском строительстве и агропромышленном комплексе : сб. науч. ст. Всерос. науч.-техн. конф. молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров. 2023. С. 294–297. EDN IIDUCS.
4. Капустин В.В., Владов М.Л., Вознесенский Е.А., Волков В.А. Оценка воздействия вибрационных нагрузок на грунтовые массивы и сооружения // Вопросы инженерной сейсмологии. 2022. Т. 49. № 4. С. 155–170. DOI: 10.21455/VIS2022.4-11. EDN JXFBLN.
5. Ren Y., Yang S., Andersen K.H., Yang Q., Wang Y. Thixotropy of soft clay : a review // Engineering Geology. 2021. Vol. 287. P. 106097. DOI: 10.1016/j.enggeo.2021.106097
6. Bhattacharya S. Analysis and design of tabletop foundation for turbine generators // Lecture Notes in Civil Engineering. 2019. Vol. 1. Pp. 3–17. DOI: 10.1007/978-981-13-0362-3_1
7. Concrete foundations for turbine generators: analysis. 2018. DOI: 10.1061/9780784414927
8. Тер-Мартirosян А.З. и др. Основы численного моделирования в механике грунтов и геотехнике : учеб.-метод. пособие. М. : МИСИ – МГСУ, 2020. 90 с.
9. Абелев М.Ю., Абелева А.М., Аверин И.В., Чунюк Д.Ю. Строительство сооружений, передающих многократно повторные нагрузки на фундаменты оснований : учебное пособие. М. : АСВ, 2023. 94 с. EDN IQPCXL.
10. Вознесенский Е.А. Поведение грунтов при динамических нагрузках : учебное пособие. М. : Изд-во МГУ, 2017. С. 190–202.
11. Мащенко А.В., Пономарев А.Б., Сычкина Е.Н. Специальные методы механики грунтов и механики скальных пород : учебное пособие. Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. С. 56–60.
12. Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А. Грунтоведение. М. : Изд-во МГУ, 2015. С. 538–546.
13. Осипов В.И. Природа прочности и деформационных свойств глинистых грунтов. М. : Изд-во МГУ, 2019. 232 с.
14. Seed H.B., Idriss I.M. Ground motions and soil liquefaction during earthquakes. Oakland, CA. : Earthquake Engineering Research Institute Monograph, 2015.
15. Соколова О.В. Подбор параметров грунтовых моделей в программном комплексе Plaxis 2D // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 4 (48). С. 10–16. DOI: 10.5862/MCE.48.2. EDN SFOUPH.
16. Ширяева М.П., Кривонос Е.А. Классификация моделей грунтового основания // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2014. № 3. С. 18–25. EDN TGILJV.
17. Кургузов К.В., Фоменко И.К. Основополагающие математические модели грунтов в практике геотехнического моделирования. Обзор // Естественные и технические науки. 2019. № 5 (131). С. 240–247. DOI: 10.25633/ETN.2019.05.04. EDN KGJTQF.

18. Колесников А.О., Попов В.Н., Костюк Т.Н. Оценка взаимного влияния свай при вертикальных колебаниях фундамента // Строительная механи-

ка инженерных конструкций и сооружений. 2020. Т. 16. № 3. С. 209–218. DOI: 10.22363/1815-5235-2020-16-3-209-218. EDN QKFKCU.

Поступила в редакцию 21 мая 2024 г.

Принята в доработанном виде 28 мая 2024 г.

Одобрена для публикации 28 мая 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: Надежда Сергеевна Никитина — кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры механики грунтов и геотехники Института гидротехнического и энергетического строительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; nsnikitina@mail.ru;

Анастасия Евгеньевна Безгрибелная — студентка; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; инженер 3-й категории строительного отдела; **Институт Теплоэлектропроект;** 105066, г. Москва, Спартаковская ул., д. 2а, стр. 1; bezgribelnaya@bk.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

Thermal power plants (TPP) in the Russian Federation are the leading energy generating complexes compared to other complexes of the energy industry: according to Rosstat data for 2022¹ the Unified Energy System (UES) of Russia includes 69 % of energy generated by them.

TPP are widespread in urban areas, where, however, there is often a lack of variability in construction site selection, resulting in geological conditions that are not the most favourable and convenient for the operation of heavy equipment with specific loads. An example is the construction of additional power units of the gas turbine power plant PP-1 of the Central CHP in St. Petersburg², which is known for its weak clay soils³ [1].

In the process of engineering-geological surveys, bulk soils and marshy sands, coarse and dusty sands, as well as flow-plastic loams prone to thixotropic properties under dynamic loads, without which the operation of any CHP turbine unit is inconceivable.

In this connection, in order to find ways to improve the foundation of the mentioned TPP developed in the design documentation, an attempt to numerically assess the dynamic impact on its pile foundation under the turbine unit in soils prone to thixotropy properties, taking into account dynamic and static loads, was made.

¹ Electricity generation in Russia in 2022 increased by 0.6 %. URL: <https://tass.ru/ekonomika/16939991>

² PP-1. Central CHP. Construction of thermal gas turbine power plant, ECM. URL: <https://ecm.ru/projects/2016/6225/>

³ Geology of St. Petersburg, Environmental Portal of St. Petersburg. URL: <https://m.infoeco.ru/okruzhaushaya-sreda/nedra>

MATERIALS AND METHODS

The analysis of engineering and geological conditions of the construction site, data from design and working documentation on architectural and structural solutions, foundation calculations in SCAD software package (PC), and the project of the facility construction organization was carried out. In PLAXIS⁴ PC the corresponding model was built taking into account the dynamic effects of the turbine unit on the foundation and ground mass. This made it possible to perform a comparative analysis of design solutions and formulate reasonable conclusions confirming the necessity to take into account the dynamic impact when designing foundations for equipment and units on soils prone to thixotropic properties.

The design documentation recommends the option of pile foundation for the turbine unit (reinforced concrete piles using the indentation method or bored-injection piles).

In the difficult engineering and geological conditions of St. Petersburg, for plastic clayey soils, it is considered to be minimally sufficient to develop an indentation force equal to the bearing capacity of the pile.

Considering the cramped conditions of the construction site, it was decided to use bored piles in the study described.

In the presence of weak water-saturated soils, a clay solution of bentonite clay is provided, which exerts a hydrostatic effect on the walls, providing reliable bonding of individual layers of soils.

In the case of foundations built on soils prone to thixotropy properties (complete or partial destruction of structural bonds under the influence of dynamic loads

⁴ PLAXIS 3D. Three-dimensional geotechnical calculations. URL: <https://www.plaxis.ru/product/plaxis-3d/>

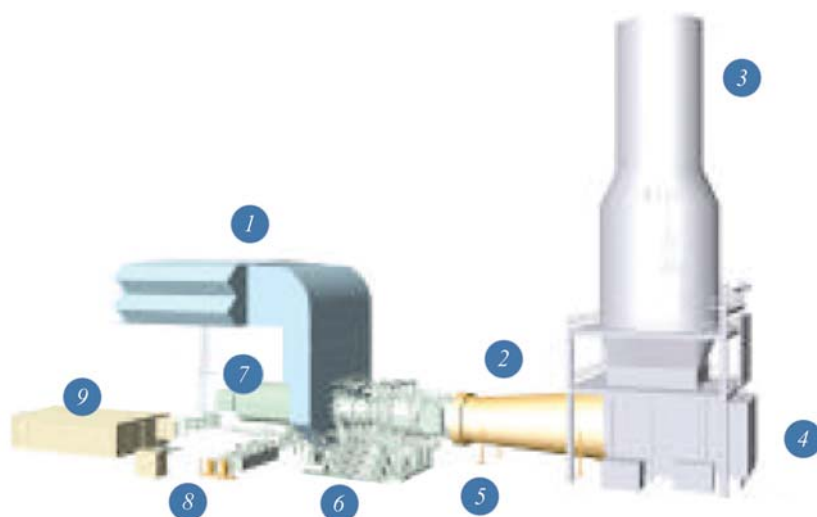


Fig. 1. Schematic diagram of gas turbine unit for electric power plants of Siemens⁵: 1 — air intake system; 2 — gas turbine unit (GTU); 3 — chimney; 4 — gas outlet; 5 — diffuser; 6 — GTU frame; 7 — electric generator; 8 — transformer; 9 — control unit

and subsequent self-recovery after a certain period of time in the absence of other external loads at constant temperature and humidity), it is decided to give preference in the design to complex massive structures that contribute to the “damping” of dynamic loads, as well as to use vibration isolators, for example, of the spring type.

Analysis of the results of scientific and design studies [2–9] has shown that pile foundations have certain specifics of operation under dynamic loading on thixotropic soils: a weakened soil mass with a radius of 5–8 pile diameters is formed around the pile, and vibration isolators help to mitigate this effect. As any dynamic loading on thixotropic soils is very dangerous, it is considered advisable to use static indentation methods or to favour the bored pile technique using clay mortar.

On the basis of variant calculations and taking into account the experience of designing and operation of gas turbine turbo units on slab foundations in difficult ground conditions on the basis of design and working documentation of foundations of turbine unit SGT-800 of Siemens company for the object “PP-1 Central CHP construction of thermal gas turbine power plant (GTU-TTP) in St. Petersburg”, the foundation with a complex structure consisting of upper and lower slabs (Fig. 2) was adopted. SGT-800 turbine unit of Siemens company (Fig. 1) was accepted for the analysis in the study, and the foundation with a complex structure consisting of upper and lower slabs (Fig. 2) with spring vibration isolation on a pile base was accepted for the analysis in the study. The effect of vibration reduction is achieved by selecting vibration isolators to

ensure optimal vibration and deformation characteristics of the foundation. The presence of vibration isolators makes it possible to regulate the height position of the system “turbine unit – foundation”, as well as almost completely eliminates the transmission of vibrations to the ground (pile) base and adjacent building structures, including existing buildings.

The presence of soils with thixotropic properties, low-frequency (25 Hz) excitation with a wide propagation zone, large loads from heavy generator rotors and slow-speed gearbox shaft lead to a significant reduction in the horizontal stiffness of the pile foundation under dynamic impact. In the absence of vibration isolation it will lead to inadmissible level of transverse vibrations of the unit and to essential reduction of bearing capacity of foundations of the main building (engine room) and neighbouring buildings. At the same time GTU themselves can mutually influence each other.

The adopted structure of the upper structure is a slab foundation made of monolithic reinforced concrete on vibration isolators manufactured by GERB (see Fig. 2). Loads from the equipment and the support platform are transferred to the lower slab through a system of 20 vibration-isolating spring elements (6 of which are spring-damped). The vibration isolators are supported on 10 vertical pedestals with a height of about 50 cm and cross-sections of 50 × 200 cm.

The mass of the sprung reinforced concrete structure is 1,430 tonnes.

The slab has a thickness of 3.0 m (excluding the pedestals for the generator and for the starting motor), in the area of installation of auxiliary equipment cabinets there is a step-down of 0.9 m in the slab.

⁵ Siemens (Siemens) gas turbine power plants – installations – power plants from Germany. URL: <https://manbw.ru/analytics/siemens.html>

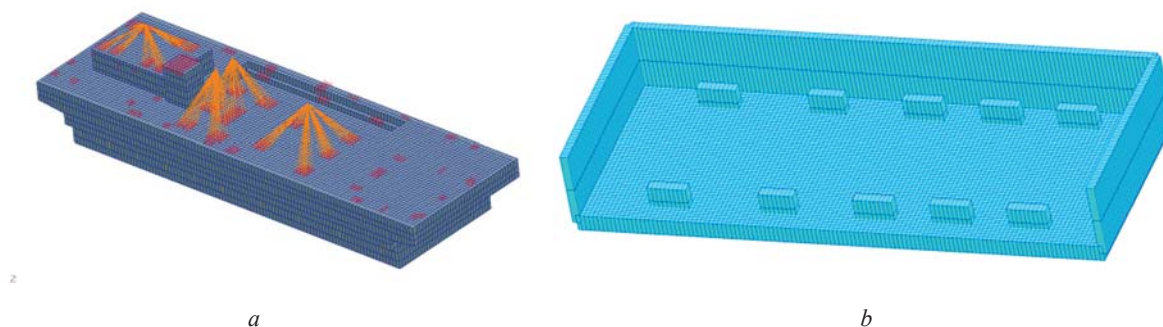


Fig. 2. Reinforced concrete structure of the upper (a) and lower (b) foundation slabs [10]

The basement part is a box open at the top and on one of the sides with a 1 m thick bottom slab and 0.4 m thick retaining walls. The slab has pedestals 0.44×2.0 m high and 0.5 m thick for vibration isolators (Fig. 2, b).

The construction site under consideration is located in a seismically quiet area, but weak shocks were recorded in different years (3–4 points). The seismic activity of the area, according to CP 14.13330.2011, is 5 points.

The following wells are located at the site of construction of two gas turbine units: the first GTU — well 46, the second — well 35 (Fig. 3, 4).

The relative mark +0.000 corresponds to the absolute mark +7.500 in the Baltic Height System.

The construction site revealed sandy loam with thixotropic properties, represented by very soft plastic loams with interlayers of soft plastic, light and heavy dusty, banded and layered, thixotropic, brownish grey, with interlayers of dusty sands saturated with water.

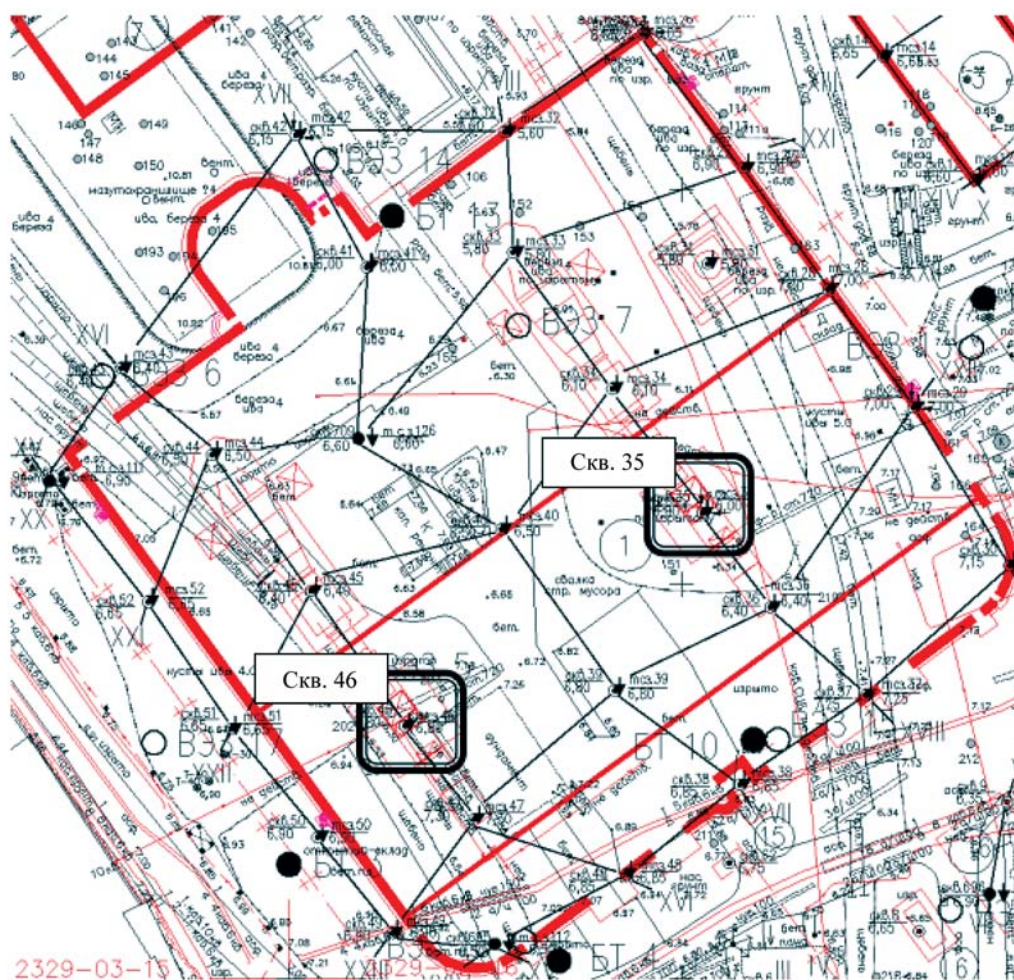


Fig. 3. Well plan

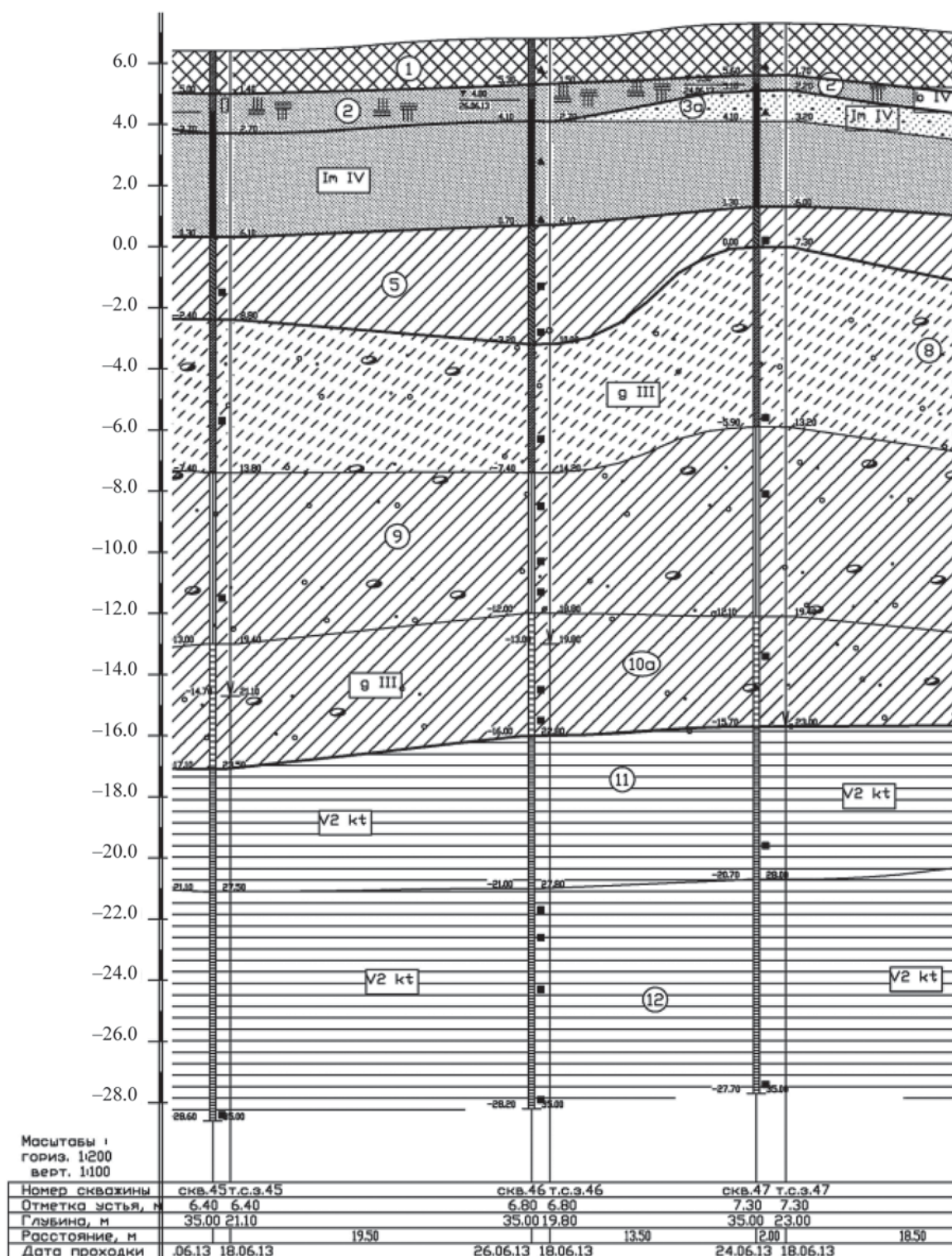


Fig. 4. Geological section of the GTU-1 basement

Five specimens of these soils were taken, hereinafter referred to as Nos. 7–11.

To account for vibration creep of soils, an additive coefficient K_{vc} , which reduces the value of static modulus of total deformation (quasi-static approach), was used:

$$K_{vc} = \Delta \epsilon_c / (\Delta \epsilon_c + \Delta \epsilon_g), \quad (1)$$

where $\Delta \epsilon_c$ and $\Delta \epsilon_g$ are strain increments from static and dynamic loading in a given stress range.

The modulus of deformation of the soil taking into account the vibration creep deformation was determined by the formula:

$$E_{vc} = E_c - K_{vc}, \quad (2)$$

where $E_{vc} = \sigma_z \cdot \beta / (\varepsilon_c + \varepsilon_b)$; $E_c = (\sigma_z / \varepsilon_c) - \beta$; E_c — modulus of deformation based on static test results; $\beta = 0.8$ for sandy soils.

The consolidation and deviatoric loading stages were performed according to the consolidated-drained scheme, the vibration loading stage — according to the consolidated-undrained scheme. As a result of the tests, the values of deformations at different loading schemes were obtained.

Static-dynamic triaxial tests of clayey soils have shown that the studied soils under the influence of static and dynamic loads exhibit vibration creep properties and have vibration creep coefficients at deviatoric loading amplitude up to 30 kPa.

Average values $K_{vc,av10} = 0.40$, $K_{vc,av20} = 0.35$ are used in calculations of reduction of deformation characteristics of soil under dynamic impact in accordance with clause 6.13.4 of CP 22.13330.2011 “Foundations of Buildings and Structures”.

In addition, the design takes into account that stabilization of vertical displacements for clay specimens did not occur under vibration loads at frequencies from 50 Hz, indicating dynamic instability and liquefaction of the specimens at these frequencies.

The obtained extremely low values of K_{vc} are due to the high sensitivity of the specimens to vibration effects to be taken into account when designing structures on pile foundations. It is possible to change the working pattern of the pile foundation (transition from low to high pile foundation) due to additional settlements of soil layers in the inter-pile space.

The value of total strain moduli from the results of deviatoric loading for the considered specimens varies in the range $E_{min} = 1,332$ kPa and $E_{max} = 34.826$ kPa.

In the study, the pile foundation was calculated by layer-by-layer summation method and in the PC SCAD.

Calculation of pile bearing capacity is performed according to CP 24.13330.2011 “Pile Foundations”. Taking into account the design constraints, a pile field of 18 bored piles with a diameter of 820 mm and a length of 21 m was adopted. The piles are rigidly embedded in the foundation slab.

In accordance with SNiP 2.02.05–87 “Foundations of machines with dynamic loads”, the foundation structures below the vibration isolators are calculated according to the usual norms for static loads.

The lower ends of the turbine unit foundation piles are supported on hard clays with $L_f = -0.18$, deformation modulus $E = 30$ MPa.

The length of the pile in the ground is 21 m, dead weight $G_{dw} = 300$ kN. A single pile as part of the foundation is calculated for the bearing capacity of the soil based on condition (7.2) from CP 24.13330.2011:

$$N \leq \frac{\gamma_0 + F_d}{\gamma_n + \gamma_k}, \quad (3)$$

where N — design load transferred to the pile; $\gamma_0 = 1.15$ — coefficient of working conditions in case of pile arrangement; F_d — design bearing capacity of the soil of the pile base; $\gamma_n = 1.1$ — reliability factor for responsibility; $\gamma_k = 1.4$ — reliability factor for soil in case of determining the bearing capacity of the pile by calculation.

According to CP 24.13330.2021 “Pile foundations”, the bearing capacity of a bored pile is determined according to the dependence (formula 7.11 from GOST 12248.4-2020 “Soils. Determination of deformability characteristics by compression method”):

$$F_d = \gamma_c \cdot (R \cdot A + \gamma_{cf} \cdot u \sum f_i \cdot h_i), \quad (4)$$

where $\gamma_c = 1.0$ — coefficient of pile operation in soil; A — cross-section of the pile; γ_{cf} — coefficient of soil working conditions under the bottom end and on the lateral surface of the pile; u — outer perimeter of the pile cross-section; f_i , h_i — design resistance and thickness of the i -th layer of soil on the lateral surface of the pile (design resistances are taken from Table 7.8 of GOST 12248.4-2020 “Soils. Determination of deformability characteristics by compression method”).

The static stiffness of the pile is assessed on the basis of CP 24.13330.2021 “Pile foundations”. The assessment is given for the cases of the smallest (1,900 mm) and the largest (6,200 mm) pile spacing within the pile field.

Since the static horizontal stiffness of the pile foundation and the soil on the lateral surfaces of the foundation has an insignificant effect on the calculation result, and the loads on the slab are mainly vertical, the value of the horizontal stiffness is assumed to be 0.5 of the vertical stiffness value.

The generator portion of the foundation is significantly heavier than the turbine portion (the concrete pedestal under the generator and the weight of the generator exceeds the weight of the turbine and is located at the opposite end from the diffuser generator).

The optimal arrangement of 18 piles was determined by variant calculations (Fig. 5). The centre of gravity of the pile plan is at a distance of 11.1 m from the end of the basement foundation slab. The centre of gravity of the permanent model loads is at 11.07 m, respectively. Eccentricity $e = 0.03/24.7 = 0.001$ (0.1 %). The condition of eccentricity limitation $0.1 < 3$ % is fulfilled (according to [11–18]).

Based on the conducted tests and analysis of design experience of the past years, as an option in this study it was decided to develop the design of foundations for the turbine unit with a structure represented by two massive slabs “connected” by vibration isolators, since in the absence of vibration isolation the impact of dynamic loads from the machine will lead to an unacceptable level of transverse vibrations of the unit and

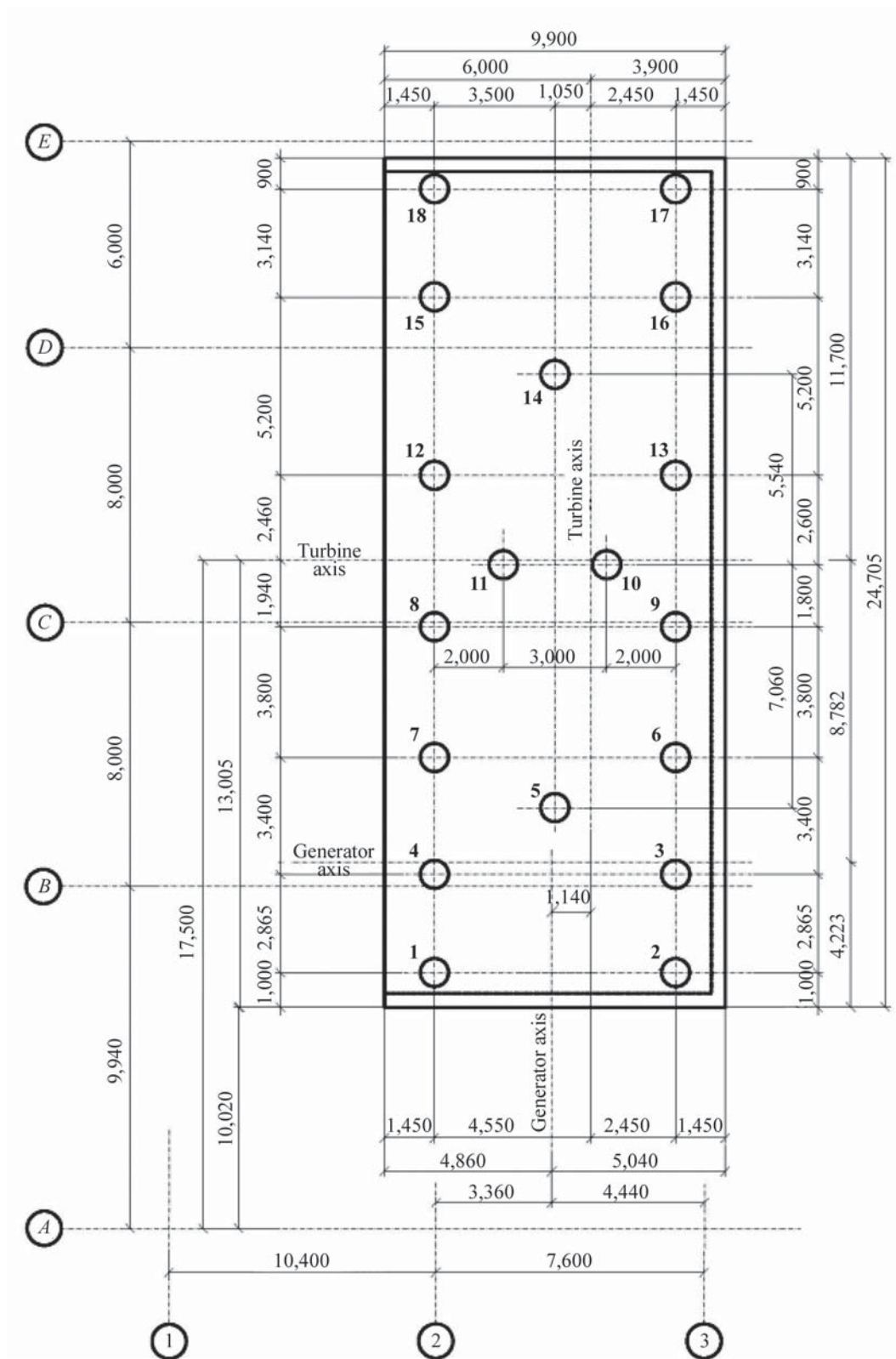


Fig. 5. Pile field plan of GTU-1

a significant reduction in the load-bearing capacity of the foundations of the main body.

Within the framework of the present study, the pile foundation was calculated manually by layer-by-layer summation method in the absence of dynamic loading

(bearing capacity of hanging and bored piles, pile-shells filled with concrete, determination of pile cluster settlement under central compression (distance between piles 1,900, 6,200 mm)). The results obtained are satisfactory. The construction and operation of this facility is safe.

Based on the results obtained, the optimum geometric characteristics of the pile foundation with regard to centering (18 bored piles of 21 m length) were adopted.

In the considered problem, there is a source of periodic loads — a turbogenerator (turbine + generator) of an electric gas turbine station.

The study considers the effect of a vibration source on a soil subgrade, taking into account the presence of thixotropic soils. Physical damping of vibrations due to viscous effects is accounted for by Rayleigh damping. Vibration damping can also be assisted by “geometric damping”, which is due to the axisymmetric nature of the model.

One of the most important aspects of dynamic calculation is the modelling of the boundaries of the soil mass. Vibration waves tend to be reflected from the boundaries of the model (which, of course, does not happen in reality), so it is necessary to make sure that there is absorption of the waves that reach the boundaries. To avoid this, we apply special conditions to the boundaries. An example of a correct dynamic model is shown in Fig. 6.

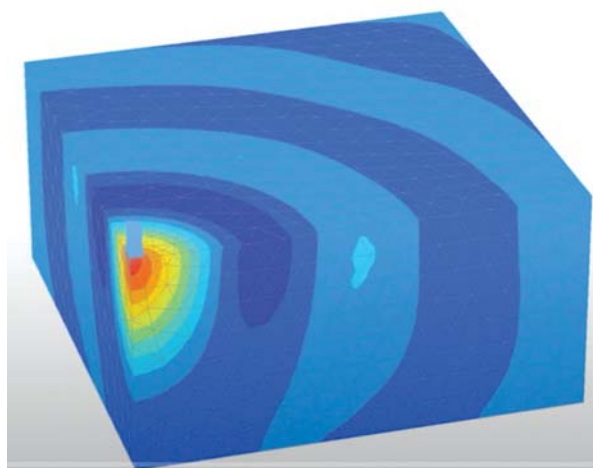


Fig. 6. Example of dynamic calculation of a generator on an elastic base on a 0.2 m thick slab without piles on a soil mass represented by clay (CP 22.13330.2016 “Foundations of Buildings and Structures”)

In our case, the sources of dynamic impacts are the turbine and generator mounted on a 3.3 m thick concrete slab. The turbine is located at an additional elevation of 1.7 m from the general slab level. The turbines are symmetrically located at the base and rigidly embedded in the foundation slab. In the task under consideration, we take into account that the dynamic load is not “damped” by spring-type dampers, but is transmitted directly through the foundation to the ground. In the described study, on the contrary, it was taken into account that the slab structure is more complex, with upper and lower parts, which are interconnected by spring-type dampers, due to which only the static load is transmitted to the foundation, the value of which, in

turn, also increases due to the presence of a massive upper structure of the foundation slab, 3 m wide and with a high percentage of reinforcement on heavy concrete.

The problem to be solved is to analyze the necessity of such a structure and to verify in practice that under given dynamic loads (which in the case under consideration are not compensated) it is required for the safety of the TPP building, its structures, adjacent structures and the economic feasibility of using a more complex structure “silencing” the large dynamic loads caused by the turbine and generator of the TPP.

The vibrations caused by the turbo-generator are transmitted through the foundation to the soil mass. These vibrations are modelled by means of a uniformly distributed harmonic load according to the machine data sheet.

The dynamic loads issued by the factory are shown in the Table below.

Calculation of dynamic operating loads P_{D1}

Load designation	Turbine	Generator
f , Hz	110	25
ω , rpm	6,608	1,500
Ω , rad/s	690,8	157,1
M rotor, kg	7,677	27,500
P_{D1} , kN	33,8	27,5

The weight of the turbine-generator itself (static component of the problem under consideration) is also taken into account, which is taken from the turbine-generator nameplate data from the manufacturer and modelled by means of a uniformly distributed load.

The model boundaries are placed as far as possible from the considered zone to avoid distortion due to possible reflections from the model boundaries. It is also taken into account in the dynamic calculation that the wave should not pass more than one finite element (FE) per time increment step, so the size of such an element is chosen strictly from the condition:

$$\Delta t \leq L_e / V, \quad (5)$$

where Δt is the time increment, s; L_e is the dimensionality of the grid FE; V is the wave propagation velocity in the ground, m/s.

The most important feature of a correct calculation is to take into account additional boundary conditions, viscous boundaries, which must be introduced at the edges of the model to exclude reflection of vibration waves. This property “viscous boundaries” is taken into account in the Dynamics subsection of the PLAXIS 3D model.

Calculation taking into account damping is carried out according to Rayleigh. The effect of vibration damping in the material is taken into account. The calculation scheme under static loading is shown in Fig. 7, the corresponding isopoles of vertical displacements — in Fig. 8, the same for dynamic loading — in Fig. 9.

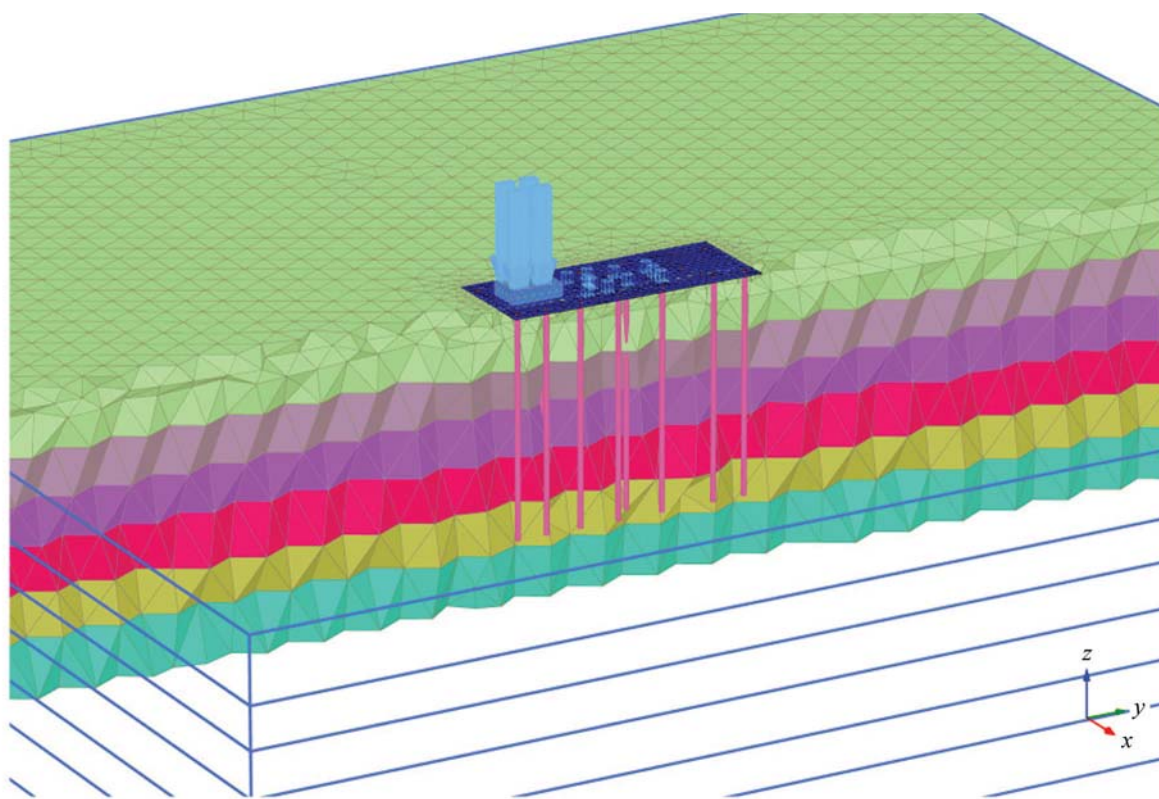


Fig. 7. General view of the design scheme at the stage of static loads application

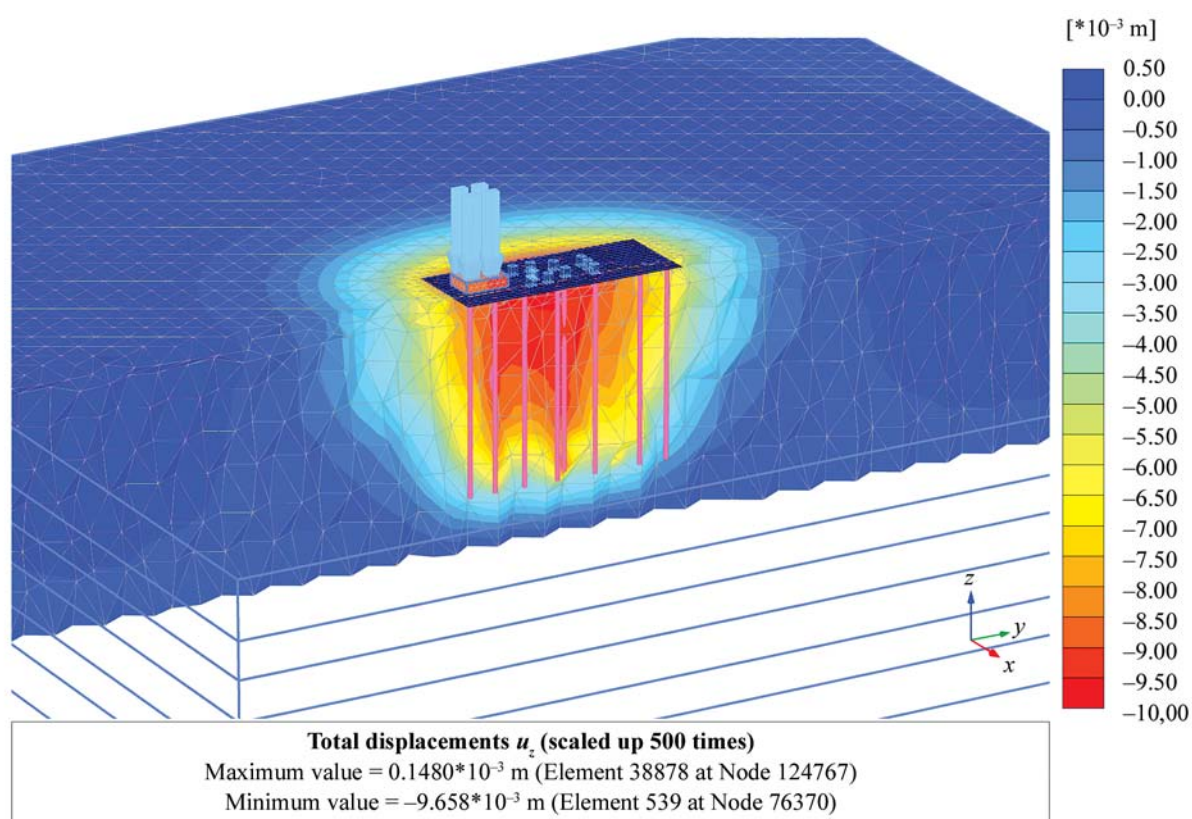


Fig. 8. Isopoles of vertical displacements at the stage of static loads application

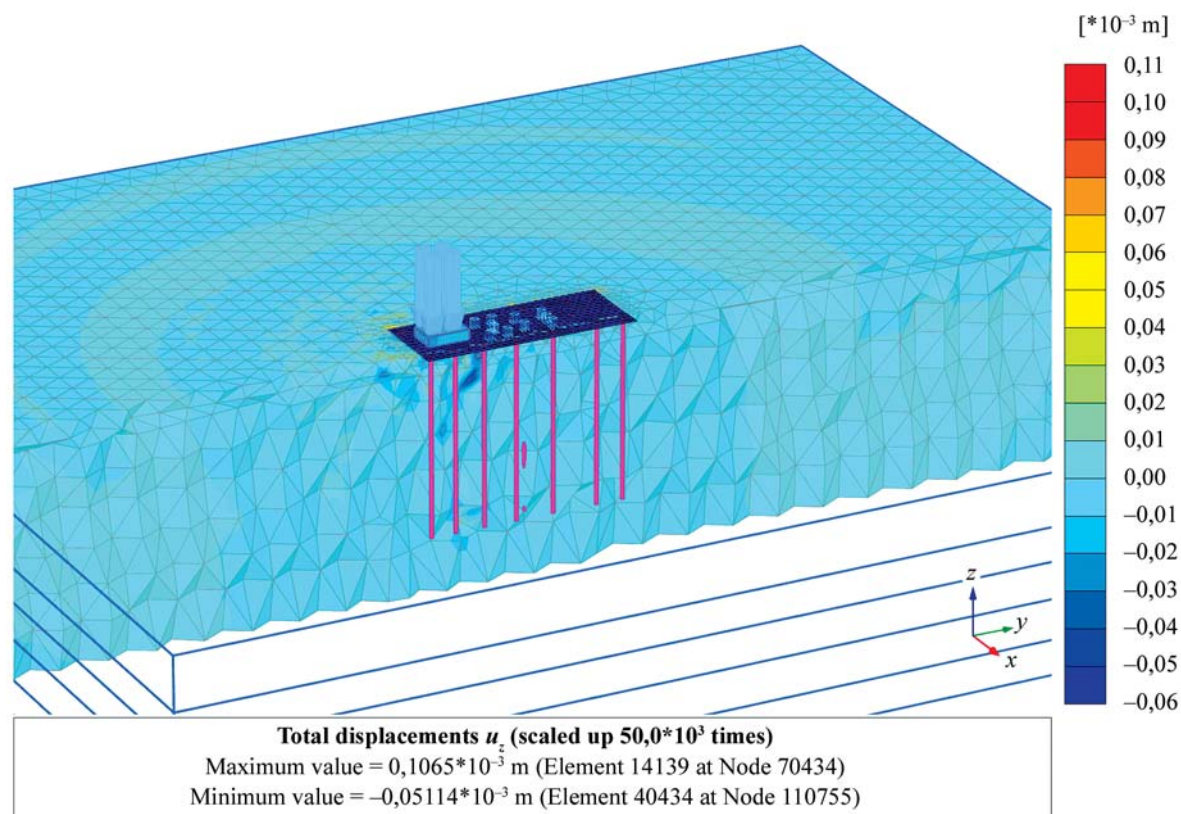


Fig. 9. Isopoles of vertical displacements at the stage of dynamic loads application

RESEARCH RESULTS

Comparison of the calculation according to the model “aggregate – baseplate – pile foundation” (dynamic calculation of the baseplate and static calculation of the pile foundation) with the calculation according to the model “aggregate – pile foundation” (dynamic and static calculation of the pile foundation) has been carried out.

The calculations demonstrated that the vibration level on the bottom slab of the structure and on the pile caps is many times (40 times) less than the level of 2 mm/s, at which it is necessary to take into account the reduction of the bearing capacity of the foundation itself and the neighbouring foundations.

In general, the calculations showed that the static deformations (settlement, deflections, and rolls) of the foundations of the two compared structures meet the normative requirements and the requirements of the turbine unit manufacturers.

For the model “unit – baseplate – pile foundation” the maximum level of vibration velocities at operating frequency in the turbine unit installation area is 0.59 mm/s. The normative limit set by the manufacturer (1 mm/s) is not exceeded. In the case of the model “unit – pile foundation” there is no “damping” of vibrations, which can negatively affect both the foundation and the surrounding building.

CONCLUSION AND DISCUSSION

As a result of the study, it was found that the use of dampers and a complex structure consisting of a slab with rigidly embedded piles and a slab on which the machines rest. Due to the complex geological conditions (the presence of soils with thixotropic properties and waterlogged soils, deep occurrence of “operable” layers, the location of the turbine unit foundation inside the main building, where other massive foundations for equipment are also provided, such as foundations for waste heat boilers, the presence of a complex structure of the main building with several mobile cranes of large lifting capacity), and also taking into account that the station is located in the center of St. Petersburg, it is necessary to prevent dynamic and static impact both on the existing buildings and on the main building with all auxiliary buildings and structures of the thermal power plant. Taking into account the cost and volumes of the compared foundations, it is concluded that the alternative design is much cheaper, but, correlating all the risks, one should favour the design option consisting of upper and lower solid slabs “connected” by dampers.

Consequently, combining the bottom and top slabs in one structure into a more comprehensible structure (in the study conducted, it is a pile-and-slab foundation) and completely abandoning the installation of vibration isolators is inappropriate and dangerous for the structure under consideration.

REFERENCES

1. Mangushev R.A., Osokin A.I., Sotnikov S.N. *Geotechnics of St. Petersburg. Experience in construction on soft soils : monograph*. Moscow, ASV Publishing House, 2018; 386. (rus.).
2. Stupnikov V.S., Danchuk E.M., Cherkasova L.I. Thixotropy of clay soils. *International Journal of Applied Sciences and Technology Integral*. 2020; 1:2. EDN ZQOUGR. (rus.).
3. Pozdnyakov V.A., Pakhomov V.E., Korolev V.A. Thixotropy of clay soils. *Modern prospects for the development of flexible production systems in industrial civil engineering and agro-industrial complex : collection of scientific articles of the All-Russian Scientific and Technical Conference of Young Scientists, Postgraduate Students, Masters and Bachelors*. 2023; 294-297. EDN IIDUCS. (rus.).
4. Kapustin V.V., Vladov M.L., Voznesensky E.A., Volkov V.A. Assessment of the impact of vibration loads on soil massifs. *Problems of Engineering Seismology*. 2022; 49(4):155-170. DOI: 10.21455/VIS2022.4-11. EDN JXFBLN. (rus.).
5. Ren Y., Yang S., Andersen K.H., Yang Q., Wang Y. Thixotropy of soft clay : a review. *Engineering Geology*. 2021; 287:106097. DOI: 10.1016/j.enggeo.2021.106097
6. Bhattacharya S. Analysis and design of tabletop foundation for turbine generators. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2019; 1:3-17. DOI: 10.1007/978-981-13-0362-3_1
7. *Concrete Foundations for Turbine Generators: Analysis*. 2018. DOI: 10.1061/9780784414927
8. Ter-Martirosyan A.Z. et al. *Fundamentals of numerical modeling in soil mechanics and geotechnics : educational manual*. Moscow, MISI-MGSU, 2020; 90. (rus.).
9. Abelev M.Yu., Abeleva A.M., Averin I.V., Chunyaev D.Yu. *Construction of structures that transfer multiple repeated loads to foundation foundations : textbook*. Moscow, ASV, 2023; 94. EDN IQPCXL. (rus.).
10. Voznesensky E.A. *Behavior of soils under dynamic loads : textbook*. Moscow, Publishing house of Moscow State University, 2017; 190-202. (rus.).
11. Mashchenko A.V., Ponomarev A.B., Sychkina E.N. *Special methods of soil mechanics and rock mechanics : textbook*. Perm, Publishing house of the Perm National Research Polytechnic University, 2014; 56-60. (rus.).
12. Trofimov V.T., Korolev V.A., Voznesensky E.A. *Soil science*. Moscow, Publishing house of Moscow State University, 2015; 538-546. (rus.).
13. Osipov V.I. *The nature of strength and deformation properties of clayey soils*. Moscow, Publishing house of Moscow State University, 2019; 232. (rus.).
14. Seed H.B., Idriss I.M. *Ground motions and soil liquefaction during earthquakes*. Oakland, CA., Earthquake Engineering Research Institute Monograph, 2015.
15. Sokolova O.V. The selection of soil models parameters in Plaxis 2D. *Magazine of Civil Engineering*. 2014; 4(48):10-16. DOI: 10.5862/MCE.48.2. EDN SF0UPH. (rus.).
16. Shiryayeva M.P., Krivonos E.A. Classification of soil foundation models. *Electronic network polythematic journal "Scientific Works of KubSTU"*. 2014; 3:18-25. EDN TGILJV. (rus.).
17. Kurguzov K.V., Fomenko I.K. Constitutive mathematical soil models in geotechnical practice. Review. *Natural and Technical Sciences*. 2019; 5(131):240-247. DOI: 10.25633/ETN.2019.05.04. EDN KGJTQF. (rus.).
18. Kolesnikov A.O., Popov V.N., Kostiuk T.N. Evaluation of the pile interaction at vertical vibrations of foundation. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2020; 16(3):209-218. DOI: 10.22363/1815-5235-2020-16-3-209-218. EDN QKFKCU. (rus.).

Received May 21, 2024.

Adopted in revised form on May 28, 2024.

Approved for publication on May 28, 2024.

B I O N O T E S : Nadezhda S. Nikitina — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Soil Mechanics and Geotechnics of the Institute of Hydraulic and Energy Construction; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; nsnikitina@mail.ru;

Anastasia E. Bezgribelnaya — student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; engineer 3rd category of construction department; **Teploelektroproekt Institute**; build. 1, 2a Spartakovskaya st., Moscow, 105066, Russian Federation; bezgribelnaya@bk.ru.

Contribution of the authors: all authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare no conflicts of interest.

Развитие спортивной инфраструктуры в Российской Федерации

Софья Владимировна Качанова

Федеральное казначейство; г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Целью исследования является разработка мероприятий по повышению целевых показателей в сфере строительства спортивной инфраструктуры в Российской Федерации путем совершенствования государственного финансового контроля на этапе планирования. Предмет исследования — объекты спортивной инфраструктуры в рамках реализации государственной программы (ГП) «Развитие физической культуры и спорта», также рассматриваются факторы, влияющие на развитие спортивной среды в Российской Федерации. Приводится оценка состояния спортивной инфраструктуры в России в рамках реализации государственной программы «Развитие физической культуры и спорта».

Материалы и методы. Анализируются качественные и количественные показатели состояния спортивной инфраструктуры в РФ.

Результаты. Исследуются проблемы задержки реализации ГП, предложены мероприятия по снижению риска сроков сдачи объектов спортивной инфраструктуры в РФ.

Выводы. Проведенный анализ позволил выявить факторы, препятствующие достижению целевых показателей в реализации ГП, сформулировать рекомендации, способствующие повышению эффективности при планировании и реализации объектов спортивной инфраструктуры. Предложенные рекомендации содействуют повышению использования средств федерального бюджета, а также направлены на создание эффективной системы осуществления внутреннего государственного финансового контроля в РФ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: национальные цели, целевые показатели, государственная программа, мероприятия ГП, развитие спорта в Российской Федерации, объекты спортивной инфраструктуры

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Качанова С.В. Развитие спортивной инфраструктуры в Российской Федерации // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. Вып. 2. С. 66–74. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.66-74

Автор, ответственный за переписку: Софья Владимировна Качанова, sofiakachanova00@mail.ru.

Development of sports infrastructure in the Russian Federation

Sofya V. Kachanova

Federal Treasury; Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The study focuses on the development of measures to improve the target indicators in the field of sports infrastructure construction in the Russian Federation by improving the state financial control at the planning stage. The object of the research is sports infrastructure facilities within the framework of the implementation of the state programme "Development of Physical Culture and Sports" (hereinafter — SP), and the factors affecting the development of sports environment in the Russian Federation are considered. An assessment of the state of sports infrastructure in Russia, within the framework of the implementation of the state programme "Development of Physical Culture and Sports" is given.

Materials and methods. The study is based on the analysis of qualitative and quantitative indicators of the state of sports infrastructure in the Russian Federation.

Results. The problems of delays in the implementation of state programmes are highlighted, as well as measures to reduce the risk of the deadlines for the commissioning of sports infrastructure facilities in the Russian Federation are proposed.

Conclusions. The analysis allowed to identify factors that hinder the achievement of targets in the implementation of state programmes, as well as to formulate recommendations to improve efficiency in the planning and implementation of sports infrastructure facilities.

KEYWORDS: national goals, target indicators, state programme, SP measures, development of sports in the Russian Federation, sports infrastructure facilities

FOR CITATION: Kachanova S.V. Development of sports infrastructure in the Russian Federation. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2024; 14(2):66-74. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.66-74

Corresponding author: Sofya V. Kachanova, sofiakachanova00@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно Конституции, Российская Федерация является социально ориентированным государством, политика которого направлена на создание условий, обеспечивающих достойную жизнь и свободное развитие человека. В соответствии с этим Президентом РФ подписан Указ от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года».

В этом Указе установлены национальные цели развития РФ на период до 2030 г.:

- сохранение населения, здоровье и благополучие людей;
- возможности для самореализации и развития талантов;
- комфортная и безопасная среда для жизни;
- достойный, эффективный труд и успешное предпринимательство;
- цифровая трансформация¹.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассмотрим более подробно национальную цель «Сохранение населения, здоровье и благополучие людей», достижение которой определено следующими целевыми показателями:

- 1) обеспечение устойчивого роста численности населения РФ;
- 2) повышение ожидаемой продолжительности жизни до 78 лет;
- 3) снижение уровня бедности в два раза по сравнению с показателем 2017 г.;
- 4) увеличение доли граждан, систематически занимающихся физической культурой и спортом, до 70 %.

В рамках достижения заданных показателей федеральные органы исполнительной власти разрабатывают и реализуют государственные программы, которые впоследствии утверждает Правительство РФ.

Государственные программы включают подпрограммы, содержащие ряд отдельных мероприятий, направленных на повышение качества жизни и здоровья населения.

С 2021 г. в рамках достижения одного из целевых показателей на сегодняшний день в РФ реализуется государственная программа «Развитие физической культуры и спорта», утвержденная Постановлением Правительства от 30.09.2021 № 1661².

¹ О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года : Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474.

² Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие физической культуры и спорта» и о признании утратившими силу некоторых актов и отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации (с изменениями и дополнениями) : Постановление Правительства Российской Федерации от 30.09.2021 № 1661.

Целью указанной программы выступает создание для всех категорий и групп населения условий для занятий физической культурой и массовым спортом, в том числе повышение уровня обеспеченности населения объектами спорта, а также подготовка спортивного резерва и рост конкурентоспособности российского спорта на международной арене.

Учитывая, что одним из приоритетных направлений реализации этой программы является доведение доли граждан, регулярно занимающихся спортом, до 70 %, в субъектах РФ активно ведутся работы по строительству и реконструкции объектов спортивной инфраструктуры, а также по созданию «умных» спортивных площадок, предназначенных для повышения доступности занятий спортом для населения [1, 2].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На сегодняшний день современную спортивную инфраструктуру РФ составляют различные объекты капитального строительства (ОКС) и сооружения, предназначенные для занятий физической культурой и спортом.

Ключевыми аспектами этих объектов служат их общедоступность и безвозмездный характер предоставления для широких слоев населения.

В числе основных элементов спортивной инфраструктуры страны можно выделить:

- стадионы, спортивные арены и физкультурно-оздоровительные комплексы;
- учебно-тренировочные базы, спортивные школы и училища;
- лыжные, биатлонные и горнолыжные комплексы;
- велодромы, автодромы, ипподромы и другие специализированные объекты;
- спортивные площадки; залы, предназначенные как для индивидуальных, так и массовых занятий спортом.

Строительство и модернизация такой разветвленной сети спортивных сооружений позволяет населению выбирать наиболее интересный и доступный вид спорта, при этом снижается загруженность уже имеющихся спортивных объектов, вследствие чего повышается вовлеченность граждан в занятия спортом, что является одной из приоритетных задач государственной политики [3–9].

Оценка состояния спортивной инфраструктуры за период 2018–2020 гг. представлена в табл. 1.

В период 2018–2020 гг. наблюдается положительная динамика роста количества спортивных объектов, а также загруженности объектов, в связи с чем потребность в увеличении объектов спортивной инфраструктуры увеличивается, что свидетельствует о заинтересованности граждан в занятии физической культурой и спортом.

Табл. 1. Оценка состояния спортивной инфраструктуры

Показатель	2018	2019	2020
Количество спортивных сооружений, ед.	334 500	338 700	344 700
Загруженность спортивных сооружений, %	65	67	70
Количество введенных в эксплуатацию спортивных объектов, ед.	2100	2300	2400
Доля населения, систематически занимающегося спортом, %	43,8	45,4	47,2

Тем не менее показатель обеспеченности спортивными сооружениями пока отстает от нормативов, а доля систематически занимающихся спортом не достигает целевого значения [6].

Для дальнейшего развития спортивной инфраструктуры и увеличения охвата населения занятиями спортом необходимо наращивать темпы строительства и модернизации спортивных объектов, а также активно пропагандировать здоровый образ жизни.

Динамика реализации государственной программы «Развитие физической культуры и спорта» за период 2021–2022 годов приведена в табл. 2.

Анализ табл. 2 показывает, что в первый год реализации государственной программы из 47 планировавшихся к сдаче объектов спортивной инфраструктуры были реализованы только 37, что составляет 78 %.

Аналогичная ситуация отмечена в 2022 г.: из 166 планируемых к вводу объектов были введены 108, что составило 65 %, и показывает отрицательный рост на 13 % в сравнении с предыдущим годом.

Показатель обеспеченности спортивными сооружениями пока отстает от нормативов, а доля систематически занимающихся спортом не достигает целевого значения.

Этот факт несет риски снижения эффективности реализации государственной программы «Развитие физической культуры и спорта», а также отклонение от достижения целевого показателя, определенного Указом Президента РФ от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года».

В ходе анализа рассматриваемой проблемы были выявлены основные причины, повлиявшие на отклонение от плановых показателей по благоустройству спортивной инфраструктуры.

1. В ряде субъектов РФ установлены факты завышения стоимости работ по строительству (реконструкции, модернизации) объектов спорта. Кроме того, выявлена оплата фактически невыполненных работ по таким объектам, что влияет на несвоевременное завершение строительства объектов и ввод их в эксплуатацию.

2. При реализации строительства часть субъектов РФ систематически предоставляет недостоверную отчетность о своевременном завершении строительства объектов спорта, что свидетельствует об отсутствии контроля со стороны главного распорядителя бюджетных средств и исполнительных органов власти субъектов РФ, а также о низком уровне контроля со стороны органов внешнего и внутрен-

Табл. 2. Выполнение программы «Развитие физической культуры и спорта» в РФ (число объектов)

Наименование мероприятия	Плановое значение	Фактическое значение
<i>2021 год</i>		
Совершенствование спортивной инфраструктуры и материально-технической базы для занятий физической культурой и массовым спортом, в том числе на территории Дальнего Востока	5	3
Построены и введены в эксплуатацию объекты спорта региональной (муниципальной) собственности	39	32
Построены и введены в эксплуатацию объекты спорта в рамках реализации федеральной целевой программы «Развитие физической культуры и спорта в Российской Федерации на 2016–2020 гг»	3	2
<i>2022 год</i>		
Построены и введены в эксплуатацию (приобретены) объекты для массового спорта	6	2
Построены и введены в эксплуатацию объекты спорта региональной (муниципальной) собственности	119	69
Совершенствование спортивной инфраструктуры и материально-технической базы для развития хоккея	1	1
Созданы «умные» спортивные площадки	40	36

него государственного финансового контроля за реализацией государственной программы и федеральных проектов, входящих в ее состав³.

Одним из ключевых мероприятий государственной программы является создание «умных» спортивных площадок.

Понятие «умной» спортивной площадки подразумевает объект спортивной инфраструктуры, который наделен возможностью подключения к бесплатной точке доступа сети интернет. Помимо этого, на каждом тренажере имеется специальный QR-код, с помощью которого можно получить рекомендации по тренировке, а также узнать новые способы использования спортивного инвентаря.

Данные площадки были созданы для повышения вовлеченности граждан в занятия спортом посредством возможности потребителю получить качественную тренировку, не требующую присутствия персонального тренера.

3. Нельзя обойти стороной проблему планирования при создании и монтаже «умных» спортивных площадок, которые были созданы на территориях общеобразовательных учреждений, что в свою очередь исключает возможность общедоступного пользования ими.

Таким образом, замедление темпов создания объектов, позволяющих населению регулярно заниматься спортом, снижает достижение целевых показателей по государственной программе «Развитие физической культуры и спорта».

Помимо этого, вследствие невозможности организации непрерывного тренировочного процесса спортивных сборных команд различных уровней на территории РФ возникает необходимость организации такого процесса за пределами территории страны и, как следствие, к дополнительным расходам средств из бюджетной системы РФ.

³ Доклад Генеральной прокуратуры Российской Федерации. URL: <https://epp.genproc.gov.ru/web/gprf/documents?item=949754104>

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализируя указанные проблемы, можно предложить следующие пути их решения.

Во избежание завышения стоимости работ необходимо организовать многоуровневый процесс согласования стоимости ОКС. На сегодняшний день согласование смет ОКС за счет средств федерального бюджета осуществляется в виде положительного заключения Федерального автономного учреждения «Главное управление государственной экспертизы», подведомственного Министерству строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. При этом в целях объективного и всестороннего анализа сметы следует наделить соответствующими полномочиями органы внутреннего государственного контроля, а также рассмотреть вопрос применения расширенного казначейского сопровождения, которое снизит риск оплаты фактически невыполненных работ в ходе реализации ОКС.

При нивелировании проблем, связанных с предоставлением недостоверных отчетностей, необходимо усилить контроль со стороны органов государственного финансового контроля не только на федеральном уровне, но и на уровне субъектов и муниципальных образований [4, 10–20].

При планировании объектов спортивной инфраструктуры требуется учитывать внешние факторы, влияющие на качество предоставляемых общественных благ.

В заключение следует подчеркнуть, что решение проблем, связанных с недостижением плановых показателей строительства объектов спортивной инфраструктуры, в настоящий момент является актуальным. Кроме того, при выполнении поставленных пообъектных задач будет достигнута основная глобальная цель — повышение процента граждан, занимающихся спортом, до 70 %.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Афанасьева О.Н., Бортникова Е.А., Минабаева А.М. Актуальные аспекты применения риск-ориентированного подхода при разработке и реализации государственных программ Российской Федерации // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 92–4. С. 42–47. DOI: 10.18411/trnio-12-2022-164. EDN HCFYSV.

2. Алиев А.М. Аналитический обзор государственной программы Российской Федерации «Развитие физической культуры и спорта» // Экономика и управление в спорте. 2022. Т. 2. № 3. С. 201–210. DOI: 10.18334/sport.2.3.119711. EDN DARZQK.

3. Зайцев Р.В. Развитие механизма оценки эффективности государственных программ Российской Федерации: проблемы и пути решения // XXXVI Междунар. Плехановские чтения : сб. ст. участников конф. 2023. С. 232–236. EDN KZZVZY.

4. Манусаджян О.В., Клишина М.А., Бараховский А.С. Анализ опыта построения системы управления государственными программами в субъектах Российской Федерации // Актуальные вопросы современной экономики. 2023. № 11. С. 695–706. EDN ENHUHD.

5. Джумартова Ш.П.К., Намитулина А.З., Ажмуратова М.А. Оценка эффективности госу-

дарственного финансового контроля за расходами на реализацию государственных программ Российской Федерации // Самоуправление. 2023. № 3 (136). С. 260–262. EDN UUEBDN.

6. Солодова Е.А. Новая система управления государственными программами в Российской Федерации // Интерактивная наука. 2024. № 3 (89). С. 100–101. DOI: 10.21661/r-561917. EDN HJGDJO.

7. Латыпова Г.С. Вопросы контроля финансовой дисциплины при исполнении госконтрактов сфере строительства // Финконтроль. 2022. № 3 (29). С. 68–74. EDN YAFVTJ.

8. Скобликова Т.В. Стратегические ресурсы вовлечения населения в занятия физической культурой и спортом — развитие спортивной инфраструктуры // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2023. № 1 (215). С. 470–474. DOI: 10.34835/issn.2308-1961.2023.01.p470-474. EDN HGXEJN.

9. Иванов С.А., Минина В.Н. Проблемы обеспеченности муниципальных образований инфраструктурой для занятия населения физкультурой и спортом // Журнал правовых и экономических исследований. 2023. № 3. С. 269–274. DOI: 10.26163/GIEF.2023.17.32.039. EDN RDTZIC.

10. Одинцова В.И., Одинцова Л.А., Чуб С.А. Исследование по проблеме физической активности населения России // Russian Journal of Education and Psychology. 2024. Т. 15. № 1–2. С. 302–308. EDN TGEXDN.

11. Черкасов В.С. Проблемы регулирования правового режима использования объектов спорта в Российской Федерации // The Newman in Foreign Policy. 2022. Т. 4. № 67 (111). С. 25–28. EDN XFGDFX.

12. Griffe S. La résilience numérique, un sport d'équipe, et une affaire de bon sens // Revue Défense

Nationale. 2022. Vol. 855. Issue 10. Pp. 29–36. DOI: 10.3917/rdna.855.0029

13. Racek O. ŠTĚDRŇ, Bohumír a kol.: Manažerské rozhodování a sport // Ekonomický Časopis. 2022. Vol. 70. Issue 1. Pp. 94–95. DOI: 10.31577/ekonom.2022.01.06

14. D'ambrosio C., Clark A.E. Economic Insecurity and Health // Revista Hacienda Pública Española. 2023. Vol. 247. Issue 4. Pp. 69–89. DOI: 10.7866/hpe-rpe.23.4.3

15. Jindrová P., Labudová V. The impact of socio-economic and demographic determinants on self-perceived health // E+M Ekonomie a Management. 2020. Vol. 23. Issue 4. Pp. 68–88. DOI: 10.15240/tul/001/2020-4-005

16. Raabe R., Sander Ch.J., Schneider A. Public goods and diversity in democracies and non-democracies // Kyklos. 2024. DOI: 10.1111/kykl.12374

17. Buchholz W., Rübhelke D. Improving Public Good Supply and Income Equality: Facing a Potential Trade-Off // FinanzArchiv. 2023. Vol. 79. Issue 2. P. 146. DOI: 10.1628/fa-2023-0006

18. Vasilev P. Audit Opinions in the Public Sector: Nature and Types // Социально-экономически анализи. 2022. Т. 13. № 2. С. 260–269. DOI: 10.54664/ruhx1309. EDN FGGWDA.

19. Ionin Ye. Accounting and analytical support of business processes in the conditions of the digital economy // Економічний аналіз. 2023. № 33 (1). С. 172–179. DOI: 10.35774/econa2023.01.172. EDN PSCVVL.

20. Tsonkova V. Sustainable Finance or (R)Evolution of Finance in the Context of Sustainability // Социально-экономически анализи. 2022. Т. 13. № 2. С. 173–187. DOI: 10.54664/nyua5815. EDN FEZPQQ.

Поступила в редакцию 21 мая 2024 г.

Принята в доработанном виде 28 мая 2024 г.

Одобрена для публикации 28 мая 2024 г.

ОБ АВТОРЕ: Софья Владимировна Качанова — контролер-ревизор; Федеральное казначейство; 101000, г. Москва, Большой Златоустинский пер., д. 6, стр. 1; sofia.kachanova00@mail.ru.

INTRODUCTION

According to the Constitution, the Russian Federation is a socially oriented state whose policy is aimed at creating conditions ensuring a decent life and free development of the individual. Accordingly, the President of the Russian Federation signed Decree No. 474 of 21.07.2020 “National development goals of the Russian Federation for the period up to 2030”.

This Decree establishes the national development goals of the Russian Federation for the period until 2030:

- population conservation, human health and well-being;
- opportunities for self-realization and talent development;
- comfortable and safe living environment;
- decent, efficient labour and successful entrepreneurship;
- digital transformation¹.

¹ On the national development goals of the Russian Federation for the period up to 2030 : Decree of the President of the Russian Federation dated 07.21.2020 No. 474.

MATERIALS AND METHODS

Let us take a closer look at the national goal “Population Conservation, Health and Human Well-being”, the achievement of which is defined by the following targets:

- 1) ensuring sustainable growth of the Russian Federation population;
- 2) increasing life expectancy to 78 years;
- 3) halving the poverty rate compared to the 2017 figure;
- 4) increasing the share of citizens systematically engaged in physical culture and sports up to 70 %.

Within the framework of achieving the set indicators, federal executive authorities develop and implement state programmes, which are subsequently approved by the Government of the Russian Federation.

State programmes include subprogrammes containing a number of individual activities aimed at improving the quality of life and health of the population.

Since 2021, within the framework of achieving one of the target indicators to date in the Russian Federation the state programme “Development of Physical Culture and Sports” approved by the Government Decree of 30.09.2021 No. 1661².

The aim of this programme is to create conditions for all categories and groups of the population to engage in physical culture and mass sports, including increasing the level of provision of sports facilities for the population, as well as training a sports reserve and increasing the competitiveness of Russian sports in the international arena.

Given that one of the priorities of this programme is to bring the share of citizens who regularly engage in sports to 70 %, the constituent entities of the Russian Federation are actively working on the construction and reconstruction of sports infrastructure facilities, as well as on the creation of “smart” sports grounds designed to increase the accessibility of sports activities for the population [1, 2].

² On the approval of the state program of the Russian Federation “Development of physical culture and sports” and on the invalidation of certain acts and certain provisions of certain acts of the Government of the Russian Federation (with amendments and additions) : Decree of the Government of the Russian Federation dated 30.09.2021 No. 1661.

RESEARCH RESULTS

Today, the modern sports infrastructure of the Russian Federation consists of various capital construction facilities (CCF) and facilities designed for physical culture and sports.

The key aspects of these facilities are their public accessibility and the gratuitous nature of their provision to the general public.

The main elements of the country’s sports infrastructure include:

- stadiums, sports arenas and fitness centres;
- training centres, sports schools and colleges;
- ski, biathlon and alpine skiing centres;
- velodromes, driving ranges, racecourses and other specialized facilities;
- sports grounds; halls designed for both individual and mass sports activities.

The construction and modernization of such an extensive network of sports facilities allows the population to choose the most interesting and accessible type of sport, while reducing the workload of existing sports facilities, thus increasing the involvement of citizens in sports, which is one of the priorities of public policy [3–9].

The assessment of the state of sports infrastructure for the period 2018–2020 is presented in Table 1.

In the period 2018–2020, there is a positive trend of growth in the number of sports facilities, as well as the workload of facilities, so the need for an increase in sports infrastructure facilities is increasing, which indicates the interest of citizens in engaging in physical culture and sports.

Nevertheless, the indicator of provision with sports facilities still lags behind the norms, and the share of systematically engaged in sports does not reach the target value [6].

In order to further develop sports infrastructure and increase sports coverage, it is necessary to increase the pace of construction and modernization of sports facilities and actively promote a healthy lifestyle. To further develop sports infrastructure and increase sports coverage, it is necessary to increase the pace of construction and modernization of sports facilities and actively promote healthy lifestyles.

The dynamics of implementation of the state programme “Development of Physical Culture and Sports” for the period 2021–2022 is shown in Table 2.

Table 1. Assessment of the state of sports infrastructure

Indicator	2018	2019	2020
Number of sports facilities, units	334,500	338,700	344,700
Utilisation of sports facilities, %	65	67	70
Number of commissioned sports facilities, units	2,100	2,300	2,400
Share of population systematically engaged in sports, %	43.8	45.4	47.2

Table 2. Implementation of the programme “Development of Physical Culture and Sports” in the Russian Federation (number of facilities)

Name of the event	Target value	Actual value
<i>2021</i>		
Improvement of sports infrastructure and material and technical base for physical culture and mass sports, including in the Far East	5	3
Regional (municipal) sports facilities were built and put into operation	39	32
Sports facilities were built and commissioned as part of the federal target programme “Development of Physical Culture and Sports in the Russian Federation for 2016–2020”	3	2
<i>2022</i>		
Mass sports facilities were built and put into operation (purchased)	6	2
Regional (municipal) sports facilities were built and put into operation	119	69
Improvement of sports infrastructure and material and technical base for hockey development	1	1
Smart sports grounds were created	40	36

The analysis of Table 2 shows that in the first year of the state programme only 37 out of 47 planned sports infrastructure facilities were completed, which is 78 %.

A similar situation was observed in 2022: out of 166 planned facilities, 108 were commissioned, which is 65 % and shows a negative growth of 13 % compared to the previous year.

The indicator of provision with sports facilities is still lagging behind the norms, and the share of systematically engaged in sports does not reach the target value.

This fact carries risks of reducing the effectiveness of the implementation of the state programme “Development of Physical Culture and Sports”, as well as deviation from the achievement of the target indicator defined by the Decree of the President of the Russian Federation of 21.07.2020 No. 474 “National development goals of the Russian Federation for the period up to 2030”.

In the course of analyzing the problem under consideration, the main reasons that influenced the deviation from the planned indicators for the improvement of sports infrastructure were identified.

1. In a number of constituent entities of the Russian Federation, the facts of overestimation of the cost of construction (reconstruction, modernization) of sports facilities have been established. In addition, payment for work not actually performed on such facilities has been revealed, which affects the late completion of construction of facilities and their commissioning.

2. During the implementation of construction, part of the RF subjects systematically provides unreliable reporting on the timely completion of construction of sports facilities, which indicates the lack of control on the part of the chief administrator of budget funds and executive authorities of the RF subjects, as well as the low level of control on the part of external and internal state financial control bodies over the imple-

mentation of the state programme and federal projects included in it³.

One of the key activities of the state programme is the creation of smart sports grounds.

The concept of a “smart” sports ground implies an object of sports infrastructure, which has an opportunity to connect to a free internet access point. In addition, each simulator has a special QR code, with the help of which it is possible to get recommendations on training and to learn new ways of using sports equipment.

These sites were created to increase citizen involvement in sports by allowing consumers to get a quality workout that does not require the presence of a personal trainer.

3. One cannot avoid the planning problem in the creation and installation of “smart” sports grounds, which were created on the territories of general education institutions, which in turn excludes the possibility of public use of them.

Thus, the slowdown in the creation of facilities that allow the population to engage in regular sports activities reduces the achievement of the target indicators under the state programme “Development of Physical Culture and Sports”.

In addition, due to the impossibility of organizing the continuous training process of sports teams of various levels on the territory of the Russian Federation, there is a need to organize such a process outside the territory of the country and, as a consequence, to additional expenditures from the budgetary system of the Russian Federation.

CONCLUSION AND DISCUSSION

Analyzing the above problems, we can suggest the following ways to solve them.

³ Report of the Prosecutor General's Office of the Russian Federation. URL: <https://epp.genproc.gov.ru/web/gprf/documents?item=949754104>

To avoid overestimation of the cost of works, it is necessary to organize a multilevel process of approving the cost of CCF. At present, the approval of the cost estimates for the construction and maintenance complexes at the expense of the federal budget is carried out in the form of a positive opinion of the Federal Autonomous Institution “Main Department of State Expertise”, subordinate to the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation. At the same time, for the purpose of objective and comprehensive analysis of the estimates, it is necessary to empower the bodies of internal state control, as well as to consider the application of extended treasury support, which would reduce the risk of payment for the work not actually performed in the course of the implementation of CCF.

In levelling the problems associated with the provision of inaccurate reporting, it is necessary to strengthen the control by state financial control bodies not only at the federal level, but also at the level of subjects and municipalities [4, 10–20].

The planning of sports infrastructure facilities requires consideration of external factors that affect the quality of public goods provided.

In conclusion, it should be emphasized that solving the problems associated with the failure to achieve the planned targets for the construction of sports infrastructure facilities is currently urgent. In addition, the main global goal — to increase the percentage of citizens engaged in sports up to 70 % — will be achieved if the set object-by-object objectives are fulfilled.

REFERENCES

1. Afanas'eva O.N., Bortnikova E.A., Minibaeva A.M. Current aspects of the application of a risk-based approach in the development and implementation of state programs of the Russian Federation. *Trends in the Development of Science and Education*. 2022; 92-4:42-47. DOI: 10.18411/trnio-12-2022-164. EDN HCFYSV. (rus.).
2. Aliev A.M. Analytical review of the state program of the Russian Federation “Physical Education and Sports Development”. *Economics and Management in Sports*. 2022; 2(3):201-210. DOI: 10.18334/sport.2.3.119711. EDN DARZQK. (rus.).
3. Zaitsev R.V. Development of a mechanism for assessing the effectiveness of state programs of the Russian Federation: problems and solutions. *XXXVI International Plekhanov Readings: Collection of articles of conference participants*. 2023; 232-236. EDN KZZVZY. (rus.).
4. Manusadzhjan O.V., Klishina M.A., Barakhovsky A.S. Analysis of the experience in building a management system for state programs in regions of the Russian Federation. *Actual Issues of the Modern Economy*. 2023; 11:695-706. EDN ENHUHD. (rus.).
5. Dzhumartova Sh.R., Namitulina A.Z., Azhuratova M.A. Evaluation of the effectiveness of state financial control over the costs of implementing state programs of the Russian Federation. *Self-government*. 2023; 3(136):260-262. EDN UUEBDN. (rus.).
6. Solodova E.A. New system of state program management in the Russian Federation. *Interactive Science*. 2024; 3(89):100-101. DOI: 10.21661/r-561917. EDN HJGDJO. (rus.).
7. Latypova G.S. Issues of control of financial discipline in the execution of government contracts in the construction sector. *Financial Control*. 2022; 3(29):68-74. EDN YAFVTJ. (rus.).
8. Skoblikova T.V. Strategic resources for involving the population in physical culture and sports — development of sports infrastructure. *Scientific notes of the University named after P.F. Lesgaft*. 2023; 1(215):470-474. DOI: 10.34835/issn.2308-1961.2023.01.p470-474. EDN HGXEJN. (rus.).
9. Ivanov S.A., Minina V.N. On provision of municipal formations with related infrastructure to attract citizens to physical culture and sports. *Journal of Legal and Economic Studies*. 2023; 3:269-274. DOI: 10.26163/GIEF.2023.17.32.039. EDN RDTZIC. (rus.).
10. Odintsova V.I., Odintsova L.A., Chub S.A. Research on the problem of physical activity of the Russian population. *Russian Journal of Education and Psychology*. 2024; 15(1-2):302-308. EDN TGEXDN. (rus.).
11. Cherkasov V.S. Problems of the legal application regime of the sports facilities in the Russian Federation. *The Newman in Foreign Policy*. 2022; 4(67):(111):25-28. EDN XFGDFX. (rus.).
12. Griffe S. La résilience numérique, un sport d'équipe, et une affaire de bon sens. *Revue Défense Nationale*. 2022; 855(10):29-36. DOI: 10.3917/rdna.855.0029
13. Racek O. ŠTĚDRŮŇ, Bohumír a kol.: Manažerské rozhodování a sport. *Ekonomický Časopis*. 2022; 70(1):94-95. DOI: 10.31577/ekoncas.2022.01.06
14. D'ambrosio C., Clark A.E. Economic Insecurity and Health. *Revista Hacienda Pública Española*. 2023; 247(4):69-89. DOI: 10.7866/hpe-rpe.23.4.3
15. Jindrová P., Labudová V. The impact of socioeconomic and demographic determinants on self-perceived health. *E+M Ekonomie a Management*. 2020; 23(4):68-88. DOI: 10.15240/tul/001/2020-4-005
16. Raabe R., Sander Ch.J., Schneider A. Public goods and diversity in democracies and non-democracies. *Kyklos*. 2024. DOI: 10.1111/kykl.12374
17. Buchholz W., Rübhelke D. Improving Public Good Supply and Income Equality: Facing a Potential Trade-Off. *FinanzArchiv*. 2023; 79(2):146. DOI: 10.1628/fa-2023-0006

18. Vasilev P. Audit Opinions in the Public Sector: Nature and Types. *Socio-Economic Analyses*. 2022; 13(2):260-269. DOI: 10.54664/ruhx1309. EDN FGGWDA.

19. Ionin Ye. Accounting and analytical support of business processes in the conditions of the digital

economy. *Economic Analysis*. 2023; 33(1):172-179. DOI: 10.35774/econa2023.01.172. EDN PSCVVL.

20. Tsonkova V. Sustainable Finance or (R) Evolution of Finance in the Context of Sustainability. *Socio-Economic Analyses*. 2022; 13(2):173-187. DOI: 10.54664/nyua5815. EDN FEZPQQ.

Received May 21, 2024.

Adopted in revised form on May 28, 2024.

Approved for publication on May 28, 2024.

B I O N O T E S : **Sofya V. Kachanova** — controller-auditor; **Federal Treasury**; build. 1, 6 Bolshoi Zlatoustinsky Lane, Moscow, 101000, Russian Federation; sofia kachanova00@mail.ru.

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

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 725.4.012

DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.75-94

Устойчивое развитие современных виноделен: приемы и методы в архитектурном проектировании

Асмик Рубеновна Ключко, Татьяна Вячеславовна Шамаева,
Софья Александровна Добычина

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Принципы устойчивой архитектуры все чаще признаются в качестве методологического подхода к созданию современной промышленной архитектуры, в частности зданий виноделен. Учет рельефа, озеленение, применение методов пассивного проектирования, использование возобновляемых источников энергии способствуют устойчивости и меняют общепринятый облик зданий виноделен. Цель исследования — выявление архитектурных методов и приемов проектирования экологически устойчивых современных зданий виноделен.

Материалы и методы. Анализируются и выявляются методы и приемы, применяемые при проектировании современных виноделен, построенных с 2015 г., концепция которых была основана на принципах устойчивого развития. Проектные материалы выбранных примеров зданий получены в открытом доступе Интернет. Проведен обзор литературы для уточнения существующих исследований по теме устойчивого развития виноделен в базах данных Scopus, Web of Science, в научной электронной библиотеке eLibrary. При поиске использовались ключевые слова: архитектура виноделен, устойчивое развитие виноделен, устойчивая архитектура виноделен. Проанализированы соответствующие статьи.

Результаты. Рассмотрены проектные решения зданий современных виноделен, концепция которых основана на стремлении к принципам устойчивого развития. Результаты исследований представлены в виде выявления ряда основных архитектурных методов и приемов повышения устойчивости здания винодельни. Даны рекомендации для проектирования зданий виноделен, которые будут полезны практикующим архитекторам, а также в качестве методологического подхода при экспериментальном проектировании подобных зданий для студентов архитектурных вузов.

Выводы. Изучение научных трудов и проектных материалов современных виноделен, их анализ и сравнение позволили выявить ряд методов, приемов и рекомендаций, позволяющих развивать устойчивость архитектуры винодельческих предприятий. Долгосрочная экономия на эксплуатации, которую обеспечивает каждый из выявленных методов, компенсирует первоначальные затраты на более дорогие решения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: винодельня, винодельческий комплекс, архитектура виноделен, устойчивое развитие виноделен, устойчивая архитектура виноделен

Благодарности. Авторы выражают благодарность редакционной коллегии журнала и анонимным рецензентам за уделенное время и оказанное внимание.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ключко А.Р., Шамаева Т.В., Добычина С.А. Устойчивое развитие современных виноделен: приемы и методы в архитектурном проектировании // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. Вып. 2. С. 75–94. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.75-94

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

Sustainable development of modern wineries: techniques and methods in architectural design

Asmik R. Klochko, Tatiana V. Shamaeva, Sofia A. Dobychina

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

ABSTRACT

Introduction. The principles of sustainable architecture are increasingly being recognized as a methodological approach to modern industrial architecture, particularly winery buildings. Consideration of topography, landscaping, passive design techniques and renewable energy sources contribute to sustainability and change the conventional appearance of winery buildings. The purpose of this paper is to identify architectural methods and techniques for designing sustainable modern winery buildings.

Materials and methods. The paper analyses and identifies the methods and techniques used in the design of modern wineries built since 2015, the concept of which was based on the principles of sustainable development. The design materials of the selected building examples are obtained from the open access Internet. A literature review was conducted to clarify the existing research on the topic of sustainable development of wineries in the databases Scopus, Web of Science, in the scientific electronic eLibrary. The keywords "winery architecture", "sustainable winery development" and "sustainable winery architecture" were used in the search. Relevant papers were analyzed.

Results. Design solutions of modern winery buildings, the concept of which is based on the pursuit of sustainable development principles, are considered. The results of the research are presented in the form of identifying a number of basic architectural methods and techniques for improving the sustainability of a winery building. Recommendations for the design of winery buildings are given, which will be useful for practicing architects, and as a methodological approach in the experimental design of such buildings for students of architectural universities.

Conclusions. The study of scientific papers and design materials of modern wineries, their analysis and comparison allowed us to identify a number of methods, techniques and recommendations to develop the sustainability of winery architecture. Long-term operational savings provided by each of the identified methods compensate for the initial costs of more expensive solutions.

KEYWORDS: winery, winery complex, winery architecture, sustainable wineries, sustainable winery architecture

Acknowledgements. The authors would like to thank the journal's editorial board and anonymous reviewers for their time and attention.

FOR CITATION: Klochko A.R., Shamaeva T.V., Dobychina S.A. Sustainable development of modern wineries: techniques and methods in architectural design. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2024; 14(2):75-94. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.75-94

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

ВВЕДЕНИЕ

В 2015 г. на заседании, касающемся вопросов устойчивого развития на период до 2030 г., членами Организации Объединенных Наций сформулированы и приняты 17 мировых целей устойчивого развития для «мира и процветания для людей и планеты».

Промышленная архитектура, основанная на рациональной, логичной и рентабельной идее строительства зданий, всегда была близка к основной концепции устойчивости. Но сложилось твердое мнение, что промышленные предприятия загрязняют природу и нарушают не только биоразнообразие, но и эстетический облик окружающей среды. Поэтому принципы устойчивой архитектуры все чаще признаются в качестве методологического подхода к созданию современной промышленной архитектуры, в частности зданий виноделен.

С точки зрения современных целей устойчивого развития устойчивость промышленной архитектуры следует рассматривать как: строительство промышленных объектов на основе интеллектуального городского планирования, которое создает безопасные, доступные по цене и жизнестойкие города; поиск инновационных архитектурных решений и технологий (от архитектурной концепции до строительства здания), а также включение идей вторичной переработки и сокращения отходов на этапе строительства и эксплуатации. Промышленная архитектура стремится включить эти задачи в этап концептуального проектирования, возлагая часть

ответственности за экологичность на архитектурные решения. Это привело к появлению проектных решений, которые раздвигают границы типичной промышленной архитектуры, сочетая новые и долгосрочные задачи устойчивого развития с современной эстетикой зданий.

Экологический аспект устойчивости в промышленной архитектуре особенно важен в процессе проектирования современных виноделен.

Винодельня сегодня — это не только место производства винных продуктов, но и место туристического притяжения, включающее торговую и развлекательную функции, а также результат архитектурной фантазии, совмещающий в себе традиционность ремесла и современные тенденции архитектурного проектирования [1–3].

За последние 40 лет здания виноделен стали распространяться по всему миру, предпосылками к чему послужили глобальный рост мирового туризма, повышение конкуренции в сфере создания винных напитков, внедрение новых технологий производства, появление «моды на авторские винодельни» и др.

Строительство виноделен в гармонии с природой, в согласии с концепциями устойчивого развития, стало особенно популярным с начала XXI в., когда винная промышленность вышла на мировой рынок и начал развиваться винный туризм.

Внедрение методов устойчивого развития позволяет в значительной мере снижать показатели потребления электроэнергии, сырья и питьевой

воды, производства отходов, выделения парниковых газов. Движимые желанием защитить природные ресурсы, улучшить отношение общества к производству вина, а также ощутимо сэкономить свои средства, производители винограда всерьез внедряют методы устойчивого развития в архитектурные решения объектов на протяжении последнего десятилетия [4, 5].

Независимо от того, строится ли новое здание винодельни или реконструируется существующее предприятие, методы устойчивой архитектуры винодельни возглавляют список внедряемых практик в современные решения виноделен. Стимулы для владельцев винодельни к бережному отношению окружающей среды столь же социально ответственны, сколь и финансово выгодны.

Необходимость обеспечения экологической устойчивости при проектировании виноделен побудила многих архитекторов создавать уникальные архитектурные решения, объединяющие в себе функциональность, эффективность и минимальное воздействие на окружающую среду, пополнив мировую «копилку» уникальных архитектурных объектов. Сегодня в мире можно встретить предприятия винодельческой промышленности, представляющие собой образцы самобытной архитектуры, что вызывает интерес.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Чтобы объективно описать тенденции развития архитектуры современных виноделен и экологические приемы и методы, применяемые при их проектировании, проанализированы архитектурные решения зданий современных виноделен, включающие зарубежные и отечественные производства, построенные не раньше 2015 г., концепция которых была полностью основана на стремлении к принципам устойчивого развития.

Проектные материалы выбранных примеров зданий находятся в открытом доступе Интернет.

Цель исследования — выявление архитектурных методов и приемов проектирования экологически устойчивых современных зданий виноделен.

Проведен обзор литературы для уточнения современных существующих исследований, касающихся вопросов устойчивого развития в архитектуре современных виноделен. Поиск выполнен в базах данных Scopus и Web of Science, а также в научной электронной библиотеке eLibrary. При поиске использовались ключевые слова: архитектура виноделен, устойчивое развитие виноделен, устойчивая архитектура виноделен. Соответствующие обзорные и исследовательские статьи выбраны для детального анализа. Рассмотренные проекты виноделен отобраны на основе следующих критериев: построены после 2015 г.; концепция разрабо-

тана по принципам устойчивого развития; сертифицированы как экологически устойчивые здания.

Среди проанализированных проектов оказались уникальные здания виноделен, представленные ниже.

Винодельня Veronia, Испания (архитекторы IDOM), 2020 г.

Здание является первым промышленным предприятием по производству вина в Европе, имеющим золотой сертификат LEED в области энергоэффективности и устойчивого дизайна [6]. Производственная зона находится под землей, что позволяет использовать гравитационное падение при производстве вина и естественную температуру почвы для его выдержки. Зона для посетителей располагается на верхнем этаже, интегрирована в окружающую среду благодаря максимальному остеклению с видом на виноградник. Экологическая устойчивость отражается в выборе материалов и технических систем. Здание характеризуется хорошей теплоизоляцией, максимальным применением естественного освещения, фотоэлектрических датчиков, систем пассивной защиты от солнечных лучей, сбора дождевой воды, биомассы и др. (рис. 1).

Винодельня Peralada, Каталония, Испания (архитекторы RCR), 2017 г.

Винодельня (рис. 2) спроектирована в соответствии со стандартами для получения золотого сертификата LEED за экологичность в строительстве. Плавно изогнутый объем здания почти полностью заглублен под землю, историческая часть объекта постройки начала XX в. является общественной гостевой зоной. Часть кровли винодельни озеленена. Здание использует геотермальную энергию, что снижает потребление энергии на отопление и охлаждение воды на треть [6].

Винодельня Carillon d'Angélus в Либуэрне, Франция (архитекторы Architecte DPLG), 2019 г.

Здание винодельни представляет собой баланс между сохранением исторического наследия и внедрением инноваций в связи с необходимостью расширения производственных мощностей старой винодельни (рис. 3). Расположение на территории объекта всемирного наследия ЮНЕСКО накладывало серьезные ограничения на архитектурные решения. Благодаря техническим, экологическим и эстетическим соображениям эта новая винодельня пользуется преимуществами самого современного оборудования.

Винодельческий погреб с 18 перевернутыми чанами усеченной конусообразной формы, подъемной системой и бакоподъемником полностью работает благодаря естественной силе тяжести. Установка, генерирующая азот, обеспечивает защиту вин. Фотоэлектрические панели позволяют самостоятельно вырабатывать часть необходимой электроэнергии [7]. Здание получило сертификат метода экологической оценки зданий BREEAM [8].



Рис. 1. Архитектурные решения винодельни Beronia, Испания (архитекторы IDOM): *a* — часть фасада; *b* — остекление фасада; *c* — экстерьер; *d* — интерьер¹



Рис. 2. Архитектурные решения винодельни Peralada, Каталония, Испания (архитекторы RCR): *a* — вид с птичьего полета; *b* — интерьер производственной зоны; *c* — интерьер хранилища вин; *d* — вид с галерей²

¹ Beronia. URL: beronia.com

² Peralada. URL: perelada.com



a



b



c



d

Рис. 3. Архитектурные решения винодельни Carillon d'Angélus в Либурне, Франция (архитекторы DPLG): a — часть фасада; b — интерьер винодельческого погреба; c — интерьер производственной части; d — экстерьер [7]

Винодельня Cantina Pizzolato в Тревизо, Италия (архитекторы Made Associati), 2017 г.

Винодельня спроектирована в деревенском колорите, соответствующем аутентичной деревенской обстановке (рис. 4). Здесь органично сочетаются как традиционные, так и передовые технологии производства органических вин. Производственные помещения (прием винограда, переработка, ферментация) расположены на первом этаже, на втором этаже находится общественная зона (дегустационный зал). Двойной деревянный фасад работает как солнцезащитная конструкция. Вся кровля покрыта фотоэлектрическими солнечными панелями (более 570), установлен новый органический очиститель воды для повторного использования отфильтрованной воды.

Винодельня Anaia Wines, Годой-Крус, Аргентина (архитектор Japaz Guerra Arquitectos), 2022 г.

Дизайн винодельни вдохновлен окружающим ландшафтом, топографией гор, флорой холмов, текстурой и цветом древних скал (рис. 5). Здание представляет собой прямоугольную призму высотой 11 м, шириной 100 м. Пространственное расположение различных секторов, необходимых для производства вин, линейное (сектор сбора урожая — зал ферментации (в наклоняемых бетонных резервуарах) — зал хранения бочек — зал хранения бутылок — общественная зона).

Интеграция в ландшафт, системы пассивного терморегулирования, системы экономии энергии и водных ресурсов являются значимой частью архитектурной концепции этой винодельни.

Винодельня Гурдау, Чехия (архитектор Алес Фиала), 2020 г.

В двухэтажном здании подземная часть используется для производства, хранения и архивирования вина, в то время как помещения для клиентов открыты солнцу через стеклянный фасад, что позволяет применять пассивную энергию. Для предотвращения перегрева в самые жаркие летние месяцы разработано теплоизоляционное тройное остекление в сочетании с деревянными дубовыми рейками перед окнами, достаточным выступом изогнутой крыши и затенением беседки перед фасадом брезентом. Для отопления используется тепловой насос типа воздух–вода. Дождевая вода собирается в резервуар для хранения и используется для орошения виноградника. Применение таких материалов, как железобетон, стекло, металл, дерево (дуб и акация), является чистым и поддерживает органичную форму здания.

Расположение здания прямо на винограднике на открытой местности сводит к минимуму транспортировку сырья и рабочих внутри винодельни. Но это и выдвинуло высокие требования к архитек-



a



b



c



d

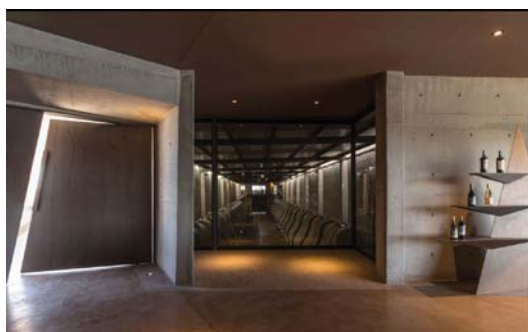
Рис. 4. Архитектурные решения винодельни Cantina Pizzolato в Тревизо, Италия (архитекторы Made Associati): *a* — территория винодельни; *b* — часть фасада; *c* — экстерьер; *d* — интерьер общественной зоны³



a



b



c



d

Рис. 5. Архитектурные решения винодельни Anaia Wines, Годой-Крус, Аргентина (архитектор Japaz Guerra Arquitectos): *a* — экстерьер в вечернее время; *b* — экстерьер в дневное время; *c* — интерьер производственной зоны; *d* — интерьер общественной зоны⁴

³ La Cantina Pizzolato _ New Bio Winery by MADE associate // Moool. URL: https://moool.com/en/la-cantina-pizzolato_-new-bio-winery-made-associati.html

⁴ Anaia Wines Winery / Japaz Guerra Arquitectos. URL: https://www.archdaily.com/1012478/anaia-wines-winery-japaz-guerra-arquitectos?ad_source=search&ad_medium=projects_tab

турной и ландшафтной интеграции. Форма здания в виде плавного изгиба и озеленение обширной площади кровли создает ощущение холма между холмами, естественного слияния с окружающей средой. Общее влияние и польза интенсивного озеленения как на ландшафт, так и на здание станут очевидны только с годами (рис. 6).

Винодельня Côte Rocheuse, Варваровка, Россия (архитекторы Severin Project), 2020 г.

Расположившаяся на живописных холмах Краснодарского края недалеко от Анапы новая винодельня представляет собой современное винодельческое хозяйство с привлекательным дизайном (рис. 7). Восприятие здания определяется антитезой «прямоугольное против бионического» или «технократическое против естественного». Производство вина основано на принципах гравитационного виноделия, которые определяют архитектурный план винодельни и строгую функциональную схему.

Вся технология заключена в простой прямоугольный объем, интегрированный в склон на участке. Гравитационное виноделие исключает использование механических средств перекачки винограда, резервуары погреба заполняются самотеком, поэтому производственные помещения должны находиться на разных уровнях. В погребе находятся хранилища, дегустационные залы.

Верхний объем своими округлыми очертаниями напоминает пляжную гальку с местного побережья, она ориентирована на общественные зоны — здесь расположены ресторан, кафе и панорамная терраса с доступом на крышу.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Здания виноделен создавались многими именитыми архитекторами современности, такими как Сантьяго Калатрава, Марио Ботте, Френк Гери, Альвар Сиза, Рафаэль Монео, Жак Херцог, Заха Хадид, Пьер Де Мейрон, Стивен Холл, Крис Келли, Жан Нувель, Янис Яниотис, Михаэль Гейс, Александра Де Акоста, Ричард Роджерс и др. Также можно назвать имена архитекторов, чья творческая деятельность в основном связана с винодельнями — Хесус Манзанарес, Филипп Мазьер, Хесус Марий Паскуаль и др.

Экологические принципы проектирования современных виноделен являются предметом исследований большого количества авторов из разных стран, таких как Ф. Шу-Янг [9], А.Б. Гюльтекин и В. Альпарслан [10], П.О. Акадири [11], Дж. Лавлэнд [12] и др.

Результаты исследования показывают, что рассмотренные современные здания виноделен имеют

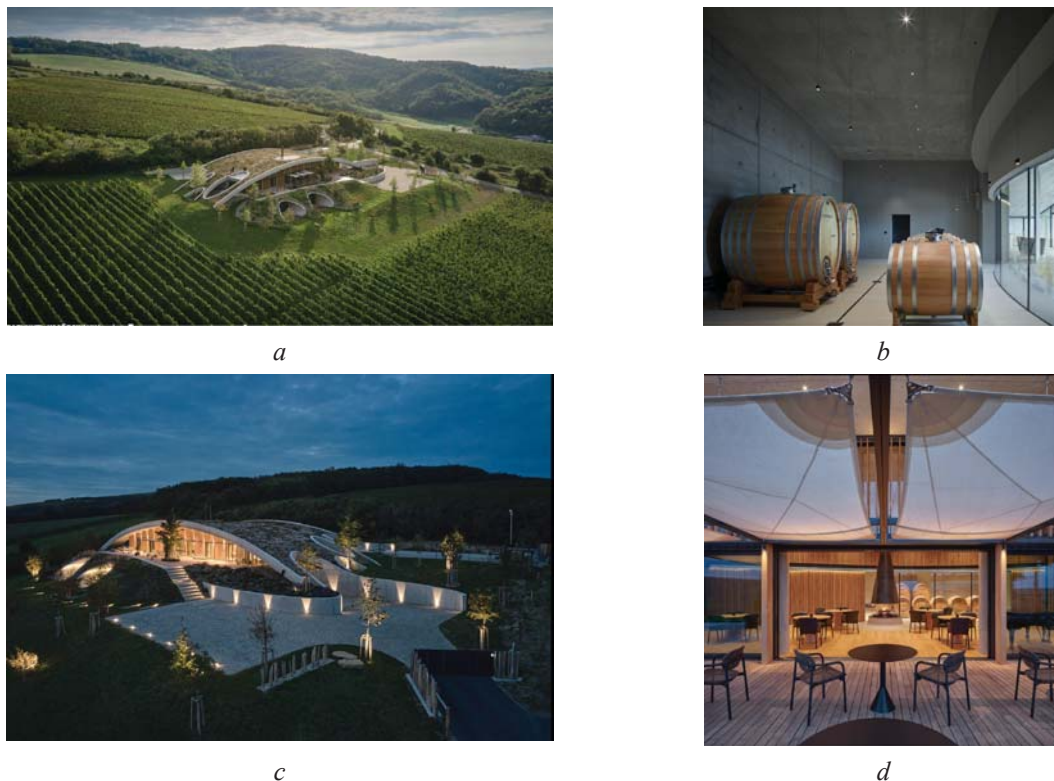


Рис. 6. Архитектурные решения винодельни Гурдау, Чехия (архитектор Алес Фиала): *a* — вид с птичьего полета; *b* — интерьер хранилища вин; *c* — экстерьер в вечернее время; *d* — интерьер общественной зоны⁵

⁵ Gurdau Winery / Ales Fiala. URL: https://www.archdaily.com/1001087/gurdau-winery-ales-fiala?ad_source=search&ad_medium=projects_tab

много общих характеристик. Располагаясь непосредственно на территории виноградников, они максимально интегрированы в окружающую среду, учитывают и используют рельеф местности, обдуманно размещены с точки зрения ориентации здания. Во всех рассмотренных примерах архитектурные решения позволили в технологии применять гравитационный перепад (расположив технологический процесс сверху вниз) и нейтральную температуру почвы для созревания вина (частично заглубив здание под землю). Озеленение крыши, организация вентилируемой крыши, использование систем затенения дали возможность организовать пассивные методы охлаждения. Все здания предусматривают интегрированную систему переработки отходов, а большинство выбирает применение таких возобновляемых источников энергии, как геотермальная энергия, размещение солнечных фотоэлектрических панелей на крыше, рециркуляцию дождевой воды.

Анализ примеров виноделен, представленных выше, позволяет дать ряд рекомендаций для повышения устойчивости проектируемых зданий виноделен. Учет данных рекомендаций при проектировании повысит характеристики устойчивости здания винодельни.

1. *Перенос производства ближе к виноградникам.*

Градостроительная мера расположения здания на территории виноградника или на отдалении не более 5 км минимизирует необходимость продолжительной транспортировки сырья и рабочих, позволяет избежать ограждения территории, которая необходима при расположении винодельни в сложившейся застройке, формирует более экологичный образ сооружения [13].

2. *Выбор оптимальной формы и ориентации здания.*

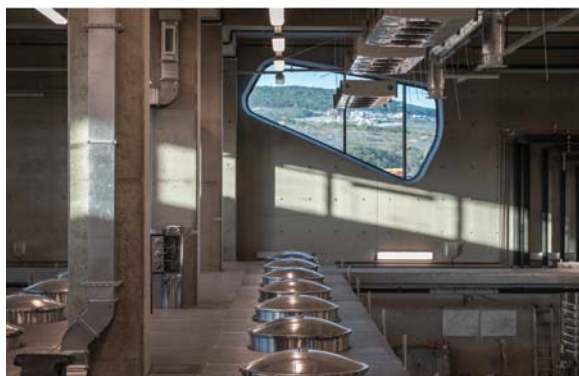
Одна из самых очевидных задач при проектировании современных виноделен — это повышение энергоэффективности здания и минимизация энергопотребления. Основным источником энергии виноделен является электричество (92 %), за которым следуют ископаемые виды топлива — газ и дизельное топливо (9 %) [14]. Некоторые исследования показывают, что винодельни с производством вина более 50 000 гл/год потребляют электроэнергию в объеме 4 кВт·ч/гл, в то время как небольшие винодельни с объемом производства 25 000 гл/год или ниже потребляют электроэнергию в объеме 16 кВт·ч/гл [15].



a



b



c



d

Рис. 7. Архитектурные решения винодельни Côte Rocheuse, Варваровка, Россия (архитекторы Severin Project): *a* — экстерьер; *b* — главный фасад; *c* — интерьер производственных помещений; *d* — боковой фасад⁶

⁶ Cote Rocheuse Winery / Severin Project. URL: <https://www.archdaily.com/952127/cote-rocheuse-winery-severin-project>

Форма здания влияет на эффективность использования энергетических ресурсов; сбережение энергии, поступающей от инженерных сетей; использование благоприятных и нейтрализацию неблагоприятных воздействий окружающей среды. Вытянутая, сглаженная и компактная форма здания без обилия членений и изрезанностей объема — самое удачное решение с точки зрения энергоэффективности. Для повышения энергоэффективности необходимо уменьшать показатель удельного периметра наружных стен м/м^2 (отношение периметра наружных ограждающих конструкций к площади этажа) [16]. Правильная ориентация здания дает возможность в теплый период года уменьшить негативное влияние солнечной радиации и снизить затраты на охлаждение здания, а в холодный период года экономить средства на отопление.

3. Использование подземного пространства.

Чтобы снизить потребление энергии в производственном процессе, архитекторы часто используют методы пассивного охлаждения, размещая части зданий под землей или частично под землей, что позволяет применять преимущества постоянной температуры земли. Размещение винохранилищ там, где их стены могут соприкасаться с землей, чаще всего устраняет необходимость в дополнительном охлаждении. Движение воздуха от фанкойла, охлаждающего надземное помещение для бочек, высушивает бочки и увеличивает испарение вина. Чтобы противостоять этому, многие виноделы дополнительно увлажняют помещения, что может иметь свои негативные последствия (например, грибковое заражение). Подземное помещение для хранения бочек, которое не нуждается в охлаждении, не будет способствовать испарению вина, что экономически выгоднее. Стены, расположенные в контакте с постоянной температурой земли, обеспечивают снижение затрат на отопление и охлаждение.

4. Расположение общественных зон в наземном остекленном объеме.

Максимально допустимая светопрозрачность наружных конструкций общественных зон, установка дополнительных светопрозрачных элементов с двойным остеклением (мансардных окон, высоких потолочных окон, разных типов световых фонарей и других дополнительных источников дневного освещения) таким образом, чтобы прямые солнечные лучи не попадали на резервуар или бочку в производственных помещениях, позволит увеличить уровень дневного освещения, снизить расходы на электроэнергию, улучшит комфорт рабочей среды персонала и гостей винодельни.

5. Интеграция здания в окружающую среду.

Архитектура современных виноделен должна стремиться к единству с природным окружением, гармонизации объема с окружающим пространством, «раскрытию» здания изнутри на природу, включению элементов природы в интерьер, доступу

к естественному дневному свету, свежему воздуху, зеленым насаждениям, открытым водным пространствам и др. Это улучшает общее состояние персонала и гостей, снижает усталость и чувство стресса, смягчает некоторые негативные последствия искусственной среды на здоровье. Использование допустимых по теплотехническими конструктивным соображениям светопрозрачных элементов, открытых зон, дает разгружающий психологический эффект и интересные архитектурные образы.

При проектировании на сложном рельефе оптимальным решением будет создание террасной структуры винодельни, интегрированной в ландшафт. Террасность способствует минимизации энергопотребления в производственном процессе, интеграции архитектурной композиции в природную среду, созданию уникального архитектурного образа.

6. Увеличение коэффициента затенения.

Уменьшение влияния солнечного света на поверхность здания может заметно снизить нагрузку на систему охлаждения. Полезно применение методов благоустройства территории с посадкой деревьев вдоль южной и западной сторон винодельни, откуда исходит максимальный поток солнечного света. Установка вертикальных настенных решеток для выращивания винограда также позволит затенять стены. Эта концепция может значительно снизить затраты на охлаждение винодельни. Летом помещения, ориентированные на юг, необходимо защищать от перегрева. Для этого используются стационарные или подвижные жалюзи, предусматриваются свесы кровель, либо применяется естественная защита от солнца летом — тень от лиственных деревьев.

7. Наличие технологических отверстий для пассивной системы вентиляции.

Пассивные системы вентиляции работают благодаря разнице давлений внутри и вне здания, создаваемой из-за суточных перепадов атмосферного давления, ветра, перепадов температуры и др. Для работы пассивных (или естественных) систем вентиляции требуется иметь технологические отверстия (обычно это окна, двери, а также особые архитектурные решения, например перфорированные стены; и инженерные решения, например стеновой приточный клапан, оконные вентиляционные клапаны), через которые происходит обмен воздухом. Этот процесс снижает потребность в механической вентиляции и снижает энергопотребление.

8. Продуманный подход к выбору материалов.

Использование тех или иных материалов может оказывать значительное влияние на устойчивость винодельни. Предпочтение в архитектурных решениях как в экстерьере, так и в интерьере, в основном нужно отдавать натуральным материалам. Конструктивные материалы должны быть выбраны таким образом, чтобы они имели минимальное воз-

действие на окружающую среду и были легко поддающимися переработке.

Уменьшения теплопотерь можно добиться с помощью улучшения типа или количества материала теплоизоляции. Тонкостенные конструкции дешевле при строительстве, но в эксплуатации сильно проигрывают зданиям с многослойной изоляцией конструкций.

Применение инновационных материалов (например, кровельной мембраны) также может оказать существенное влияние на характеристики устойчивости здания. Уже разработаны краски для кровель, в состав которых входят пигменты, отражающие инфракрасное излучение. Такая кровля уменьшает количество теплопоглощающего света и создает прохладную крышу даже черного цвета. Холодные крыши снижают затраты на поглощение тепла и охлаждение.

9. Гибкость в проектных решениях.

Заложенная при проектировании здания винодельни возможность модернизации и трансформации части пространства без изменения основных конструктивных элементов, возможность адаптироваться с учетом меняющихся потребностей пользователя, т.е. изменять физические, эстетические или технические характеристики в течение определенного периода жизненного цикла, являются неоспоримым преимуществом в наш быстроразвивающийся век.

10. Адаптация зданий к новому использованию.

Если имеется малейшая возможность реконструкции существующего здания на территории, или возможность дать ей вторую жизнь под другим назначением (например, склад для инвентаря), то этим нужно воспользоваться, это тоже относится к принципам устойчивого развития. Например, компания Hightower Cellars производит вино в реконструированной конюшни. Компания Voxwood разработала генеральный план по поддержанию существующей винодельни в рабочем состоянии, пока рядом с ней строится новая. Новая винодельня будет меньше по размеру, использовать меньше ресурсов и стоить дешевле, поскольку существующее помещение планируется использоваться как склад.

11. Упрощение производства с помощью гравитационных процессов.

Этажность современных виноделен желательно соблюдать в пределах от 2 до 4 этажей для мини-

мизации площади застройки и воздействия на ландшафт. Это также способствует применению более энергоэффективной технологии производства — «гравитационного виноделия», когда сусло под воздействием силы тяжести перемещается по разным уровням самотеком, с минимальным применением механической силы. Схема работы такова: виноград поступает после сбора урожая на верхний уровень, затем после отделения гребня он движется вниз под пресс, далее сок стекает на уровень ниже и так до уровня, где осуществляется розлив и хранение. Применение естественной силы гравитации сводит к минимуму энергетические затраты при производстве вина.

12. Интеграция средств альтернативной энергетики в структуру здания.

Применение средств альтернативной энергетики (энергия ветра, солнца, земли, воды и биомассы) в архитектуре виноделен способствует повышению энергоэффективности зданий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Производство вина становится все более дорогостоящим во многом из-за стремительно растущих энергетических и материальных затрат. Винодельни, которые следуют принципам устойчивого развития, могут приносить большую прибыль благодаря снижению эксплуатационных расходов, оказывать меньшее негативное влияние на среду при строительстве и эксплуатации, увеличивать сроки эксплуатации здания при одновременном улучшении условий труда.

Изучение научных трудов и проектных материалов современных виноделен, их анализ и сравнение позволили выявить ряд методов, приемов и рекомендаций, позволяющих развивать устойчивость архитектуры винодельческих предприятий.

Долгосрочная экономия на эксплуатации, которую обеспечивает каждый из выявленных методов, компенсирует первоначальные затраты на более дорогие решения. Многие из них не добавляют первоначальных затрат.

Побочным преимуществом использования этих принципов устойчивого развития является создание более здоровой рабочей среды, что приводит к повышению производительности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Белоножко А.А. Исторические предпосылки и потенциал Севастополя для формирования авторской архитектуры виноделен // Студенческий вестник. 2023. № 24–6 (263). С. 34–38. EDN ASYYEZ.
2. Тимофеев А.В. Принципы формирования архитектуры современных виноделен для условий

Юга России // Архитектура и строительство России. 2015. № 2 (206). С. 28–39. EDN TJKRTF.

3. Жукова И.В., Барсукова Н.И. Многофункциональная среда современных виноделен в контексте развития винного туризма // Запад-Россия-Восток. 2016. № 10. С. 49–52. EDN XIMJOD.

4. Рудакова Л.В. Использование зеленых технологий в архитектуре виноделен // Наука, образование и экспериментальное проектирование. Труды МАРХИ : мат. Междунар. науч.-практ. конф. 2019. С. 197–199. EDN TCVAOM.
5. Жукова И.В., Барсукова Н.И. Концепция винодельни как уникального ландшафтного объекта // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 1 (139). DOI: 10.23670/IRJ.2024.139.51. EDN SLGTEN.
6. Stanojevic A., Jevremovic L., Turnsek B., Rančić Đ. Sustainable industrial architecture: ecological design of contemporary wineries // Proceedings of 2nd International Conference of Sustainable Environment and Technologies. 2022.
7. Ломхольт И. New Carillon d'Angélus Cellar in Libourne // e-architect. 2021. URL: <https://www.e-architect.com/france/new-carillon-dangelus-cellar-libourne>
8. Drago G. The architecture of wine, the new carillon D'Angélus cellar // Data Aided Design. 2022. URL: <https://dataaidedesign.com/the-architecture-of-wine-the-new-carillon-dangelus-cellar/>
9. Shu-Yang F., Freedman B., Cote R. Principles and practice of ecological design // Environmental Reviews. 2004. Vol. 12. Issue 2. Pp. 97–112. DOI: 10.1139/a04-005
10. Gultekin A.B., Alparslan B. Ecological building design criteria: a case study in Ankara // Gazi University Journal of Science. 2011. Vol. 24. Issue 3. Pp. 605–616.
11. Akadiri P.O., Chinyio E.A., Olomolaiye P.O. Design of a sustainable building: a conceptual framework for implementing sustainability in the building sector // Buildings. 2012. Vol. 2. Issue 2. Pp. 126–152. DOI: 10.3390/buildings2020126
12. Loveland J. Daylighting and sustainability // Daylighting Lab. 2002.
13. Тимофеев А.В. Архитектура современных виноделен // Архитектура и современные информационные технологии. 2015. № 1 (30). С. 16. EDN TWPYIV.
14. Vela R., Mazarrón F.R., Fuentes-Pila J., Baptista F., Silva L.L., Garcia J.L. Improved energy efficiency in wineries using data from audits // Ciência e Técnica Vitivinícola. 2017. Vol. 32. Issue 1. Pp. 62–71. DOI: 10.1051/ctv/20173201062
15. Malvoni M., Congedo P.M., Laforgia D. Analysis of energy consumption: a case study of an Italian winery // Energy Procedia. 2017. Vol. 126. Pp. 227–233. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.08.144
16. Рубцова М.В., Семенова Э.Е. Учет влияния формы здания на его энергоэффективность // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2021. № 2 (36). С. 10–15. DOI: 10.52684/2312-3702-2021-36-2-10-15. EDN PJOEAN.

Поступила в редакцию 5 апреля 2024 г.

Принята в доработанном виде 10 апреля 2024 г.

Одобрена для публикации 11 мая 2024 г.

Об авторах: **Асник Рубеновна Ключко** — кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; KlochkoAR@mgsu.ru;

Татьяна Вячеславовна Шамаева — кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ShamaevaTV@mgsu.ru;

Софья Александровна Добычина — бакалавр кафедры архитектуры; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; Sofushka15@yandex.ru.

Вклад авторов:

Ключко А.Р. — идея, написание статьи, научное редактирование текста.

Шамаева Т.В. — обработка материала.

Добычина С.А. — сбор материала.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

In 2015, at a meeting on Sustainable Development 2030, United Nations members formulated and adopted 17 global Sustainable Development Goals for “peace and prosperity for people and planet”.

Industrial architecture, based on the rational, logical and cost-effective idea of building construction, has always been close to the basic concept of sustainability. However, there is a strong opinion that industrial plants pollute nature and disturb not only biodiversity but also the aesthetic appearance of the environment.

Therefore, the principles of sustainable architecture are increasingly recognized as a methodological approach to the design of modern industrial architecture, particularly winery buildings.

From the perspective of modern sustainable development goals, the sustainability of industrial architecture should be seen as: building industrial facilities based on intelligent urban planning that creates safe, affordable and resilient cities; seeking innovative architectural solutions and technologies (from architectural concept to building construction); and incorporating recycling and waste reduction ideas during the construction and operation phases. Industrial architecture endeavours to incorporate these challenges into the conceptual design phase, placing part of the responsibility for sustainability on architectural solutions. This has led to design solutions that push the boundaries of typical industrial architecture, combining new and long-term sustainability objectives with modern building aesthetics.

The environmental aspect of sustainability in industrial architecture is particularly important in the design process of modern wineries.

A winery today is not only a place of production of wine products, but also a place of tourist attraction, including commercial and entertainment functions, as well as the result of architectural imagination, combining the traditionalism of the craft and modern trends in architectural design [1–3].

Over the last 40 years, winery buildings have been spreading all over the world, driven by the global growth of world tourism, increased competition in the creation of wine beverages, the introduction of new production technologies, the emergence of the “fashion for author’s wineries”, etc.

Building wineries in harmony with nature, in harmony with the concepts of sustainable development, has become especially popular since the beginning of the 21st century, when the wine industry entered the world market and wine tourism began to develop.

The implementation of sustainability practices can significantly reduce the consumption of energy, raw materials and drinking water, waste production, and greenhouse gas emissions. Driven by the desire to protect natural resources, to improve public attitudes towards wine production, and to make tangible savings, grape producers have been seriously integrating sustainability into their architectural designs over the past decade [4, 5].

Whether constructing a new winery building or renovating an existing facility, sustainable winery architecture practices top the list of practices being incorporated into modern winery solutions. Incentives for winery owners to be environmentally responsible is as socially responsible as it is financially rewarding.

The need to ensure environmental sustainability in the design of wineries has prompted many architects to create unique architectural solutions that combine functionality, efficiency and minimal environmental impact,

adding to the world’s “piggy bank” of unique architectural objects. Today, it is possible to find wineries in the world that are examples of original architecture, which is a source of interest.

MATERIALS AND METHODS

In order to describe objectively the trends in the development of architecture of modern wineries and the environmental techniques and methods used in their design, we analyzed the architectural solutions of buildings of modern wineries, including foreign and domestic productions, built not earlier than 2015, the concept of which was based entirely on the pursuit of sustainable development principles.

The design materials of the selected example buildings are publicly available on the Internet.

The aim of the study is to identify architectural methods and techniques for the design of sustainable modern winery buildings.

A literature review was conducted to clarify the current existing research on sustainability issues in the architecture of modern wineries. The search was carried out in the Scopus and Web of Science databases, as well as in the scientific electronic eLibrary. The keywords used in the search: winery architecture, sustainable winery development, sustainable winery architecture. Relevant review and research papers were selected for detailed analysis. The reviewed winery projects are selected based on the following criteria: built after 2015; conceptualized according to sustainable development principles; certified as sustainable buildings.

Among the projects analyzed were the unique winery buildings shown below.

Beronia Winery, Spain (IDOM architects), 2020.

The building is the first industrial wine production facility in Europe to be LEED Gold certified for energy efficiency and sustainable design [6]. The production area is underground, allowing the use of gravity fall for wine production and the natural temperature of the soil for aging. The visitor area is located on the top floor, integrated into the environment by maximizing glazing overlooking the vineyard. Environmental sustainability is reflected in the choice of materials and technical systems. The building is characterized by good thermal insulation, maximum use of natural light, photovoltaic sensors, passive solar protection systems, rainwater harvesting, biomass, etc. (Fig. 1).

Peralada Winery, Catalonia, Spain (RCR Architects), 2017.

The winery (Fig. 2) was designed in accordance with the standards for LEED Gold certification for sustainable construction. The smoothly curved volume of the building is almost completely buried underground, and the historic part of the site built in the early twentieth century is a public guest area. Part of the winery’s roof is landscaped. The building uses geothermal energy, which reduces energy consumption for heating and cooling water by one third [6].



Fig. 1. Architectural solutions of Beronia winery, Spain (IDOM architects): *a* — part of the facade; *b* — facade glazing; *c* — exterior; *d* — interior¹



Fig. 2. Architectural solutions of Peralada winery, Catalonia, Spain (RCR architects): *a* — bird's eye view; *b* — interior of the production area; *c* — interior of the wine storage; *d* — view from the gallery²

¹ Beronia. URL: beronia.com

² Perelada. URL: perelada.com

Carillon d'Angélus winery in Libourne, France (Architecte DPLG), 2019.

The winery building represents a balance between preserving the historical heritage and introducing innovations due to the need to expand the production capacity of the old winery (Fig. 3). The location within a UNESCO World Heritage Site imposed serious constraints on architectural solutions. Thanks to technical, environmental and aesthetic considerations, this new winery benefits from state-of-the-art equipment.

The wine cellar with its 18 inverted cone-shaped vats, lifting system and tank lift is fully operational thanks to natural gravity. A nitrogen-generating unit ensures the protection of the wines. Photovoltaic panels allow self-generation of part of the required electricity [7]. The building has been certified by the BREEAM environmental assessment method for buildings [8].

Cantina Pizzolato winery in Treviso, Italy (architects Made Associati), 2017.

The winery is designed in a rustic colour, in keeping with the authentic countryside setting (Fig. 4). It organically combines both traditional and advanced technologies of organic wine production. The production facilities (grape reception, processing, fermentation) are located on the ground floor, with the public area (tasting room) on the ground floor. The double wooden facade works as a sun protection structure. The whole roof is covered with photovoltaic solar panels (more

than 570) and a new organic water purifier has been installed to reuse the filtered water.

Anaia Wines winery, Godoy Cruz, Argentina (architect Japaz Guerra Arquitectos), 2022.

The design of the winery is inspired by the surrounding landscape, the topography of the mountains, the flora of the hills, the texture and colour of the ancient rocks (Fig. 5). The building is a rectangular prism with a height of 11 metres and a width of 100 metres. The spatial arrangement of the different sectors required for wine production is linear (harvesting sector — fermentation hall (in tilting concrete tanks) — barrel storage hall — bottle storage hall — public area).

Integration into the landscape, passive thermal management systems, energy and water saving systems are a significant part of the architectural concept of this winery.

Gurdau Winery, Czech Republic (architect Ales Fiala), 2020.

In the two-storey building, the underground part is used for wine production, storage and archiving, while the customer areas are exposed to the sun through the glass facade, allowing passive energy to be utilized. Insulated triple glazing has been designed to prevent overheating during the hottest summer months, combined with wooden oak slats in front of the windows, ample overhang of the curved roof and shading of the pergola in front of the façade with a tarpaulin.



a



b



c



d

Fig. 3. Architectural solutions of the Carillon d'Angélus winery in Libourne, France (architects DPLG): a — part of the facade; b — interior of the winery cellar; c — interior of the production part; d — exterior [7]



Fig. 4. Architectural solutions of the Cantina Pizzolato winery in Treviso, Italy (architects Made Associati):
a — winery territory; *b* — part of the facade; *c* — exterior; *d* — interior of the public area³



Fig. 5. Architectural solutions of the Anaia Wines winery, Godoy Cruz, Argentina (architect Japaz Guerra Arquitectos):
a — exterior in the evening; *b* — exterior in the daytime; *c* — interior of the production area; *d* — interior of the public area⁴

³ La Cantina Pizzolato _ New Bio Winery by MADE associate // Moooool. URL: https://moooool.com/en/la-cantina-pizzolato_-new-bio-winery-made-associati.html

⁴ Anaia Wines Winery / Japaz Guerra Arquitectos. URL: https://www.archdaily.com/1012478/anaia-wines-winery-japaz-guerra-arquitectos?ad_source=search&ad_medium=projects_tab

An air-to-water heat pump is used for heating. Rainwater is collected in a storage tank and used to irrigate the vineyard. The use of materials such as reinforced concrete, glass, metal, wood (oak and acacia) is clean and maintains the organic form of the building.

Locating the building directly in the vineyard in open countryside minimizes the transport of raw materials and workers within the winery. However, this also placed high demands on the architectural and landscape integration. The building shape in the form of a gentle curve and the landscaping of the extensive roof area creates the feeling of a hill between hills, a natural fusion with the environment. The overall impact and benefits of intensive landscaping on both the landscape and the building will only become apparent over the years (Fig. 6).

Côte Rochouse Winery, Varvarovka, Russia (Severin Project architects), 2020.

Located in the picturesque hills of the Krasnodar region near Anapa, the new winery is a modern winery with an attractive design (Fig. 7). The perception of the building is defined by the antithesis of “rectangular versus bionic” or “technocratic versus natural”. Wine production is based on the principles of gravity-fed winemaking, which define the winery’s architectural plan and strict functional layout.

The entire technology is contained in a simple rectangular volume integrated into the slope on the site.

Gravity winemaking eliminates the use of mechanical means of pumping grapes, the cellar tanks are filled by gravity, so the production rooms must be on different levels. The cellar contains storage and tasting rooms.

The upper volume, with its rounded shape reminiscent of beach pebbles from the local coast, is orientated towards the public areas — it houses the restaurant, café and panoramic terrace with access to the roof.

RESULTS

Winery buildings have been designed by many of today’s most renowned architects, such as Santiago Calatrava, Mario Botte, Frank Gehry, Alvar Siza, Raphael Moneo, Jacques Herzog, Zaha Hadid, Pierre De Meyron, Steven Holl, Chris Kelly, Jean Nouvel, Yannis Yaniotis, Michael Geis, Alexandra De Acosta, Richard Rogers and others. We can also mention the names of architects whose creative work is mainly linked to wineries — Jesús Manzanares, Filipe Mazière, Jesús María Pascual and others.

The ecological design principles of modern wineries are the subject of research by a large number of authors from different countries such as F. Shu-Yang [9], A.B. Gültekin and V. Alparslan [10], P.O. Akadiri [11], J. Loveland [12] and others.

The results of the study show that the modern winery buildings considered share many common charac-



Fig. 6. Architectural solutions of Gurdau winery, Czech Republic (architect Ales Fiala): a — bird’s eye view; b — Interior of wine storage; c — exterior in the evening; d — interior of public area⁵

⁵ Gurdau Winery / Ales Fiala. URL: https://www.archdaily.com/1001087/gurdau-winery-ales-fiala?ad_source=search&ad_medium=projects_tab

teristics. Located directly in the vineyard area, they are maximally integrated into the environment, take into account and utilize the terrain, and are thoughtfully placed in terms of building orientation. In all of these examples, the architectural solutions allowed the technology to utilize gravity drop (by placing the process from top to bottom) and neutral soil temperature for wine maturation (by partially burying the building underground). Roof landscaping, the organization of a ventilated roof, and the use of shading systems made it possible to organize passive cooling methods. All buildings include an integrated waste management system, and most choose to use renewable energy sources such as geothermal energy, solar photovoltaic panels on the roof, and rainwater recycling.

By analyzing the examples of wineries presented above, a number of recommendations can be made to improve the stability of designed winery buildings. Considering these recommendations in the design will increase the stability characteristics of the winery building.

1. Moving production closer to the vineyards.

The urban planning measure of locating the building in the vineyard or at a distance of no more than 5 km minimizes the need for long transport of raw materials and workers, avoids the fencing of the territory, which is necessary when the winery is located in an es-

tablished building, forms a more ecological image of the building [13].

2. Selecting the optimal shape and orientation of the building.

One of the most obvious challenges in the design of modern wineries is to improve the energy efficiency of the building and minimize energy consumption. The main energy source of wineries is electricity (92 %), followed by fossil fuels such as gas and diesel (9 %) [14]. Some studies show that wineries with wine production of more than 50,000 hl/year consume electricity at a rate of 4 kW·h/gl, while small wineries with production of 25,000 hl/year or less consume electricity at a rate of 16 kW·h/gl [15].

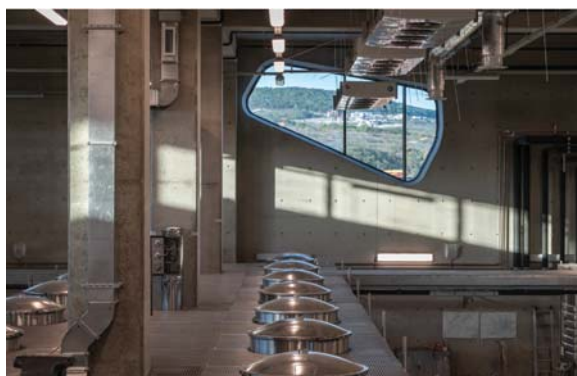
The shape of a building influences the efficiency of energy resources use; energy savings from utilities; use of favourable and neutralization of unfavourable environmental influences. An elongated, smoothed and compact building form without many volume cut-outs is the best solution from the point of view of energy efficiency. To increase energy efficiency, it is necessary to reduce the specific perimeter of external walls m/m² (ratio of the perimeter of external enclosing structures to the floor area) [16]. Proper orientation of the building makes it possible to reduce the negative impact of solar radiation in the warm period of the year and reduce



a



b



c



d

Fig. 7. Architectural solutions of Côte Rocheuse winery, Varvarovka, Russia (Severin Project architects): a — exterior; b — main facade; c — interior of production facilities; d — side facade⁶

⁶ Cote Rocheuse Winery / Severin Project. URL: <https://www.archdaily.com/952127/cote-rocheuse-winery-severin-project>

the cost of cooling the building, and in the cold period of the year to save money for heating.

3. *Utilisation of underground space.*

To reduce energy consumption in the production process, architects often use passive cooling techniques by placing parts of buildings underground or partially underground to take advantage of the constant temperature of the ground. Placing wine storage facilities where their walls can be in contact with the ground most often eliminates the need for additional cooling. Air movement from a fan coil cooling an above-ground barrel room dries out the barrels and increases wine evaporation. To counteract this, many winemakers additionally humidify the room, which can have its own negative consequences (e.g. fungal contamination). An underground barrel storage room that does not need to be cooled will not contribute to wine evaporation, which is more cost-effective. Walls in contact with the constant temperature of the ground provide reduced heating and cooling costs.

4. *Arrangement of public areas in a ground glazed volume.*

Maximum permissible translucency of external structures of public areas, installation of additional translucent elements with double glazing (skylights, high ceiling windows, different types of skylights and other additional sources of daylighting) in such a way that direct sunlight does not reach the tank or barrel in the production areas, will increase the level of daylighting, reduce energy costs, improve the comfort of the working environment of the staff and guests of the winery.

5. *Integration of the building into the surrounding environment.*

The architecture of modern wineries should strive for unity with the natural environment, harmonization of the volume with the surrounding space, “opening” the building from the inside to nature, inclusion of elements of nature in the interior, access to natural daylight, fresh air, green spaces, open water spaces, etc. This improves the general condition of the staff and guests, reduces fatigue and stress, and mitigates some of the negative effects of the artificial environment on health. The use of translucent elements and open areas, which are permissible due to thermal and technical design considerations, gives a relieving psychological effect and interesting architectural images.

When designing on a difficult terrain, the optimal solution is to create a terraced structure of the winery integrated into the landscape. Terracing helps to minimize energy consumption in the production process, integrate the architectural composition into the natural environment, and create a unique architectural image.

6. *Shading factor increase.*

Reducing the effect of sunlight on the building surface can significantly reduce the load on the cooling system. Landscaping techniques can be useful by planting trees along the south and west sides of the winery,

where the maximum sunlight comes from. Installing vertical wall grilles for growing grapes will also allow for shading walls. This concept can significantly reduce winery cooling costs. In summer, south-facing rooms need to be protected from overheating. For this purpose, fixed or movable louvres are used, roof overhangs are provided, or natural protection from the summer sun — shade from deciduous trees — is used.

7. *The presence of technological openings for a passive ventilation system.*

Passive ventilation systems operate due to the difference in pressure inside and outside the building, created by daily fluctuations in atmospheric pressure, wind, temperature changes, etc. Passive (or natural) ventilation systems require technological openings (usually windows, doors, as well as special architectural solutions, such as perforated walls; and engineering solutions, such as a wall supply valve, window ventilation valves) through which air exchange occurs. This process reduces the need for mechanical ventilation and reduces energy consumption.

8. *A thoughtful approach to material selection.*

The use of certain materials can have a significant impact on the sustainability of a winery. Preference in architectural solutions, both exterior and interior, should be given to natural materials. Structural materials should be chosen so that they have minimal environmental impact and are easily recyclable.

Reducing heat loss can be achieved by improving the type or amount of insulation material. Thin-walled structures are cheaper to construct, but in operation they lose heavily to buildings with multi-layer structural insulation.

The use of innovative materials (e.g. roofing membrane) can also have a significant impact on the sustainability performance of a building. Roofing paints that contain pigments that reflect infrared radiation have already been developed. Such roofing reduces the amount of heat-absorbing light and creates a cool roof even in black. Cool roofs reduce heat absorption and cooling costs.

9. *Flexibility in design solutions.*

The possibility of modernizing and transforming part of the space without changing the basic structural elements, the ability to adapt to the changing needs of the user, i.e. to change physical, aesthetic or technical characteristics during a certain period of the life cycle, is an undeniable advantage in our rapidly developing age.

10. *Adaptation of buildings to new use.*

If there is the slightest opportunity to renovate an existing building on the site, or to give it a second life under a different use (e.g. storage for equipment), then this should be taken advantage of, this is also part of the principles of sustainable development. For example, Hightower Cellars produces wine in a renovated stable block. Boxwood has developed a master plan to maintain the existing winery while a new winery is built next to it. The new winery will be smaller, use fewer

resources and cost less because the existing facility is planned to be used as a warehouse.

11. Simplifying production through gravity processes.

Modern wineries should preferably be between two and four storeys in height to minimize building area and landscape impact. This also favours the use of a more energy-efficient production technology — “gravity winemaking”, where the must moves through the different levels by gravity, with minimal use of mechanical force. The scheme of work is as follows: the grapes arrive after harvesting on the upper level, then after separation of the crest it moves down under the press, then the juice flows down to the level below and so to the level where bottling and storage are carried out. The use of natural gravity minimizes the energy costs of wine production.

12. Integration of alternative energy facilities into the building structure.

The use of alternative energy means (wind, solar, earth, water and biomass) in winery architecture contributes to the energy efficiency of buildings.

CONCLUSION AND DISCUSSION

Wine production is becoming increasingly expensive, largely due to rapidly rising energy and material costs. Wineries that follow the principles of sustainable development can generate higher profits by reducing operating costs, have less negative impact on the environment during construction and operation, and extend the life of the building while improving working conditions.

The study of scientific works and design materials of modern wineries, their analysis and comparison allowed to identify a number of methods, techniques and recommendations that allow to develop the sustainability of the architecture of wineries.

The long-term operational savings provided by each of the identified methods offset the initial costs of more expensive solutions. Many do not add to the initial costs.

A side benefit of using these sustainability principles is the creation of a healthier work environment, which leads to increased productivity.

REFERENCES

1. Belonozhko A. Historical background and potential of Sevastopol for the formation of the author's architecture of wineries. *Student Bulletin*. 2023; 24-6(263):34-38. EDN ASYYEZ. (rus.).
2. Timofeev A.V. Principles of formation of modern architecture wineries to the south of Russia. *Architecture and Construction of Russia*. 2015; 2(206):28-39. EDN TJKRTF. (rus.).
3. Zhukova I.V., Barsukova N.I. Multifunctional environment of modern wineries in the context of wine tourism development. *West-Russia-East*. 2016; 10:49-52. EDN XIMJOD. (rus.).
4. Rudakova L.V. The use of green technologies in the architecture of wineries. Science, education and experimental design. *Proceedings of MARCHI : materials of the international scientific and practical conference*. 2019; 197-199. EDN TCVAOM. (rus.).
5. Zhukova I.V., Barsukova N.I. Concept of the winery as a unique landscape object. *International Research Journal*. 2024; 1(139). DOI: 10.23670/IRJ.2024.139.51. EDN SLGTEN. (rus.).
6. Stanojevic A., Jevremovic L., Turnsek B., Rančić Đ. Sustainable industrial architecture: ecological design of contemporary wineries. *Proceedings of 2nd International Conference of Sustainable Environment and Technologies*. 2022
7. *New Carillon d'Angélus Cellar in Libourne*. 2021. URL: <https://www.e-architect.com/france/new-carillon-dangelus-cellar-libourne>
8. Drago G. The architecture of wine, the new carillon D'Angélus cellar. *Data Aided Design*. 2022. URL: <https://dataaidedesign.com/the-architecture-of-wine-the-new-carillon-dangelus-cellar/>
9. Shu-Yang F., Freedman B., Cote R. Principles and practice of ecological design. *Environmental Reviews*. 2004; 12(2):97-112. DOI: 10.1139/a04-005
10. Gultekin A.B., Alparslan B. Ecological building design criteria: A case study in Ankara. *Gazi University Journal of Science*. 2011; 24(3):605-616.
11. Akadiri P.O., Chinyio E.A., Olomolaiye P.O. Design of a sustainable building: A conceptual framework for implementing sustainability in the building sector. *Buildings*. 2012; 2(2):126-152. DOI: 10.3390/buildings2020126
12. Loveland J. Daylighting and sustainability. *Daylighting Lab*. 2002.
13. Timofeev A.V. Architecture of modern wineries. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2015; 1(30):16. EDN TWPYIV. (rus.).
14. Vela R., Mazarrón F.R., Fuentes-Pila J., Baptista F., Silva L.L., Garcia J.L. Improved energy efficiency in wineries using data from audits. *Ciência e Técnica Vitivinícola*. 2017; 32(1):62-71. DOI: 10.1051/ctv/20173201062
15. Malvoni M., Congedo P.M., Laforgia D. Analysis of energy consumption: a case study of an Ital-

ian winery. *Energy Procedia*. 2017; 126:227-233. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.08.144

16. Rubtsova M.V., Semenova E.E. Accounting for the influence of the building shape on its

energy efficiency. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea*. 2021; 2(36):10-15. DOI: 10.52684/2312-3702-2021-36-2-10-15. EDN PJOEAN. (rus.).

Received April 5, 2024.

Adopted in revised form on April 10, 2024.

Approved for publication on May 11, 2024.

B I O N O T E S: **Asmik R. Klochko** — Candidate of Architecture, Associate Professor of the Department of Architecture; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; KlochkoAR@mgsu.ru;

Tatiana V. Shamaeva — Candidate of Architecture, Associate Professor of the Department of Architecture; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ShamaevaTV@mgsu.ru;

Sofia A. Dobychina — bachelor's student of the Department of Architecture; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Sofushka15@yandex.ru.

Contribution of the authors:

Asmik R. Klochko — idea, writing the article, scientific editing of the text.

Tatiana V. Shamaeva — material processing.

Sofia A. Dobychina — material collection.

The authors declare that there is no conflict of interest.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 728

DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.95-112

Архитектура клубных домов Москвы

Асмик Рубеновна Ключко, Елизавета Александровна Ларкина*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИИ МГСУ); г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Появление такого типа жилища в городской среде, как клубный дом, является закономерной тенденцией развития современного общества. Цель исследования — выявление архитектурных характеристик, методов и приемов проектирования клубных домов.

Материалы и методы. Применяются методы обзора, сравнительного анализа и синтеза по научным, литературным источникам и проектным материалам, связанным с архитектурой клубных домов. Анализировались проекты клубных домов г. Москвы, представленные в открытом доступе Интернет. Поиск научной литературы проводился в научной электронной библиотеке eLibrary, электронных базах данных Scopus, Web of Science, с использованием ключевых слов: клубный дом, архитектура клубных домов. На основе анализа проектных решений рассмотренных клубных домов Москвы выявлены их основные архитектурные характеристики.

Результаты. Каждый клубный дом уникален, так как строится либо по индивидуальному эксклюзивному проекту, либо создается на базе исторически значимых объектов, подвергшихся реконструкции. Анализ архитектурных решений исследованных клубных домов позволил определить общие черты данного типа жилища и дать рекомендации по их проектированию.

Выводы. Клубные здания служат материальным отражением социального заказа на развитие политики гуманизации, экологизации и повышения устойчивости развития среды обитания. В то же время это стимулирует процесс имущественного расслоения общества. Но высокая планка архитектурно-художественного образа клубных домов обогащает среду нашего обитания, наполняя ее новыми культурными смыслами и эстетическим уровнем. Это ставит сложную, но интересную задачу перед архитекторами — использовать в массовом жилищном строительстве хотя бы элементы архитектурных решений клубных домов; дополнить однообразную жилую застройку подобным качеством архитектуры, которая вызывает глубокие эмоциональные впечатления и транслирует информацию о новых жилищных стандартах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: клубный дом, архитектура клубных домов, элитное жилье, архитектура жилища, многофункциональные жилые дома

Благодарности. Авторы выражают благодарность редакционной коллегии журнала и анонимным рецензентам за уделенное время и оказанное внимание.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ключко А.Р., Ларкина Е.А. Архитектура клубных домов Москвы // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. Вып. 2. С. 95–112. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.95-112

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

Architecture of Moscow clubhouses

Asmik R. Klochko, Elizaveta A. Larkina*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The emergence of such a type of dwelling in the urban environment as a clubhouse is a natural trend in the development of modern society. The purpose of the paper is to identify the architectural characteristics, methods and techniques of their design.

Materials and methods. The materials and methods of this study include methods of review, comparative analysis and synthesis on scientific, literary sources and design materials related to the architecture of clubhouses. We analyzed the projects of clubhouses in Moscow, presented on the open access Internet. The search of scientific literature was carried out in the scientific electronic eLibrary, in electronic databases Scopus, Web of Science, using the keywords “clubhouse”, “architecture of clubhouses”. On the basis of the analysis of design solutions of the considered Moscow clubhouses their main architectural characteristics were revealed.

Results. Each clubhouse is unique, as it is built either according to an individual exclusive project, or is created on the basis of historically significant objects that have been reconstructed. However, the analysis of architectural solutions of the considered clubhouses allowed to determine the common features of this type of dwelling and to give recommendations for their design.

Conclusions. Clubhouses are a material reflection of the social order for the development of a policy of humanization, ecologization and increasing the sustainability of habitat development. At the same time, it stimulates the process of property stratification of society. However, the high bar of architectural and artistic image of clubhouses enriches our living environment, filling it with new cultural meanings and aesthetic level. This sets a difficult but interesting task for architects — to use in mass housing construction at least elements of architectural solutions of clubhouses; to complement the monotonous residential development with a similar quality of architecture, which causes deep emotional impressions and broadcasts information about new housing standards.

KEYWORDS: clubhouse, clubhouse architecture, elite housing, housing architecture, multifunctional residential buildings

Acknowledgements. The authors would like to thank the journal's editorial board and anonymous reviewers for their time and attention.

FOR CITATION: Klochko A.R., Larkina E.A. Architecture of Moscow clubhouses. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2024; 14(2):95-112. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.95-112

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

ВВЕДЕНИЕ

Развитие человеческого общества привело к тотальному контролю над средой обитания. По словам Б. Малиновского «Человеческое тело, даже среди тех народов, у которых нет достойного упоминания одежды, не открыто непосредственно ветру, осадкам и солнцу. Оно предохраняется культурным панцирем, в качестве какового выступает укрытие или жилище» [1]. В то же время жилище — материальная конструкция, и его устройство напрямую связано с потребностью в безопасности. Развитие городов, распространение многоквартирных домов естественным образом изолировало человека от природы. Отделение городского жилища от рабочих мест обострило разделение между частной и общественной сферой: «Горожане уходят в частную жизнь, протекающую в стенах их квартир, и скрывают определенные вещи от суда общест-венности» [2]. Безопасность жилища со временем в мироощущении людей превращает все остальное, что находится вне жилища, во что-то враждебное, опасное, тем самым усиливая желание повышать уровень безопасности еще и еще (заборы и стены, охраняемые территории вокруг дома, круглосуточные консьержи и охрана, системы безопасности и слежения и др.). А социальное неравенство приводит к неравенству качественных и средовых характеристик жилища в уровне их безопасности. Возникают понятия жилищной роскоши, элитных домов и др. Этот феномен несомненен, в истории человечества бесчисленное количество доказательств достижения грандиозного уровня роскоши жилища богатыми людьми. Престижность и роскошь жилища есть некое мерило успешности и подтверждения статуса, принадлежности их к тому или иному рангу. Можно сказать, что характеристики жилища зависят от уровня развития страны и представляют собой продукт истории человечества.

Появление нового типа жилища в городской среде, особенно в городах-миллионниках, такого как клубный дом, является закономерной тенденцией развития современного общества.

История клубных домов началась в европейских странах. Основная идея подобной элитной недвижимости — это создание уютного частного пространства повышенной комфортности, объединяющего небольшое количество жителей, имеющих общие интересы, профессию, особенности мировоззрения, что необходимо для создания комфортного эмоционального климата в данном сообществе.

В России первые клубные дома стали формироваться в начале XX в. Возводились преимущественно в Москве и были предназначены для известных государственных деятелей, военных, ученых, писателей, архитекторов и строителей, композиторов и художников, спортсменов. Тогда подобные объекты были построены на Пречистенской набережной, Патриарших прудах и Остоженке [3].

В своих исследованиях З.З. Зиятдинова, С.Г. Михалчева [4, 5] предлагают следующую формулировку понятия «клубный дом»: Это относящийся к классу элитной недвижимости многоквартирный жилой комплекс, который отличается одновременным наличием наряду с жилыми квартирами общественных клубных помещений закрытого типа в цокольном и/или первом, чердачном этажах, а также на эксплуатируемой кровле (обслуживание жильцов и их гостей); компактным размещением жилых ячеек; этажностью до 7–8 этажей; расположением на одной площадке не более 2–3 квартир; большими площадями квартир (обычно от 100 м²); локацией в престижных, экологических и инфраструктурно развитых городских районах с благоустроенной территорией.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Применяются методы обзора, сравнительного анализа и синтеза по научным, литературным источникам [6–12] и проектным материалам, связанным с развитием архитектуры клубных домов. Анализировались проекты клубных домов г. Москвы, представленные в открытом доступе Интернет.

Поиск научной литературы проводился в научной электронной библиотеке eLibrary; электронных базах данных, в том числе Scopus, Web of Science, с использованием соответствующих ключевых слов, включая: клубный дом, архитектура клубных домов.

Поиск ограничивался статьями, опубликованными на русском языке с 2015 г.

Социальное неравенство в архитектуре жилища исследовали К.В. Кияненко, Д. Литвинцев, В. Зомбарт, Р. Мертон, Т. Веблен, П. Бурдьё и др. Жилище как физический архитектурный объект характеризуется в работах Д.В. Березина, Л.Ю. Анисимова, В.Р. Бородина, П.В. Пипунырова, Е.В. Купцовой, Э. Дюркгейма, А.Р. Рэдклифф-Брауна, Т. Парсонса, П. Сорокина, М. Хоркхаймера и Т. Адорно, Э. Гидденса и многих других. Вопросы развития клубных домов в России в силу «свежести» данных типов домов до настоящего времени в научных трудах отечественных и зарубежных авторов рассматривались недостаточно и требуют изучения.

Также используется междисциплинарный подход, учитывающий влияние социологических, психологических, инженерных аспектов на архитектурное проектирование клубных домов, представленных в научных статьях смежных направлений [13–20].

На основе анализа проектных решений рассмотренных клубных домов Москвы выявлены их основные характеристики. Рекомендации по архитектурному проектированию клубных домов представлены в разделе «Результаты исследования».

Среди проанализированных проектов оказались здания клубных домов, представленные ниже.

Клубный дом «Агаларов Хаус», ул. Большая Грузинская, г. Москва, 1997 г.

Одним из первых домов клубного класса считается «Агаларов Хаус», названный по имени создателя президента Srocus Group Араза Агаларова. Здесь насчитывается 34 квартиры площадью от 120 м². Предприниматель сам формировал круг будущих соседей, что свойственно закрытому клубному формату. Характерной чертой дома является переменная этажность, он состоит из трех секций в 5, 9 и 13 этажей. Фасады облицованы кирпичом. Особого внимания заслуживают интерьерные решения входной группы. Это визитная карточка амбициозного дома — холлы с отделкой из каррарского мрамора, подлинные картины нидерландских художников XIX в. на стенах, хрустальные люстры, живые цветы. Высокий уровень инженерно-технического оснащения поддерживается собственной службой эксплуатации. Дом оборудован центральной системой кондиционирования, приточно-вытяжной вентиляцией, инновационной системой пожаротушения и оповещения, современными системами связи и телекоммуникаций. Подземную часть здания занимает трехуровневый паркинг с автомойкой.

Безопасность обеспечивается круглосуточной охраной, ведется видеонаблюдение. В клубном доме есть 17-метровый бассейн, сауна, турецкая баня, работает элитный фитнес-клуб и итальянский салон эстетической медицины. На внутренней территории комплекса разбит роскошный сад с фонтаном, а прилегающая территория также транслирует одновременно простор, элитность и приватность (рис. 1).



Рис. 1. Клубный дом «Агаларов Хаус», Москва, 1997 г.¹

Клубный дом «Vesper Tverskaya (Веспер Тверская)», г. Москва, 2023 г. (архитектурное бюро SPEECH)

Данный архитектурный комплекс состоит из двух отдельных объемов, которые объединены общей надземной частью высотой в два этажа: гостиницы и апарт-отеля. Подземная часть предназначена для инженерно-технических помещений и парковки. В северной части фасада расположен вход в метро «Маяковская», в южной — вход в гостиничный комплекс.

На архитектурное решение здания повлияла атмосфера 1-й Тверской-Ямской улицы и Триумфальной площади. Архитекторы при разработке проекта уделили особое внимание сохранению масштаба этой центральной части города и традициям детальной проработки фасадов. Эти факторы определили скромную высоту здания (35,85 и 44,25 м) и использование натурального камня для отделки фасадов. Стилистика классической архитектуры прослеживается в общей симметрии, структуре карнизов, горизонтальных поясов и вертикальных пилонов. Первые два этажа комплекса, выделяющиеся по высоте, предназначены для общественных функций и сделаны из темного камня, в то время как остальные корпуса имеют светло-бежевую облицовку, гармонирующую с окружающей застройкой.

¹ Agalarov House — клубный дом рядом с Московским зоопарком. URL: <https://agalarov-house.com>

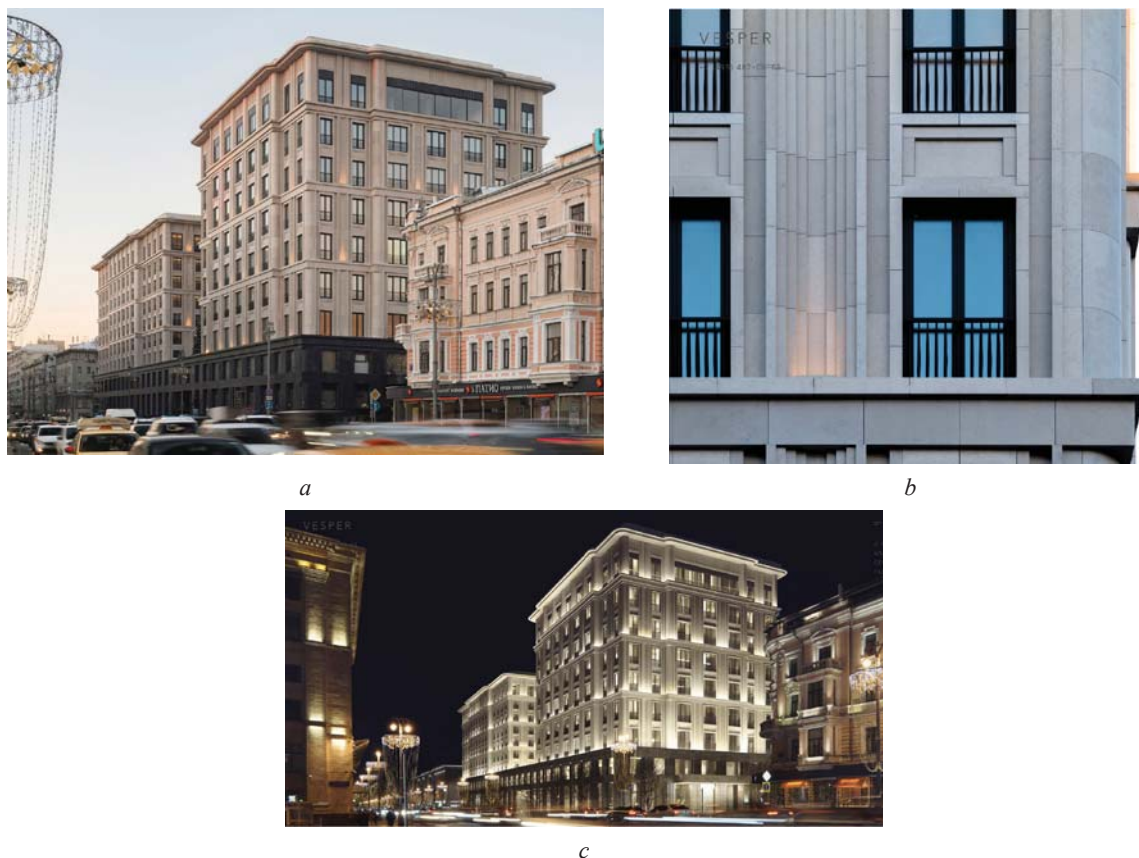


Рис. 2. Клубный «Веспер Тверская»²: а — архитектурный облик в дневное время; б — фрагмент фасада; с — архитектурный облик в ночное время

Фасады комплекса выполнены в неоклассическом стиле, с выраженным цоколем и ярусной композицией, однако они также имеют уникальные элементы, такие как закругленные формы карниза и ризалита, придающие зданию современный вид. Для создания сложной формы карниза использовался стеклофибробетон с имитацией камня. Этот элемент стал значительным дополнением к общему облику здания и хорошо сочетается с натуральным камнем, используемым для фасадов (рис. 2).

Клубный дом «Дом с атлантами», ул. Солянка, г. Москва, 1882 г. (архитектор В. Карнеев, реставрация архитектурного бюро «Цимайло Ляшенко и Партнеры»)

Одним из старейших отреставрированных домов, впоследствии ставших клубным, является «Дом с атлантами», возведенный в 1882 г. на ул. Солянка в Москве. Это четырехэтажный особняк в классическом стиле, спроектированный и построенный Василием Карнеевым, одним из учредителей Московского архитектурного общества, стал визитной карточкой района того времени. В его интерьерах воплотились роскошь и передовые инженерные разработки, включая лифт и своды Монье. Первый этаж дома был занят чайным магазином, принадлежащим династии купцов 1-й гильдии Расторгу-

евых, а квартиры выше сдавались в аренду. Позже здание приобрел Павел Харитоненко, промышленник и крупный меценат, возглавлявший Московское отделение Русского музыкального общества. На третьем этаже апартаменты арендовала семья Ляпуновых, известная своей коллекцией живописи, переданной в Третьяковскую галерею. После передачи дома Академии медицинских наук СССР его стены «ожили» благодаря проживающим здесь известным ученым, в числе которых были физик Петр Лазарев и химик Сергей Наметкин. В 2019 г. здание реконструируется по проекту архитектурного бюро «Цимайло Ляшенко и Партнеры».

Этот дом встроен в исторический контекст белого города с его извилистыми улочками и множеством старинных храмов. В его окрестностях можно найти множество достопримечательностей, включая парк «Зарядье», Кремль, Большой и Малый театры и многое другое. В архитектурном комплексе дома находятся 12 квартир с общей террасой, 4 двухуровневых резиденции с патио, что не совсем характерно для Москвы, вилла и 2 пентхауса с террасами (рис. 3).

Клубный дом «DUO» на Софийской набережной, г. Москва, 1860 г. (архитектор И. Черник, реставрация архитектурного бюро Marco Casamonti)

² Vesper Tverskaya. URL: <https://f-vr.ru/>

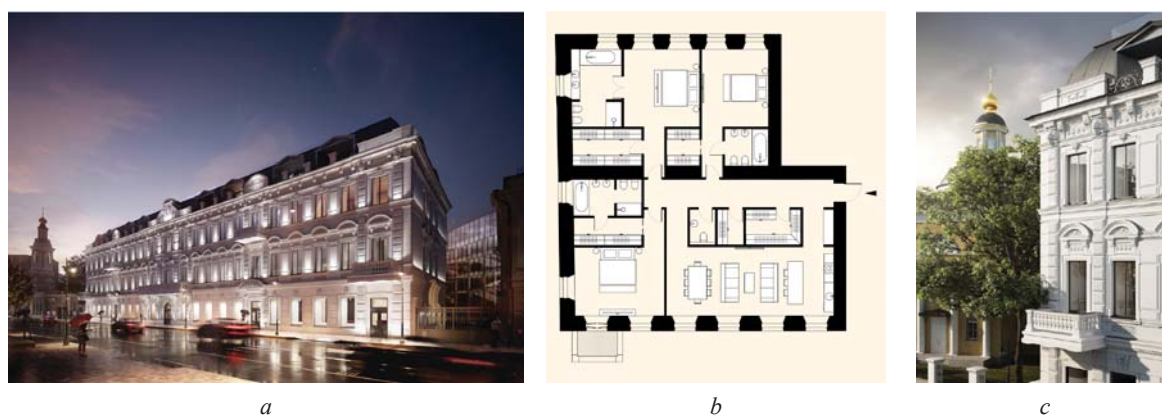


Рис. 3. Клубный дом «Дом с атлантами», ул. Солянка, г. Москва³: *a* — архитектурный облик; *b* — план квартиры; *c* — фрагмент фасада

Еще одним примером реставрации старого фонда является реставрация дома на Софийской набережной, имеющего двухвековую историю. Сохранившаяся до нашего времени половина первоначального здания — часть уникального архитектурного проекта «Кокоревское подворье», выполненного по проекту Ивана Черника в 1860 г. В разное время в доме жили и останавливались такие знаковые личности, как Иван Крамской, Василий Polenov, Лев Толстой, Петр Чайковский. В центре здания по проекту сохранена арка, концептуально соединяющая историческую часть с современной.

Семиэтажный клубный дом площадью 18,7 тыс. м² рассчитан на 49 квартир, включая 4 пентхауса и 2 двухуровневые квартиры. Особое внимание уделено сохранению оригинальных элементов и приспособлению помещений под современные требования к недвижимости класса *deluxe*. Под новой частью комплекса будет расположен подземный паркинг. В настоящее время итальянское архитектурное бюро Marco Casamonti приступило к бережной реставрации проекта «DUO» в соответствии с требованиями Департамента культурного наследия Москвы. Этапы работ включают противоаварийные мероприятия по фасаду, укрепление наружных стен, усиление фундамента и восстановление несущей способности внутренних стен. Основной целью проекта является сохранение и подчеркивание уникальности исторической части комплекса, сочетая ее с современными решениями. Общественные пространства исторического здания будут «оживлены» восстановленными элементами, такими как чугунная лестница и камин, сохраняя его аутентичность и эстетику. Необычная концепция проекта проявляется в каждой детали, включая сохранение оригинальной каменной кладки и кирпичных сводов, а также восстановление дымовых труб, позволяющих установить их во всех пентхаусах (рис. 4).

³ Дом с атлантами. URL: <https://atlant.house>



Рис. 4. Клубный дом «DUO» на Софийской набережной, г. Москва⁴: *a* — фасад; *b* — вид с высоты птичьего полета

Клубный дом «Stolesnikov 7», ул. Столешников, г. Москва, 1882 г. (архитектор А. Эрихсон, реставрация архитектурного бюро «Цимайло Ляшенко и Партнеры»)

Следующим примером является клубный дом «Stolesnikov 7». В начале XIX в. там, где сейчас располагается элитный дом, стоял особняк, принадлежавший французскому балетмейстеру Жану Лами-рало. Он преподавал в училище при императорских театрах (ныне известных как Большой и Малый) и руководил московской балетной школой. 117 лет назад на месте старого здания был возведен дом

⁴ DUO. Клубный дом на Софийской набережной, г. Москва. URL: <https://duo.moscow>



Рис. 5. Клубный дом «Stolesnikov 7», ул. Столешников, г. Москва⁵: а — фасад; б — интерьер лобби; с — элементы фасада в стиле ар-нуво

по проекту Адольфа Эрихсона. На счету мастера множество работ в стиле ар-нуво, признанных эталонными и имеющими всемирную культурную ценность. Дом принадлежал виноторговцу Егору Леве, на первом этаже располагался его фирменный магазин. Торговая марка Леве была культовой в России, что подтверждается упоминанием в романе Льва Толстого «Анна Каренина». В доме расположены 12 квартир, в каждой из которых люксовая отделка и дровяной камин, и также 1 пентхаус на самом верхнем уровне дома. Структура здания состоит из железобетонных колонн, деревянные рамы на алюминиевом каркасе с газонаполнением и повышенной шумоизоляцией. В том числе спроектированные по современным стандартам электричество, вентиляция и кондиционирование, отопление и системы пожарной сигнализации и пожаротушения. Архитектура стиля ар-нуво ярко прослеживается в фасадах дома. Фасадные элементы устремлены вверх и характерно подчеркивают легкую вертикаль дома, масштабные большие окна, в том числе обтекаемых форм, также подчеркивают легкость и ажурность архитектурного контура, впускают в квартиру большое количество естественного света, что немаловажно в современных условиях норм инсоляции. Немаловажной деталью при проектировании или реставрации клубного дома является входная группа, лобби. Предпочтение в отделке отдается натуральным дорогостоящим материалам, подчеркивающим уникальность и элитность архитектуры, таким как натуральный камень, металл, мрамор различных пород, натуральное дерево в различной обработке. Если проект реставрирует уже имеющееся убранство интерьера, то предпочтение отдается сохранению старинных элементов, выделению их в акцент интерьера, подчеркивающий историческую сущность архитектуры (рис. 5).

Клубный дом «Ильинка 3/8», Богоявленский переулок, г. Москва, 1882 г. (архитектор А. Никитин, реставрация архитектурного бюро Kleinewelt Architekten)

Клубная резиденция находится в непосредственной близости к Кремлю. На участке проектирования располагаются три знаковых архитектурных объекта — два здания Теплых торговых рядов и руины одного из корпусов Богоявленских торговых линий, малая часть комплекса первых в России отапливаемых торговых построек XIX в., почти полностью уничтоженного в 2000-х годах. Новые структуры будущего жилого комплекса возводятся на месте утраченных исторических зданий.

При проектировании архитектуры комплекса вдохновением послужила образная интерпретация древних московских каменных палат и дворцов. Основная идея проекта заключается в воссоздании многосторонней исторической структуры. Интеллектуальное насыщение, многомерность исторического контекста и его переосмысление стали ключевыми идеями в работе над проектом. Контурные формы арочных окон исторических зданий плавно переходят в очертания новых объемов. Характерные штрихи каменной кладки напоминают о белокаменной резьбе в Георгиевском соборе в Юрьеве-Польском. На первых этажах кладки новых зданий присутствуют вставки с каменными рельефами, изображающие сказочных зверей и орнаменты, которые отсылают к элементам фасадов старинных памятников архитектуры домонгольской Руси, каждое сказочное животное является «хранителем» для одного из корпусов. В комплексе спроектированы 7 особняков, 3 из которых подлинные отреставрированные исторические здания. В шаговой доступности к жилым корпусам находится парк «Зарядье», Александровский сад и набережная Москвы-реки. Кроме того, жилой комплекс включает закрытый охраняемый двор-сад с ландшафтным озеленением, мощеными дорожками с интегрированными чугунными элементами. Особенностью комплекса служат бесшумные системы комфорта, обслуживающие особняки, в них входят современные систе-

⁵ Stolesnikov 7. URL: <https://stoleshnikov7.com/>

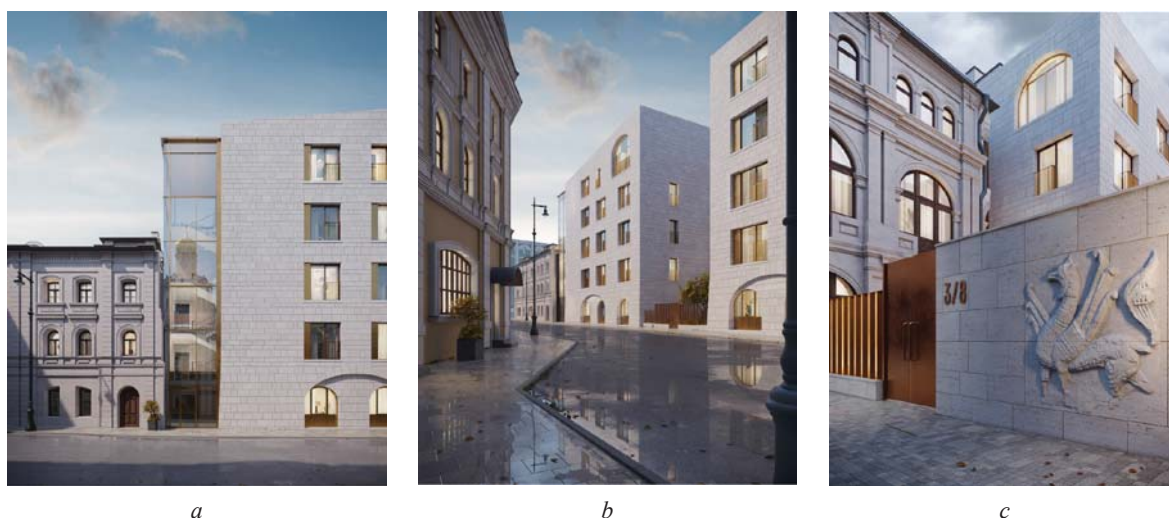


Рис. 6. Клубный дом «Ильинка 3/8» в Богоявленском переулке, г. Москва⁶: *a* — фасад; *b* — вид из внутреннего двора; *c* — элементы фасада

мы вентиляции, увлажнения воздуха, очистки воды, уникальные звукоизоляционные системы. Также на территории комплекса особняков для жителей оборудованы клубные пространства, подчеркивающие приватность, позволяющие комфортно существовать и реализовывать большинство потребностей (рис. 6).

Клубный дом «Саввинская 17» на Саввинской набережной, г. Москва, 2022 г. (архитектурное бюро Al Stidio, London)

Четырехэтажный клубный дом расположен в ранее производственном районе Хамовники, который получил свое название благодаря ткачам-хамовникам, сейчас этот район Москвы является одним из самых престижных и комфортных для проживания. Проект интересен историей участка, контекстом, который одновременно и усложняет, и подсказывает направление развития концепции здания; сложным рельефом, имеющим уклон, который продиктовал объем, вытянутый вглубь, основной жилой частью приподнятый над общественной, и расположением проекта на участке. Проект включает 22 квартиры делюкс-класса, в большинстве из которых концептуально предусмотрен вид на набережную реки. Отличительной особенностью этого клубного дома служит высота потолков этажей, достигающая до 7 м. Намеренное увеличение пространства для одной жилой единицы, квартиры, было задумано и выполнено с целью уменьшения количества квартир, создания более приватной и клубной атмосферы.

Фасады здания выполнены из архитектурного бетона с эффектом терракоты. Современный облик органично интегрирован в окружающую среду, гармонично соседствующую с окружающей застройкой. Особое внимание было уделено фасадам, выхо-

дящим на набережную, чтобы здание было заметно с различных точек города. В архитектурной концепции стремились достичь эффекта «здания, высеченного из глыбы светлого камня». Инфраструктура клубного дома подчеркивает его камерность, в общественной части размещены всего два коммерческих помещения, одно из которых осуществляет функцию ресторана с летней верандой. Также для жителей предусмотрены механизированный подземный паркинг с функцией зарядки электромобилей, детские площадки и площадки для отдыха взрослого населения в закрытом внутреннем дворе (рис. 7).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Не бывает двух одинаковых клубных домов, так как они либо строятся по уникальным проектам, отличающимся эксклюзивной архитектурой и дизайном, либо создаются на базе исторически значимых объектов, подвергшихся реконструкции, но сохранивших свой первоначальный облик. Однако анализ архитектурных решений рассмотренных клубных домов позволил определить общие черты данного типа жилища.

1. Престижный район (преимущества расположения с точки зрения экологии — на окраине, поблизости с природой, или с точки зрения транспортного удобства — в тихом центре города; живописный вид из окон).

2. Развитая инфраструктура (расположение в районах с большой концентрацией объектов коммерческого, административного, бытового назначения; близость к культурным центрам, памятникам архитектуры; транспортная доступность, удобство подъезда к территории дома; разветвленная сеть персонального обслуживания для жильцов дома, куда доступ посторонних лиц возможен только по клубным картам или приглашениям владельцев квартир).

⁶ Ильинка 3/8. URL: <https://ilyinka.ru/>



a



b

Рис. 7. Клубный дом «Саввинская 17» на Саввинской набережной, г. Москва⁷: а — фасад; б — вид на внутренний двор

3. Удобный паркинг (закрытый наземный или подземный, с возможностью парковки на охраняемой придомовой территории из расчета не менее 1, чаще 2 машиноместа на квартиру; доступ на парковку в некоторых проектах непосредственно с уровня квартиры с помощью индивидуального лифта).

4. Безопасность придомовой территории (огороженная прилегающая территория; консьерж, собственная служба охраны со стационарным постом на входе в дом, въездах в паркинг, въездах во двор; система видеонаблюдения на входе в дом, по периметру дома, на лестницах и лестничных клетках, перед входом в квартиру; пожарная безопасность — установка систем сплинклерного пожаротушения, оповещения о пожаре и дымоудалении с выводом информации на единый диспетчерский пункт и дублированием на пункт охраны; круглосуточная диспетчеризация всех инженерных сетей и систем; система быстрого информирования и реагирования на сбои и аварии; система уведомления о доступе третьих лиц на территорию).

5. Уникальность архитектурного проекта. Внешние элементы здания прорабатываются с учетом рельефа и окружающего ландшафта для создания уникального облика. Благоустройство территории выполняется с глубокой проработкой ландшафтного дизайна, включением малых архитектурных форм. Богатство материалов, форм в виде сфер (купола), цилиндров и сложных многогранников; установка скульптур, барельефов и горельефов; отсутствие стандартных типовых решений в объеме и на придомовой территории — каждая деталь решается как самостоятельная архитектурная и дизайнерская задача. Клубный дом обычно возводится по авторскому проекту известного архитектора и может претендовать на уровень архитектурного памятника местного значения. Большинство клубных домов спроектировано в классическом стиле, это объясняется тем, что около 30 % таких домов — реконстру-

ированные старинные особняки. Так как эти здания являются объектами культурного наследия, законодательство запрещает вносить существенные изменения в их облик. Дома старого фонда имеют свои достоинства, среди которых уникальные фасады, просторные парадные, высокие потолки со старинной лепниной, часто удачное расположение в инфраструктуре устоявшегося города.

6. Ограниченное количество квартир и этажей. Дома клубного типа проектируются около 3–6 этажей, на каждом этаже 2–4 квартиры. Чтобы гарантировать уединение в центре большого города, потенциальным покупателям иногда предлагаются квартиры, занимающие этаж. Классически в клубном доме не должно быть более 40 квартир, однако в современной действительности их количество увеличилось до 70, а в некоторых жилых комплексах их количество достигает 130–150 и, тем не менее, дом считается клубным, объединяя соседей по социальному статусу и достатку.

7. Повышенная комфортность объемно-планировочных решений (повышенные характеристики площадей (1-комнатные квартиры от 45 м², 2-комнатные от 60 м², 3-комнатные от 80 м², 4-комнатные от 100 м²; площади кухонь от 12 м²); высота потолков от 3 м; свободная планировка квартир; часто наличие пентхаусов, двухуровневых квартир, балконов, лоджий, террас большой площади; возможность зонирования квартиры на гостевое пространство и приватные зоны; наличие не менее двух санузлов в квартирах свыше двух комнат. Расширенная номенклатура услуг в общественных зонах: лобби, рестораны, кинотеатры, винные и сигарные комнаты, бани, сауны, бассейны, спортивные комплексы, спа-зоны, зоны отдыха на территории домов, площадки для пикников, детские и спортивные площадки и др.

8. Высококачественное инженерное обеспечение (энергоснабжение свыше 10 кВт на квартиру, аварийное электроснабжение дома; централизо-

⁷ Саввинская 17. URL: <https://whitewill.ru/savvinskaya-17>

ванная приточно-вытяжная вентиляция; внешние сплит-системы, дополнительные уровни водоподготовки, воздухоподготовки; отопление автономное или центральное (индивидуальный тепловой пункт); лифты скоростные, с индивидуальной отделкой кабин; современные слаботочные и коммуникационные сети; биметаллические радиаторы с терморегулятором; предусмотрены места для кондиционеров, дренажная система; реализуется система «умный дом»).

9. Высококачественные конструктивные решения. Клубный дом обычно представляет собой бескаркасное из керамического кирпича и монолитное железобетонное каркасное здание. Остекление выполняется из современных фиброгласовых и деревянных профилей верхней ценовой ниши со стеклопакетами из энергосберегающих стекол. Повышенная площадь остекления (с учетом климатического районирования).

10. Высокое качество отделочных и строительных материалов. Для отделки используют высококачественные и экологичные материалы, например породы природного камня (гранит, мрамор, травертин), ценные породы древесины, керамогранит, изразцовую керамику, декоративную штукатурку, патинированную латунь, закаленное стекло, архитектурную бронзу и др., материалы с низким содержанием летучих органических соединений.

11. Единство интересов жителей комплекса. Изначально статус клубного дома строго поддерживался за счет отбора будущих владельцев на соответствие требованиям к проживающим в таком доме. Собеседования проводились специальными агентствами, застройщиком, либо новые соседи появлялись по рекомендациям уже проживающих в нем людей. В настоящее время такой формат хотя и существует, но уже ушел на второй план, уступив место экономическому типу отбора: любой желающий может приобрести в собственность подобную недвижимость, если располагает достаточным ко-

личеством средств не только на ее приобретение, но и ежемесячное содержание.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Клубные здания являются материальным отражением социального заказа на развитие новейшей политики экологизации и повышения устойчивости развития среды обитания. Уменьшение плотности населения и застройки, ограничение этажности зданий, максимальное озеленение и благоустройство территории здания, создание интересной нетиповой и нетривиальной архитектуры, включающей элементы искусства, повышение характеристик безопасности жилища, применение только экологичных высококачественных материалов — все это говорит о стремлении к организации более камерной и гуманной среды обитания. Такая уникальная среда позволяет «очеловечить» облик соседей, чего не получается достичь при жилье в многоэтажных многоквартирных плотно заселенных домах — «человейниках».

В то же время развитие клубных домов стимулирует процесс имущественного расслоения общества. Естественно, в таком формате жилища собираются только состоятельные граждане, позволяющие себе высокий уровень комфорта, при этом большая часть граждан не может претендовать ни на какой комфорт.

Но, несмотря на подобное расслоение, высокая планка архитектурно-художественного образа клубных домов дает огромный положительный эффект, обогащая среду нашего обитания, наполняя ее новыми культурными смыслами и эстетическим уровнем. И это ставит сложную, но интересную задачу перед современными архитекторами — использовать в массовом жилищном строительстве хотя бы элементы архитектурных решений клубных домов; дополнить однообразную жилую застройку подобным качеством архитектуры, которая вызывает глубокие эмоциональные впечатления и транслирует информацию о новых жилищных стандартах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Малиновский Б.* Избранное. Динамика культуры / пер. с англ. И.Ж. Кожановская, В.Н. Порус, Д.В. Трубочкин. М. : РГБ, 2008.
2. *Литвинцев Д.Б.* Категория жилища в трудах классиков социологии XIX–XX вв. // Журнал социологии и социальной антропологии. 2020. Т. 23. № 1. С. 7–34. DOI: 10.31119/jssa.2020.23.1.1. EDN QDGHJC.
3. *Иванова Е.П., Семенова Н.В., Султанова Н.П.* Особенности проектирования жилых домов клубного типа // Студент и наука. 2023. № 4 (27). С. 11–18. EDN NUPIDH.

4. *Зиятдинов З.З., Михалчева С.Г.* Клубные дома в крупном городе: определение, философия, резоны // Архитектон: известия вузов. 2022. № 4 (80). DOI: 10.47055/1990-4126-2022-4(80)-22. EDN XRYVVB.

5. *Зиятдинов З.З., Михалчева С.Г., Херувимова И.А., Зиятдинов Т.З.* Морфотипы жилой застройки в структуре крупного города // Архитектон: известия вузов. 2020. № 2 (70). С. 10. DOI: 10.47055/1990-4126-2020-2(70)-10. EDN NHJVAO.

6. *Карманов П.П.* Что такое клубный дом? // Архитектура и время. 2018. № 3. С. 26–27. EDN XYYYYJV.

7. Гельфонд А.Л. Архитектура зданий и сооружений в исторической среде городов как предмет исследования // Архитектура зданий и сооружений в исторической среде городов : сб. докл. Междунар. науч. конф. 2024. С. 5–7. EDN NZJOL.

8. Духанина Е.С., Гельфонд А.Л. Актуальные подходы к архитектурному формированию клубных зданий // Архитектон: известия вузов. 2021. № 3 (75). DOI: 10.47055/1990-4126-2021-3(75)-2. EDN OLOTER.

9. Зиятдинов З.З., Михалчева С.Г. Динамика морфологии жилья крупного города в 2000–2022 // Архитектон: известия вузов. 2023. № 1 (81). DOI: 10.47055/19904126_2023_1(81)_3. EDN DBBSYN.

10. Ключко А. Архитектура жилища в условиях перемен // Проект Байкал. 2022. Т. 19. № 71. С. 124–131. DOI: 10.51461/projectbaikal.71.1952. EDN PYNXX.

11. Klochko A.R. Visions of the Future of Post-Industrial and Post-Pandemic Housing Architecture // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 988. Issue 4. P. 042077. DOI: 10.1088/1755-1315/988/4/042077

12. Булгакова Е., Дубынин Н., Ключко А. «Черные дома» — праздник или будни города? Некоторые вопросы апгрейда архитектуры // Проект Байкал. 2020. Т. 17. № 63. С. 155–165. DOI: 10.7480/projectbaikal.63.1612. EDN AZZCAJ.

13. Крашенинников А.В. Социальная интеграция в моделях городской среды // Архитектура

и современные информационные технологии. 2018. № 4 (45). С. 329–338. EDN YOBKDZ.

14. Del Pino Artacho J.A. Sociology of residence and mobile residence: Theoretical advances and practical limits // Empiria Revista de metodología de ciencias sociales. 2014.

15. Hatuka T., Bar R. Navigating housing approaches: a search for convergences among competing ideas // Housing, Theory and Society. 2017. Vol. 34. Issue 3. Pp. 277–296. DOI: 10.1080/14036096.2016.1223166

16. Кияненко К.В. К российской социологии жилища // Социология и общество: проблемы и пути взаимодействия : мат. III Всерос. социологического конгресса. 2008. EDN UXDBSM.

17. Мертон Р.К. Социальная теория и социальная структура / пер. с англ. Е.Н. Егоровой и др. М. : АСТ : Хранитель, 2006. 873 с.

18. Бурдые П. Социология социального пространства / общ. ред., пер. Н.А. Шматко. М. : Ин-т эксперим. социологии; Алетейя. Ист. кн., 2005. 288 с.

19. Самарин О.Д., Ключко А.К. Решение задач нестационарной теплопередачи, энергосбережения и управления климатическими системами. М. : МИСИ-МГСУ, 2022. 93 с. EDN RWSUIX.

20. Ключко А.К., Ключко А.Р. Преимущества графического метода определения коэффициента инсоляции для вертикального остекления // Строительство: наука и образование. 2019. Т. 9. № 1 (31). С. 6. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.1.6. EDN IOXIEJ.

Поступила в редакцию 26 апреля 2024 г.

Принята в доработанном виде 26 апреля 2024 г.

Одобрена для публикации 11 мая 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: **Асмик Рубеновна Ключко** — кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; KlochkoAR@mgsu.ru;

Елизавета Александровна Ларкина — бакалавр кафедры архитектуры; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ums_lea@mail.ru.

Вклад авторов:

Ключко А.Р. — идея, написание статьи, научное редактирование текста.

Ларкина Е.А. — сбор, обработка материала, написание статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

The development of human society has led to total control over the environment. In the words of B. Malinowski, “The human body, even among those peoples who have no noteworthy clothing, is not directly exposed to wind, precipitation and sun. It is protected by a cultural shell, which is a shelter or dwelling” [1]. At the same time, the dwelling is a material structure,

and its design is directly related to the need for security. The development of cities, the spread of apartment buildings naturally isolated man from nature. The separation of urban dwellings from workplaces has sharpened the division between private and public spheres: “City dwellers withdraw into the private life flowing within the walls of their flats and hide certain things from the judgement of the public” [2]. The security of the home over time in the worldview of people turns

everything else that is outside the home into something hostile, dangerous, thus increasing the desire to increase the level of security more and more (fences and walls, protected areas around the house, 24-hour concierges and guards, security and surveillance systems, etc.). Moreover, social inequality leads to inequality of qualitative and environmental characteristics of dwellings in the level of their security. The concepts of housing luxury, elite houses, etc. emerge. This phenomenon is not modern, in the history of humankind there are countless evidences of achieving a grandiose level of housing luxury by rich people. Prestige and luxury of a dwelling is a certain measure of success and confirmation of status, belonging to this or that rank. It can be said that the characteristics of the dwelling depend on the level of development of the country and are a product of the history of humankind.

The emergence of a new type of dwelling in the urban environment, especially in cities with a million inhabitants, such as a clubhouse, is a natural trend in the development of modern society.

The history of clubhouses began in European countries. The main idea of such elite real estate is to create a cozy private space of high comfort, uniting a small number of residents with common interests, profession, worldview, which is necessary to create a comfortable emotional climate in this community.

In Russia, the first clubhouses began to form in the early twentieth century. They were erected mainly in Moscow and were designed for famous political leaders, military, scientists, writers, architects and builders, composers and artists, athletes. At that time, such objects were built on Prechistenskaya Embankment, Patriarch's Ponds and Ostozhenka [3].

In their studies Z.Z. Ziyatdinova, S.G. Mikhacheva [4, 5] offer the following formulation of the concept of "clubhouse": It is an apartment complex belonging to the class of elite real estate, which is distinguished by the simultaneous presence, along with residential flats, of public club rooms of closed type in the basement and/or ground, attic floors, as well as on the exploited roof (servicing of residents and their guests); compact placement of residential cells; storeys up to 7–8 floors; location of no more than 2–3 flats on one site; large areas of flats (usually from 100 m²); location in prestigious, ecological and infrastructurally developed urban areas with landscaped territory.

MATERIALS AND METHODS

The methods of review, comparative analysis and synthesis of scientific, literary sources [6–12] and project materials related to the development of clubhouse architecture are applied. The projects of clubhouses in Moscow, presented in the open access Internet, were analyzed.

The scientific literature was searched in the scientific electronic eLibrary; electronic databases including

Scopus, Web of Science, using relevant keywords including: clubhouse, clubhouse architecture.

The search was limited to articles published in Russian since 2015.

Social inequality in dwelling architecture was studied by K.V. Kiyanenko, D. Litvintsev, V. Zombart, R. Merton, T. Veblen, P. Bourdieu and others. Dwelling as a physical architectural object is characterized in the works of D.V. Berezin, L.Y. Anisimov, V.R. Borodin, P.V. Pipunirov, E.V. Kuptsova, E. Durkheim, A.R. Radcliffe-Brown, T. Parsons, P. Sorokin, M. Horkheimer and T. Adorno, E. Giddens and many others. The development of clubhouses in Russia due to the "freshness" of these types of houses has not been considered sufficiently in the scientific works of domestic and foreign authors so far and requires study.

An interdisciplinary approach is also used, taking into account the influence of sociological, psychological, engineering aspects on the architectural design of clubhouses presented in scientific papers of related fields [13–20].

Based on the analysis of design solutions of the reviewed Moscow clubhouses, their main characteristics are revealed. Recommendations on architectural design of clubhouses are presented in the section "Results of the study".

Among the projects analyzed were the clubhouse buildings shown below.

Agalarov House Clubhouse, Bolshaya Gruzinskaya Street, Moscow, 1997

Agalarov House, named after the creator of Crocus Group President Araz Agalarov, is considered to be one of the first houses of the club class. There are 34 flats with the area from 120 m². The entrepreneur himself formed the circle of future neighbours, which is characteristic of the closed club format. A characteristic feature of the house is its variable storey, it consists of three sections of 5, 9 and 13 floors. The facades are faced with brick. The interior solutions of the entrance group deserve special attention. It is a business card of the ambitious house — halls with Carrara marble finishing, authentic paintings of Dutch artists of the XIX century on the walls, crystal chandeliers, and fresh flowers. The high level of engineering and technical equipment is maintained by the in-house maintenance service. The house is equipped with central air-conditioning system, supply and exhaust ventilation, innovative fire extinguishing and notification system, modern communication and telecommunication systems. The underground part of the building is occupied by a three-level car park with a car wash. Security is provided by round-the-clock security, video surveillance. The clubhouse has a 17-metre swimming pool, sauna, Turkish bath, elite fitness club and Italian salon of aesthetic medicine. A luxurious garden with a fountain is laid out on the inner territory of the complex, and the adjacent territory broadcasts at the same time spaciousness, elite and privacy (Fig. 1).



Fig. 1. Agalarov House Clubhouse, Moscow, 1997¹

Vesper Tverskaya (Vesper Tverskaya) Clubhouse, Moscow, 2023 (SPEECH architectural bureau)

This architectural complex consists of two separate volumes, which are united by a common above-ground part with a height of two floors: a hotel and an apartment-hotel. The underground part is intended for engineering and technical premises and car parking. In the northern part of the facade, there is the entrance to Mayakovskaya metro station, in the southern part — the entrance to the hotel complex.

The architectural design of the building was influenced by the atmosphere of first Tverskaya-Yamskaya Street and Triumfnaya Square. The architects paid special attention to preserving the scale of this central part of the city and the tradition of detailed facade design. These factors determined the modest height of the building (35.85 and 44.25 metres) and the use of natural stone for the facades. The stylistics of classical architecture can be traced in the general symmetry, the structure of cornices, horizontal belts and vertical pylons. The first two floors of the complex, which stand out in height, are intended for public functions and are made of dark stone, while the rest of the buildings have light beige cladding, harmonizing with the surrounding buildings.

The facades of the complex are designed in neo-classical style, with a pronounced plinth and tiered composition, but they also have unique elements, such as rounded forms of cornice and risalit, giving the building a modern look. Glass fibre concrete with stone imitation was used to create the complex cornice shape. This element was a significant addition to the overall appearance of the building and blends well with the natural stone used for the facades (Fig. 2).

Clubhouse “House with Atlantes”, Solyanka St., Moscow, 1882 (architect V. Karneev, restoration by architectural bureau “Tsimailo Lyashenko and Partners”)

One of the oldest restored houses that later became a clubhouse is the House with Atlantes, erected in 1882 in Solyanka Street in Moscow. This four-storey mansion in classical style, designed and built by Vasily Karneev, one of the founders of the Moscow Architectural Society, became a visiting card of the neighbourhood of that time. Its interiors embodied luxury and advanced engineering, including a lift and Monnier vaults. The ground floor of the building was occupied by a teashop belonging to the dynasty of first guild merchants Rastorguev, while the flats above were rented out. Later the building was purchased by Pavel Kharitonov, an industrialist and a major patron of the arts who headed the Moscow branch of the Russian Musical Society. On the third floor apartments were rented by the Lyapunov family, famous for their collection of paintings, which was transferred to the Tretyakov Gallery. After the house was handed over to the USSR Academy of Medical Sciences, its walls “came to life” thanks to the famous scientists living here, including physicist Pyotr Lazarev and chemist Sergei Nametkin. In 2019, the building will be reconstructed according to the project of the architectural bureau Tsimailo Lyashenko & Partners.

This house is embedded in the historical context of the white city with its winding streets and many ancient temples. In its vicinity, you can find many attractions, including Zaryadye Park, the Kremlin, the Bolshoi and Maly Theatres and many others. The architectural complex of the building includes 12 flats with a common terrace, four duplex residences with a patio, which is not quite typical for Moscow, a villa and two penthouses with terraces (Fig. 3).

Clubhouse “DUO” on Sofiyskaya Embankment, Moscow, 1860 (architect I. Chernik, restoration by Marco Casamonti architectural bureau)

Another example of restoration of the old foundation is the restoration of a two-century-old house on Sofiyskaya Embankment. The surviving half of the original building is part of the unique architectural project “Kokorevsky podvorye”, designed by Ivan Chernik in 1860. At different times such famous personalities as Ivan Kramskoi, Vasily Polenov, Leo Tolstoy and Peter Tchaikovsky lived and stayed in the house. In the centre of the building, the project preserves the arch that conceptually connects the historical part with the modern one.

The seven-storey clubhouse with an area of 18.7 thousand m² is designed for 49 flats, including four penthouses and two duplex flats. Special attention has been paid to preserving the original elements and adapting the premises to modern requirements for deluxe class property. Under the new part of the complex, there will be an underground car park. Currently, the Italian architectural bureau Marco Casamonti has started the careful restoration of the DUO project in accordance with the requirements of the Department of Cultural Heritage of Moscow. The stages of the work

¹ Agalarov House is a clubhouse near the Moscow Zoo. URL: <https://agalarov-house.com>

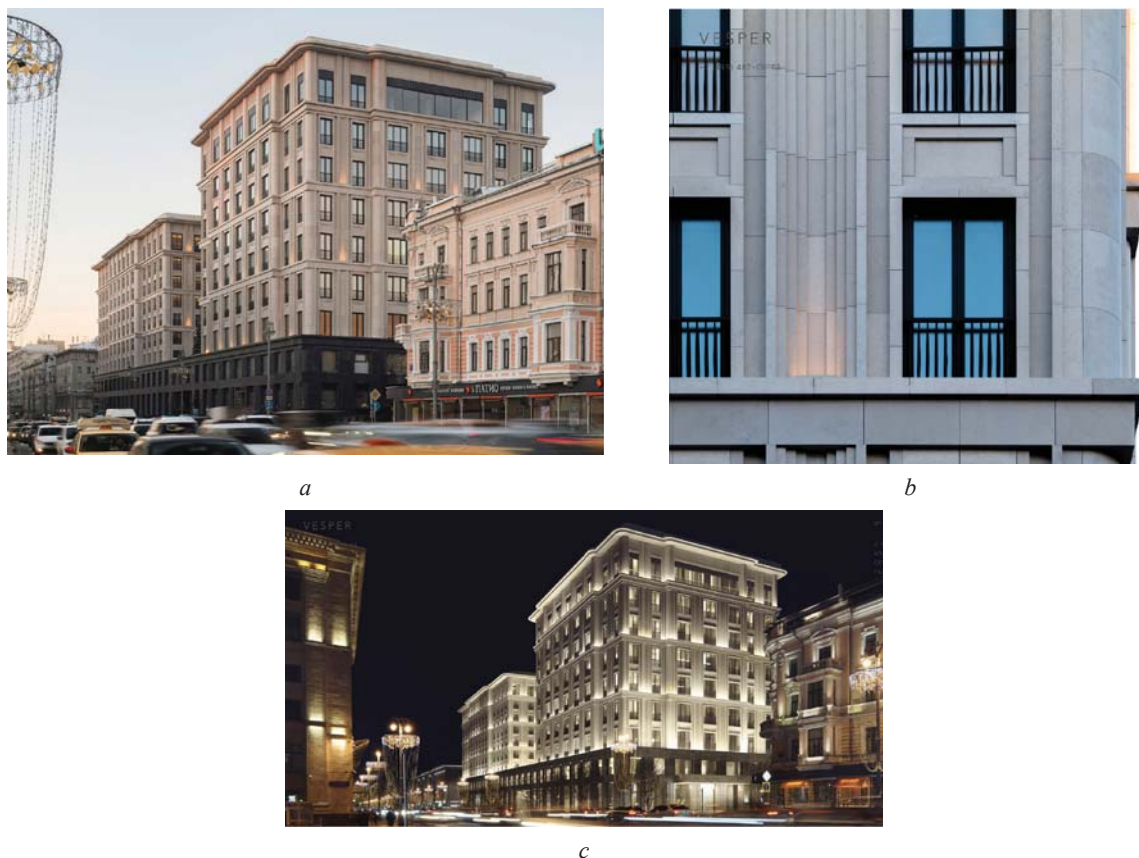


Fig. 2. Club “Vesper Tverskaya”²: *a* — architectural appearance during daytime; *b* — fragment of the facade; *c* — architectural appearance during nighttime

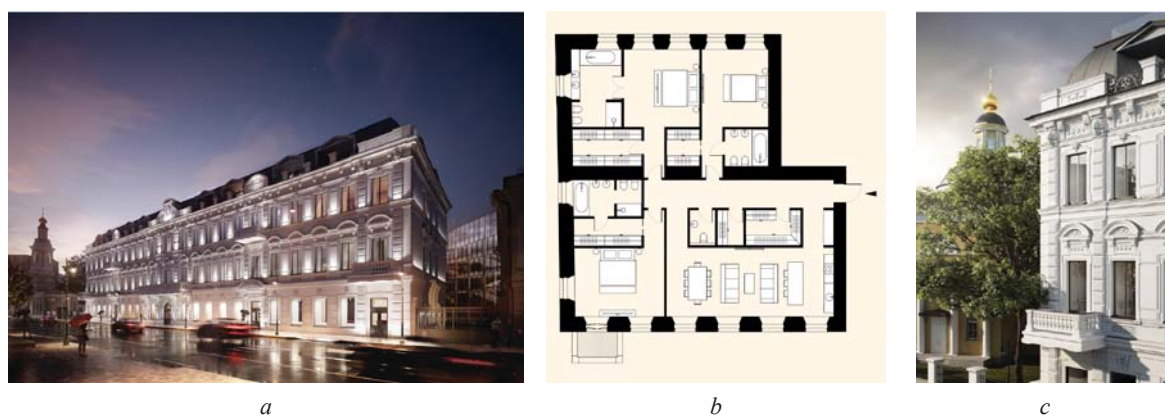


Fig. 3. Clubhouse “House with Atlantes”, Solyanka St., Moscow³: *a* — architectural appearance; *b* — flat plan; *c* — facade fragment

include anti-damage measures on the facade, reinforcement of the exterior walls, strengthening of the foundation and restoration of the bearing capacity of the interior walls. The main goal of the project is to preserve and emphasize the uniqueness of the historical part of the complex, combining it with modern solutions. The public spaces of the historic building will be “re-

vitalized” with restored elements such as the cast iron staircase and fireplace, preserving its authenticity and aesthetics. The unusual concept of the project is evident in every detail, including the preservation of the original stonework and brick vaults, as well as the restoration of the chimneys, allowing them to be installed in all penthouses (Fig. 4).

² Vesper Tverskaya. URL: <https://f-vr.ru/>

³ The house with the Atlanteans. URL: <https://atlant.house>



a



b

Fig. 4. Clubhouse “DUO” on Sofiyskaya Embankment, Moscow⁴: a — facade; b — bird’s-eye view

Clubhouse “Stolesnikov 7”, Stoleshnikov Street, Moscow, 1882 (architect A. Erichson, restoration by architectural bureau “Tsimailo Lyashenko and Partners”)

The next example is the clubhouse “Stolesnikov 7”. At the beginning of the 19th century, where the elite house now stands, there was a mansion belonging to the French ballet master Jean Lamiral. He taught at the Imperial Theatre School (now known as the Bolshoi and Maly Theatres) and directed the Moscow Ballet School. 117 years ago, a house designed by Adolf Erichson was erected on the site of the old building. The master is credited with many works in the Art Nouveau style, which are recognized as reference works of world cultural value. The house belonged to the wine merchant Yegor Leve, and on the ground floor was his specialty shop. Leve’s trademark was a cult brand in Russia, which is confirmed by its mention in Leo Tolstoy’s novel *Anna Karenina*. The building houses 12 flats, each with luxury finishes and a wood-burning fireplace, and one penthouse on the top level of the building. The structure of the building consists of reinforced concrete columns, timber frames on aluminium frame with gas filling and increased noise insulation. Including electricity, ventilation and air conditioning, heating, fire alarm, and fire suppression systems designed to modern standards. Art Nouveau architecture is clearly visible in the facades of the house. Facade elements are directed upwards and characteristically emphasize the light verticality of the house, large-scale

large windows, including streamlined forms, also emphasize the lightness and openwork of the architectural contour, let a large amount of natural light into the flat, which is important in modern conditions of insulation norms. An important detail in the design or restoration of a clubhouse is the entrance group, lobby. Preference in finishing is given to natural expensive materials that emphasize the uniqueness and elite architecture, such as natural stone, metal, marble of various species, natural wood in various treatments. If the project restores the existing interior decoration, preference is given to preserving ancient elements, highlighting them in the accent of the interior, emphasizing the historical essence of the architecture (Fig. 5).

Clubhouse “Ilyinka 3/8”, Bogoyavlensky pereulok, Moscow, 1882 (architect A. Nikitin, restoration by Kleinewelt Architekten)

The club residence is located in close proximity to the Kremlin. There are three iconic architectural objects on the project site — two buildings of the Warm Trade Rows and the ruins of one of the buildings of the Bogoyavlensky Trade Lines, a small part of the complex of Russia’s first heated trade buildings of the 19th century, almost completely destroyed in the 2000s. New structures of the future residential complex are being built in place of the lost historical buildings.

The architecture of the complex was inspired by the imaginative interpretation of ancient Moscow stone chambers and palaces. The main idea of the project is to recreate a multifaceted historical structure. Intellectual saturation, multi-dimensionality of the historical context and its reinterpretation were the key ideas in the work on the project. The contoured shapes of the arched windows of the historic buildings flow seamlessly into the outlines of the new volumes. The characteristic strokes of the masonry recall the white stone carvings in the St George’s Cathedral in Yuryev-Polsky. On the ground floors of the masonry of the new buildings there are inserts with stone reliefs depicting fairy-tale animals and ornaments, which refer to the elements of the facades of ancient architectural monuments of pre-Mongol Russia, each fairy-tale animal is a “guardian” for one of the buildings. The complex is designed with seven mansions, three of which are genuine restored historical buildings. The Zaryadye Park, Alexandrovsky Garden and the embankment of the Moskva River are within walking distance to the residential buildings. In addition, the residential complex includes a closed guarded courtyard-garden with landscaping, paved paths with integrated cast-iron elements. The peculiarity of the complex is the silent comfort systems serving the mansions, they include modern ventilation systems, air humidification, water purification, unique soundproofing systems. Also on the territory of the complex of mansions, there are club spaces for the residents, which emphasize privacy, allow them to live comfortably and fulfil most of their needs (Fig. 6).

⁴ DUO. Clubhouse on Sofiyskaya Embankment, Moscow. URL: <https://duo.moscow>



Fig. 5. Clubhouse “Stolesnikov 7”, Stoleshnikov Street, Moscow⁵: *a* — facade; *b* — lobby interior; *c* — Art Nouveau facade elements

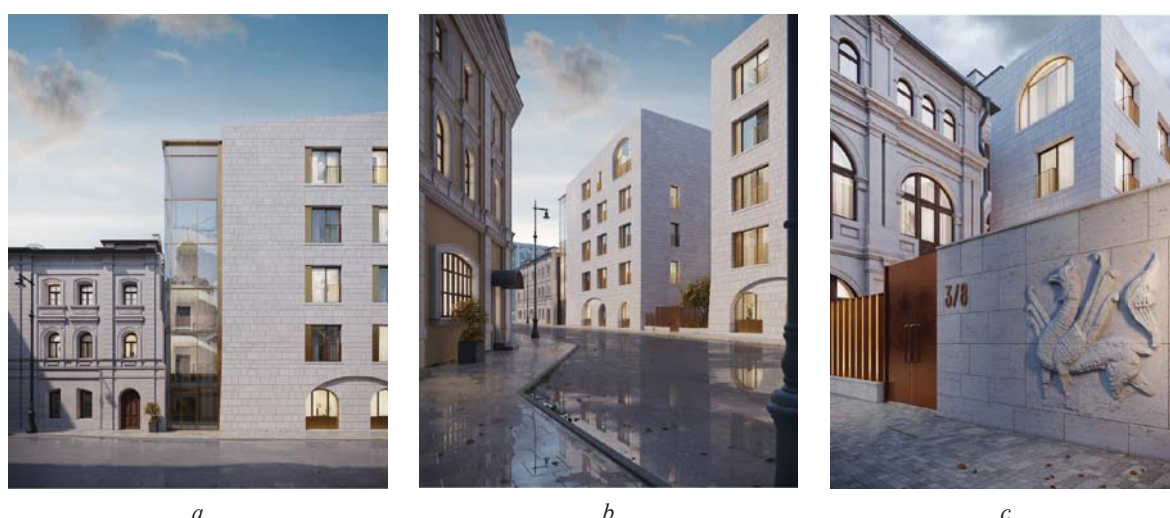


Fig. 6. Clubhouse “Ilyinka 3/8” in Bogoyavlensky Pereulok, Moscow⁶: *a* — facade; *b* — view from the courtyard; *c* — facade elements

Savvinskaya 17 Clubhouse on Savvinskaya Embankment, Moscow, 2022 (Al Stidio, London)

The four-storey clubhouse is located in the formerly industrial district of Khamovniki, which got its name thanks to the weavers, now this district of Moscow is one of the most prestigious and comfortable to live in. The project is interesting because of the history of the site, the context, which both complicates and suggests the direction of the building concept, the complex sloping topography, which dictates a volume that is elongated in depth, the main residential part elevated above the public part, and the location of the project on the site. The project comprises 22 deluxe flats, most of which are conceptually designed with riverfront views. A distinctive feature of this clubhouse is the ceiling height of the floors, which reaches up to seven metres. The deliberate increase of space for one living unit,

the flat, was conceived and executed in order to reduce the number of flats and create a more private and club-like atmosphere.

The facades of the building are made of architectural concrete with a terrazzo effect. The modern look is organically integrated into the surrounding environment, harmoniously neighbouring the surrounding buildings. Special attention was paid to the facades facing the embankment so that the building would be visible from various points in the city. The architectural concept endeavoured to achieve the effect of “a building carved out of a block of light stone”. The infrastructure of the clubhouse emphasizes its chamber-like character, with only two commercial premises in the public part, one of which functions as a restaurant with a summer veranda. The residents are also provided with a mechanized underground car park with electric car charging, children’s playgrounds and adult recreation areas in a closed courtyard (Fig. 7).

⁵ Stolesnikov 7. URL: <https://stoleshnikov7.com/>

⁶ Ilyinka 3/8. URL: <https://ilyinka.ru/>



Fig. 7. Clubhouse “Savvinskaya 17” on Savvinskaya Embankment, Moscow⁷: *a* — facade; *b* — view of the inner courtyard

RESEARCH RESULTS

No two clubhouses are alike, as they are either built according to unique projects characterized by exclusive architecture and design, or are created based on historically significant objects that have been reconstructed but have retained their original appearance. However, the analysis of architectural solutions of the reviewed clubhouses allowed us to identify common features of this type of housing.

1. Prestigious area (location advantages in terms of ecology — on the outskirts, close to nature, or in terms of transport convenience — in a quiet city centre; picturesque view from the windows).

2. Developed infrastructure (location in areas with a large concentration of commercial, administrative and household facilities; proximity to cultural centres, architectural monuments; transport accessibility, easy access to the building; extensive network of personal services for building residents, where access to outsiders is possible only by club cards or invitations of flat owners).

3. Convenient parking (closed above-ground or underground, with the possibility of parking in the guarded adjacent territory at the rate of at least one, more often two parking spaces per flat; access to the parking in some projects directly from the flat level with an individual lift).

4. Security of the adjacent territory (fenced adjacent territory; concierge, own security service with a stationary post at the entrance to the house, entrances to the car park, entrances to the courtyard; video surveillance system at the entrance to the house, around the perimeter of the house, on the stairs and stairwells, in front of the entrance to the flat; fire safety — installation of sprinkler fire extinguishing, fire alarm and smoke removal systems with information output to a single control centre and duplication to the security point; 24-hour dispatching of all engineering networks

and systems; system of quick information and response to failures and accidents; system of notification of third party access to the territory).

5. Uniqueness of the architectural design. The external elements of the building are designed taking into account the relief and surrounding landscape to create a unique appearance. Improvement of the territory is carried out with deep elaboration of landscape design, inclusion of small architectural forms. Richness of materials, forms in the form of spheres (domes), cylinders and complex polyhedrons; installation of sculptures, bas-reliefs and high reliefs; absence of standard typical solutions in the volume and on the adjacent territory — each detail is solved as an independent architectural and design task. A clubhouse is usually built according to the author's project of a famous architect and can claim to be an architectural monument of local importance. Most clubhouses are designed in classical style, this is explained by the fact that about 30 % of such houses are reconstructed old mansions. As these buildings are objects of cultural heritage, the legislation prohibits significant changes in their appearance. Old-foundation houses have their own advantages, including unique facades, spacious front rooms, high ceilings with antique mouldings, and often a good location in the infrastructure of an established city.

6. Limited number of flats and floors. Club-type houses are designed around 3–6 floors, with 2–4 flats on each floor. To guarantee privacy in the centre of a big city, potential buyers are sometimes offered flats occupying a floor. Classically, a clubhouse should not have more than 40 flats, but in modern reality their number has increased to 70, and in some residential complexes their number reaches 130–150 and, nevertheless, the house is considered a clubhouse, uniting neighbours by social status and wealth.

7. Increased comfort of volume-planning solutions (increased characteristics of areas (one-room flats from 45 m², two-room flats from 60 m², three-room flats from 80 m², four-room flats from 100 m²; kitchen

⁷ Savvinskaya 17. URL: <https://whitewill.ru/savvinskaya-17>

areas from 12 m²); ceiling height from 3 m; free planning of flats; often the presence of penthouses, duplex flats, balconies, loggias, terraces of large area; the possibility of zoning the flat into guest space and private areas; the presence of at least two bathrooms in flats with more than two rooms. Extended range of services in public areas: lobbies, restaurants, cinemas, wine and cigar rooms, baths, saunas, swimming pools, sports complexes, spa zones, recreation areas on the territory of the buildings, picnic areas, children's and sports grounds, etc.

8. High-quality engineering support (power supply over 10 kW per flat, emergency power supply of the house; centralized supply and exhaust ventilation; external split-systems, additional levels of water treatment, air treatment; independent or central heating (individual heat point); high-speed lifts, with individual finishing of cabins; modern low-current and communication networks; bimetallic radiators with thermostat; there are places for air conditioners, drainage system; the system “smart” is being implemented.

9. High-quality structural solutions. A clubhouse is usually a frameless ceramic brick and monolithic reinforced concrete frame building. Glazing is made of modern fibreglass and wooden profiles of the upper price niche with double-glazed windows made of energy-saving glass. Increased glazing area (taking into account climatic zoning).

10. High quality of finishing and building materials. High quality and environmentally friendly materials are used for finishing, e.g. natural stone (granite, marble, travertine), precious woods, porcelain stoneware, tile ceramics, decorative plaster, patinated brass, tempered glass, architectural bronze, etc., materials with low VOC content.

11. Unity of interests of the complex residents. Initially, the status of a clubhouse was strictly maintained by selecting future owners to meet the requirements for those living in such a house. Interviews were carried out by special agencies, the developer, or new neighbours appeared on the recommendations of people al-

ready living there. Nowadays, although this format still exists, it has already faded into the background, giving way to the economic type of selection: people can acquire ownership of such a property if they have enough money not only for its purchase, but also for its monthly maintenance.

CONCLUSION AND DISCUSSION

Club buildings are a material reflection of the social order for the development of the latest policy of ecologization and increasing the sustainability of habitat development. Reducing population and building density, limiting the number of storeys of buildings, maximum landscaping and landscaping of the building area, creating interesting non-typical and non-trivial architecture, including elements of art, increasing the safety characteristics of the dwelling, using only ecological high-quality materials — all this speaks of the desire to organize a more chamber and humane living environment. Such a unique environment makes it possible to “humanize” the appearance of neighbours, which is not possible to achieve when living in multi-storey apartment buildings with dense population.

At the same time, the development of clubhouses stimulates the process of property stratification of society. Naturally, only wealthy citizens who allow themselves a high level of comfort gather in this format of dwelling, while the majority of citizens cannot claim any comfort.

However, despite this stratification, the high standard of architectural and artistic image of clubhouses gives a huge positive effect, enriching our living environment, filling it with new cultural meanings and aesthetic level. Moreover, this poses a difficult but interesting task for modern architects — to use at least elements of architectural solutions of clubhouses in mass housing construction; to supplement the monotonous residential development with such a quality of architecture that evokes deep emotional impressions and transmits information about new housing standards.

REFERENCES

1. Malinowski B. *Selected. Dynamics of culture* / transl. from English: I.J. Kozhanovskaya, V.N. Porus, D.V. Trubochkin. Moscow, RGB, 2008. (rus.).
2. Litvintsev D. The category of housing in the classical sociology. *The Journal of Sociology and Social Anthropology*. 2020; 23(1):7-34. DOI: 10.31119/jssa.2020.23.1.1. EDN QDGHJC. (rus.).
3. Ivanova E.P., Semenova N.V., Sultanova N.P. Features of the design of residential buildings of club type. *Student and Science*. 2023; 4(27):11-18. EDN NUPIDH. (rus.).
4. Ziyatdinov Z.Z., Mihalcheva S.G. Club houses in a major city: definition, philosophy, reasons. *Architecton: Proceedings of Higher Education*. 2022; 4(80). DOI: 10.47055/1990-4126-2022-4(80)-22. EDN XRKYVB. (rus.).
5. Ziyatdinov Z.Z., Mihalcheva S.G., Kheruvimova I.A., Ziyatdinov T.Z. Morphotypes of residential development in the structure of a large city. *Architecton: Proceedings of Higher Education*. 2020; 2(70):10. DOI: 10.47055/1990-4126-2020-2(70)-10. EDN NHJVAO. (rus.).

6. Karmanov P.P. What is a clubhouse? *Architecture and Time*. 2018; 3:26-27. EDN XYYYJV. (rus.).
7. Gelfond A.L. Architecture of buildings and structures in the historical environment of cities as a subject of research. *Architecture of buildings and structures in the historical environment of cities : collection of reports of the International Scientific Conference*. 2024; 5-7. EDN NZJOUL. (rus.).
8. Dukhanina E.S., Gelfond A.L. Current approaches to the architectural formation of club buildings. *Architecton: Proceedings of Higher Education*. 2021; 3(75). DOI: 10.47055/1990-4126-2021-3(75)-2. EDN OLOTER. (rus.).
9. Ziyatdinov Z.Z., Mihalcheva S.G. Housing morphology dynamics in a large city in the period 2000-2022. *Architecton: Proceedings of Higher Education*. 2023; 1(81). DOI: 10.47055/19904126_2023_1(81)_3. EDN DBBSYN. (rus.).
10. Klochko A. Residential architecture in the face of changes. *Project Baikal*. 2022; 19(71):124-131. DOI: 10.51461/projectbaikal.71.1952. EDN PYNNNX. (rus.).
11. Klochko A.R. Visions of the future of post-industrial and post-pandemic housing architecture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 988(4):042077. DOI: 10.1088/1755-1315/988/4/042077
12. Bulgakova E., Dubynin N., Klochko A. Are “black buildings” the city’s holiday or daily grind? Several issues on architecture upgrade. *Project Baikal*. 2020; 17(63):155-165. DOI: 10.7480/projectbaikal.63.1612. EDN AZZCAJ. (rus.).
13. Krashennnikov A. Social inclusion in urban environment models. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2018; 4(45):329-338. EDN YOBKDZ. (rus.).
14. Del Pino Artacho J.A. Sociology of residence and mobile residence: Theoretical advances and practical limits. *Empiria Revista de metodología de ciencias sociales*. 2014.
15. Hatuka T., Bar R. Navigating housing approaches: a search for convergences among competing ideas. *Housing, Theory and Society*. 2017; 34(3): 277-296. DOI: 10.1080/14036096.2016.1223166
16. Kiyanenko K.V. Toward a Russian sociology of housing. *Sociology and society: problems and ways of interaction : proceedings of the III All-Russian Sociological Congress*. 2008. EDN UXDBSM. (rus.).
17. Merton R.K. *Social theory and social structure* / transl. from English by E.N. Egorova et al. Moscow, AST : Guardian, 2006; 873. (rus.).
18. Bourdieu P. *Sociology of social space* / ed. by N.A. Shmatko. Moscow, Institute of Experimental Sociology; Aleteia. Ist. kn., 2005; 288. (rus.).
19. Samarin O.D., Klochko A.K. *Solution of problems of unsteady heat transfer, energy saving and control of climatic systems*. Moscow, MISI-MGSU Publishing House, 2022; 93. EDN RWSUIX. (rus.).
20. Klochko A.K., Klochko A.R. Graphic method advantages of determination of vertical glazing insolation coefficient. *Construction: Science and Education*. 2019; 9(1):(31):6. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.1.6. EDN IOXIEJ. (rus.).

Received April 26, 2024.

Adopted in revised form on April 26, 2024.

Approved for publication on May 11, 2024.

B I O N O T E S : **Asmik R. Klochko** — Candidate of Architecture, Associate Professor of the Department of Architecture; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; KlochkoAR@mgsu.ru;

Elizaveta A. Larkina — bachelor’s student of the Department of Architecture; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ums_lea@mail.ru.

Contribution of the authors:

Asmik R. Klochko — idea, article writing, scientific text editing.

Elizaveta A. Larkina — collection, processing of material, writing the article.

The authors declare that there is no conflict of interest.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 711.1

DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.113-148

Экологические подходы к формированию общественных приречных пространств как инструмент развития водно-зеленого каркаса города Новокузнецка

Дарья Дмитриевна Андропова, Юлия Евгеньевна Нижегородцева,
Алексей Алексеевич Гудков

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин);
г. Новосибирск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Приречные пространства — сложные объекты, включающие географическую, экологическую, экономическую и социальную системы. Если раньше эти территории в большинстве случаев использовались как часть промышленно-логистической системы, то в последнее время все больше внимания уделяется созданию комфортности городской среды. С целью улучшения состояния экологической среды необходимо провести изучение природных комплексов береговых территорий для снижения антропогенной нагрузки и воссоздания природного потенциала. Цель исследования — выявление основных принципов формирования общественных пространств на приречных территориях на примере экологического парка в Новокузнецке как ядра водно-зеленого городского каркаса (ВЗГК). После изучения теоретических научных работ и анализа факторов, определяющих приоритетные направления для различных типов экопространств, ставятся следующие задачи: выявление проблем и особенностей формирования конкретной территории и инфраструктуры экологических парков в составе ВЗГК при минимизации антропогенного воздействия с целью сохранения экосистемы и биоразнообразия; создание теоретической модели природно-экологического каркаса; разработка концептуального решения по формированию экологического парка как значимого природного ядра в структуре ВЗГК Новокузнецка.

Материалы и методы. Исследование базируется на изучении актуальных данных о состоянии территории г. Новокузнецка. После анализа классификаций элементов градостроительного и экологического каркаса и общественно-рекреационных пространств разработана теоретическая модель природно-экологического каркаса.

Результаты. Разработано концептуальное архитектурно-градостроительное решение, основанное на собранных сведениях о прибрежной территории и экосистеме Новокузнецка и составленном SWOT-анализе участка проектирования. Выявлены ключевые принципы формирования общественных приречных пространств и методы их развития, создана модель природно-экологического каркаса, которая представляет собой самостоятельную научную ценность и практическое значение.

Выводы. Разработанные подходы упрощают проектирование экологических и общественно-рекреационных пространств за счет появления четкой структуры, основных воздействующих факторов и принципов создания подобных элементов в городском пространстве.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водно-зеленый городской каркас, природно-экологический каркас, экопарк, общественное пространство, приречные пространства, экология, техногенное воздействие, экологический коридор, экосистема, зеленая инфраструктура

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Андропова Д.Д., Нижегородцева Ю.Е., Гудков А.А. Экологические подходы к формированию общественных приречных пространств как инструмент развития водно-зеленого каркаса города Новокузнецка // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. Вып. 2. С. 113–148. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.113-148

Автор, ответственный за переписку: Дарья Дмитриевна Андропова, andropova@live.ru.

Ecological approaches to the formation of public riverside spaces as a tool for the development of water and green framework of Novokuznetsk city

Daria D. Andropova, Juliya E. Nizhegorodtseva, Alexey A. Gudkov

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin); Novosibirsk, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Riverside spaces are complex objects that include geographic, ecological, economic and social systems. Previously, these territories were mostly used as part of industrial and logistics system, but recently more and more attention is paid to the creation of a comfortable urban environment. Therefore, in order to improve the state of the ecological environment, it is necessary to study the natural complexes of coastal areas to reduce anthropogenic load and restore

natural potential. The purpose of the study is to identify the basic principles of the formation of public spaces in riverside areas using the example of an ecological park in Novokuznetsk as the core of the water-green urban framework (WGUF). After a thorough study of theoretical scientific works and analysis of the factors that determine priority areas for various types of eco-spaces, the following tasks are set: identification of problems and features of the formation of a specific territory and infrastructure of ecological parks as part of the WGUF while minimizing anthropogenic impact, in order to preserve the ecosystem and biodiversity; creation of a theoretical model of a natural-ecological framework; development of a conceptual solution for the formation of an ecological park as a significant natural core in the structure of the water-green framework of the city of Novokuznetsk.

Materials and methods. The study was compiled based on the research of current data on the state of the territory of the city of Novokuznetsk. After analyzing the classifications of elements of the urban and ecological framework and public and recreational spaces, a theoretical model of the natural-ecological framework was developed.

Results. A conceptual architectural and urban planning solution was developed based on the collected data on the coastal territory and ecosystem of Novokuznetsk and SWOT-analysis of the design site. The basic principles of the formation of public riverside spaces and methods of their development were identified, a model of the natural-ecological framework was developed, which is of independent scientific value and practical significance.

Conclusions. The developed approaches simplify the design of environmental and public recreational spaces due to the emergence of a clear structure, the main influencing factors and principles for creating such elements in urban space.

KEYWORDS: water-green urban framework, natural-ecological frame, ecopark, public space, riverside spaces, ecology, technogenic impact, ecological corridor, ecosystem, green infrastructure

FOR CITATION: Andropova D.D., Nizhegorodtseva Ju.E., Gudkov A.A. Ecological approaches to the formation of public riverside spaces as a tool for the development of water and green framework of Novokuznetsk city. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2024; 14(2):113-148. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.113-148

Corresponding author: Daria D. Andropova, andropova@live.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия в связи с изменением климатических условий возникла необходимость формирования самостоятельно выделенных городских структур — водно-зеленого городского каркаса (ВЗГК). Они направлены на создание целостной взаимосвязанной пространственной структуры зеленых насаждений, водных объектов и урбанизированных территорий. Основной целью таких каркасов является поддержание здоровой и устойчивой городской среды за счет сочетания зеленых насаждений и водных элементов, позволяющих сформировать оптимальные уровни температуры, влажности, аэрации и солнечной радиации. Кроме того, ВЗГК выполняют рекреационные функции, принимая во внимание допустимое антропогенное воздействие на ландшафт, улучшая связь через зеленые коридоры, пешеходную и велосипедную доступность в рамках проекта, а также выполняя культурную, образовательную и экономическую функции.

Изучение зарубежных научных трудов в сфере экологических процессов позволило выявить подходы к исследованию водно-зеленой инфраструктуры, методы количественной оценки и ранжирования техногенных воздействий, а также варианты сохранения биоразнообразия для достижения цели устойчивого развития.

Рассмотрим современные тенденции научных работ: исследование китайских ученых в г. Шеньчжэнь свидетельствует о том, что экологические источники могут быть идентифицированы виртуально, и экологические сети могут быть значительно оптимизированы путем комбинирования аналитических моделей. Эти результаты служат

методологическим ориентиром для построения экологических сетей и будут полезны для городского планирования и защиты биоразнообразия [1]. Джибананда Гайен и Дебаджит Датта в своей статье для разработки критериев и индикаторов оценки экологического состояния водно-болотных угодий в поймах реки Ичхамати в Индии выявили основные экологические, социально-экономические и институциональные проблемы, оказывающие негативное влияние на состояние биоразнообразия и экосистем водно-болотных угодий методом вычленения основных компонентов давления и их количественной оценки [2].

В научной работе о причинах низкой экологической эффективности восстановительных мероприятий в поверхностных водах Германии речь идет об обнаружении главных всеобъемлющих стрессоров, влияющих на экологическую эффективность восстановительных мероприятий и ранжирование их в соответствии с воздействием на реки в разных масштабах [3].

При оценке состояния зеленого городского каркаса Тегерана произведен анализ количества озеленения на душу населения и площадей зеленых насаждений во всех округах города [4]. Для обсуждения и оценки элементов, отношений разнопланового города интерпретированы многослойные сингулярности Белграда в многомасштабной множественности, выявлены общественные пространства, обладающие потенциалом, и исследованы их возможности улучшения с помощью различных форм искусства [5].

Юйюй Чжоу, Ган Чэнь и Вэйци Чжоу проанализировали различные модели и алгоритмы для совершенствования существующих спутниковых

наблюдений и разработки новых индикаторов мониторинга городской среды [6].

В научном труде «Биофильные “умные города”: роль природы и технологий в повышении устойчивости городов» определены показатели для биофильных и «умных» городов, которые можно использовать совместно для повышения устойчивости их развития. В ходе исследования были установлены ключевые показатели как для биофильных, так и для «умных» городов, и рассмотрены основные принципы и аспекты устойчивости городов, чтобы понять, как это работает, и указать на их взаимосвязь с биофильными интеллектуальными подходами [7].

В исследовании городской сети зеленой инфраструктуры на примере г. Харбин в Китае обсуждается противоречие между городским экономическим развитием и построением сетей зеленой инфраструктуры (ЗИ), а моделирование и оптимизация сетей ЗИ в различных сценариях обеспечивает научную основу для разработки соответствующих стратегий развития и политики защиты окружающей среды [8].

Даррел Чин Фун Тянь, Эндрю Моррис, Мэтью Белл и другие в своей статье смоделировали связанность водосборных бассейнов Каруах-Майалл, лесного ландшафта, фрагментированного матрицей, в которой доминирует пастбищное земледелие. Такой подход дал возможность количественно оце-

нить важность мелкомасштабных объектов, таких как разбросанные деревья, с точки зрения связности [9]. Большое влияние на характер и содержание данной статьи оказала книга Кен Янг и Алан Дилани [10]. В ней авторы описывают четыре стратегии проектирования, которые можно использовать в сочетании, чтобы достигнуть равновесия между искусственной и естественной средой (рис. 1). Зеленая инфраструктура — это взаимосвязанные сети природных территорий и других открытых пространств. Это зеленые насаждения внутри биома, которые сохраняют ценности природной экосистемы, чистый воздух и воду. Такая система является естественной средой обитания для широкого спектра диких животных.

Авторы отмечают, что важной составляющей ЗИ служат зеленые экокоридоры. Линейные коридоры флоры и фауны соединяют существующие зеленые насаждения и создают новые, более крупные среды обитания. Они формируют новые связи между лесными полосами, водно-болотными угодьями и водными путями. Любая новая ЗИ должна дополнять и усиливать естественные функции того, что уже присутствует в пейзаже. Экоинфраструктура должна иметь приоритет над инженерной инфраструктурой при проектировании. Создавая, улучшая и восстанавливая экологическую связанность окружающей среды, она превращает вмешательство

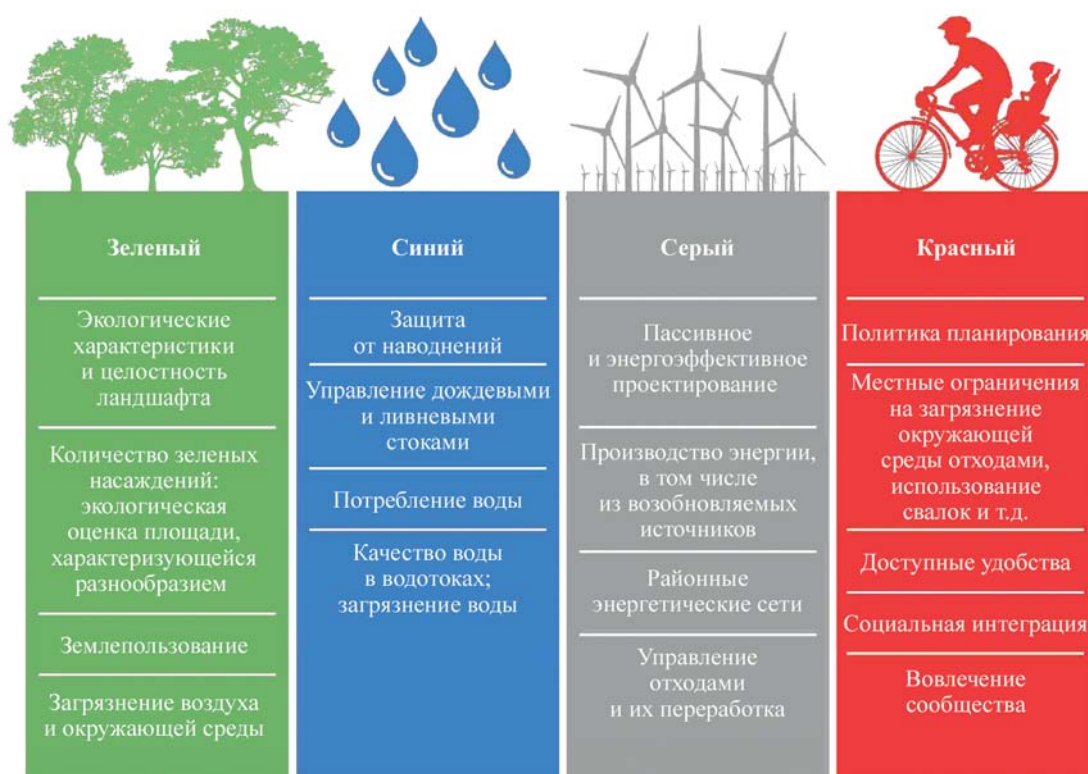


Рис. 1. Четыре стратегии проектирования в рамках салютотенного и экологического дизайна (авторы Кен Янг и Алан Дилани)

человека в ландшафт из негативного в позитивный поступок.

Также отмечается важность обеспечения не только горизонтальной связности, но и вертикальной. Очевидной демонстрацией горизонтальной связи является обеспечение экологических коридоров, а соединение по непроницаемым поверхностям и дорогам может быть достигнуто с помощью экологических мостов и подземных этажей. Проектирование должно расширять экологические коридоры по вертикали, при этом экоинфраструктура будет затрагивать всю сферу строительства для создания мест обитания на стенах, террасах и крышах [10].

Е.А. Кайсарова в своей статье рассматривает водно-зеленый диаметр Минска через анализ водных систем и озелененных территорий с подсчетом площади на душу населения [11].

Опыт отечественных и зарубежных исследований показывает значимость комплексной оценки территории, анализа климатических, рекреационных и культурных особенностей территории и применения специального программного обеспечения в области климатологии и экологии для моделирования различных сценариев развития территории.

Далее в основу исследования принят проектный опыт нескольких крупных городов.

В Свердловской области утверждено 101 ядро экологического каркаса или ключевых природных территорий. Екатеринбургская агломерация — многолучевая, имеет вид, характерный для агломераций, сложившихся в разветвленном транспортном узле. Современный этап озеленения характеризуется уплотнением застройки, вследствие чего сокращается площадь под озеленение в жилой зоне и уменьшаются площади некоторых парковых массивов. Рекреационные системы Екатеринбургской агломерации формируются рядом с такими природными образованиями, как озера Шарташ, Песчаное, Верх-Исетское водохранилище и р. Исеть, последняя в свою очередь является ключевым элементом водной эколого-рекреационной зоны г. Екатеринбурга [12].

В Астрахани существует проблема отсутствия «связанной» системы рекреационных зон и их нехватка. Многие из существующих природных комплексов испытывают значительную антропогенную нагрузку и изменяются от первоначального природного состояния. Еще одна проблема — низкий уровень озеленения. Среди озелененных городских пространств важнейшую роль в биоклиматическом состоянии города выполняет остров «Городской», он является экологическим оазисом, повторяя дельтовые биотопы пойменных лесов, внутренних озер, открытых пространств и заливных лугов, песчаных кос береговой линии, а также зон водно-болотистых угодий [13].

Один из наиболее интересных и сложных участков урбанизированной среды — Канонерский остров г. Санкт-Петербурга, в котором очевидна необходимость создания определенных связей между природно-ландшафтной составляющей и искусственной антропогенной деятельностью. Остров характеризуется наличием рекреационного потенциала и растительности. Территория имеет выгодное расположение относительно центра города, однако труднодоступна для посещения [14].

В Московской области накоплен большой опыт разработки экологических принципов совершенствования территориальной структуры. Историко-культурный каркас Московской области представляет собой совокупность ценных территорий, являющихся примером среднерусского ландшафта с выразительным рельефом и разнообразным растительным покровом. Объекты культурного наследия связаны визуальными коридорами с ландшафтным окружением и определяют характер развития значительных территорий. Планируемые природно-исторические и экологические территории в комплексе с особо охраняемыми природными территориями (ООПТ) формируют основу природно-экологического каркаса региона, к которому также относятся прочие заселенные территории и водные объекты [15].

В г. Орле для большинства скверов характерна небольшая площадь (до 2 га), близкий к предельному возраст насаждений, все скверы граничат с магистральными дорогами со значительной транспортной нагрузкой. Территориальное расположение определяет негативную динамику состояния урбоэкосистем — растительность подвергается сильному загрязнению выхлопными газами и тяжелыми металлами, воздействию шума от транспорта. Соотношение типов пространственных структур на объекте в большинстве случаев не соответствует градостроительным требованиям [16].

В Пензе зеленые насаждения всех типов использования сконцентрированы в центре города и в районе Западной поляны. Площадь благоустроенных озелененных территорий в соотношении с площадью территорий промышленных предприятий и жилой застройки невелика. Большую часть всех зеленых пространств занимают приграничные лесные массивы и территории степей, луга и сельскохозяйственные поля, не включенные в общий природно-градостроительный каркас. На территории города присутствует довольно большая лесополоса, а также парки и скверы, климатический курорт Ахуны, другие заповедники и ООПТ [17].

На территории Перми особое место в системе озеленения города занимают водные объекты. Водно-зеленые радиусы пронизывают город в разных направлениях. Индустриальная составляющая городской ткани уничтожила часть «зеленых коридоров», обеспечивающих выход к околородным пространствам. Уплотнение застройки, организация

транспортных узлов и изменение функционального наполнения прибрежных зон сократили часть «зеленых коридоров». Большинство из водных источников по классификации относятся к «загрязненному, грязному и очень грязному» [18].

В.И. Гомозов в своей статье проанализировал одну из попыток городских властей сформулировать общие подходы к реконструкции «серого пояса» Санкт-Петербурга. Исследование сосредоточено на выявлении в проектах принципов и подходов к формированию зеленого каркаса этих территорий, его непрерывности и устойчивости [19].

Помимо анализа экологических аспектов в проектировании зеленых общественных пространств, важным фактором служит учет социальных аспектов в градостроительном развитии. С.Х. Исмаилова, А.В. Сивцев и Ю.А. Закирова в своей работе о формировании рекреационно-туристических кластеров анализируют инфраструктуру обслуживания туристов и выявляют принципы устойчивого градостроительного развития рекреационно-туристической системы Якутии [20].

Был проведен анализ различных факторов влияния на комфорт парковой городской среды [21]. Изучен подход архитектурной сценографии с точки зрения средового дизайна [22]. Исследована терминология в области экологического проектирования [23]. Рассмотрены аспекты активации культурной привлекательности территории в рамках стратегии бренда города [24]. Также авторы статьи ознакомились с принципами проектирования экологических парков [25].

Доктор философских наук О.Н. Яницкий исследовал развитие российской экологической культуры в XX в. и выделил четыре ключевых этапа: начальный период (1917–1929 гг.); период застоя (1929–1960 гг.); период укрепления (1960–1985 гг.); период изменений (1985–1999 гг.) [26].

Соответственно стоит обратить внимание на законодательные требования РФ по экологическому проектированию, которые авторами настоящего исследования разделены на следующие этапы:

1. Зарождение экологического законодательства (1950–1970 гг.) — разработка первых нормативных документов.

2. Развитие экологического законодательства (1971–1990 гг.) — развитие полноценной законодательной базы.

3. Становление экологического законодательства (1991–2010 гг.) — формирование окончательных нормативно-правовых актов и условий для нового подхода к экологическому проектированию.

4. Переосмысление экологического законодательства (2011–2021 гг.) — переход на межгосударственные «зеленые» стандарты серии ГОСТ Р [27].

2017 г. в истории экологического развития страны считается одним из самых важных. Указом Президента Российской Федерации от 05.01.2016

№ 7 2017 год объявлен в России Годом экологии¹. Стартовали нацпроекты «Экология», «Генеральная уборка», «Чистый воздух».

В феврале 2021 г. начался российско-французский проект «Водно-зеленый городской каркас» под руководством Минстроя РФ, это значимый этап нового взгляда на городскую среду². Ученые и работники администраций перешли от теоретических исследований к практическим вопросам городской экологии на уровне разработки нормативных указаний. Это первый шаг к комплексному формированию экологической среды города вместо рассмотрения отдельных аспектов, таких как экология водоемов, мониторинг озеленения, флоры и фауны в городских парках.

В России существуют различия в трактовке терминов, относящихся к концепции ВЗГК, однако большинство авторов соглашаются с определением, утвержденным Министерством строительства РФ: «Водно-зеленый городской каркас (ВЗГК) — это совокупность соединенных между собой городских территорий с растительным покровом и городскими водоемами, включенными в городскую среду. Это могут быть как естественные, природные объекты, так и искусственные. К ним относятся скверы, клумбы, парки, лужайки, водоемы, реки. Основная задача каркаса — обеспечение комфорта и создание рекреационных зон, микроклимата города, улучшение экологии»².

В 2019 г. в Кемеровской области принят закон «Об экологическом образовании и формировании экологической культуры»³.

С целью минимизации техногенного влияния на природу региона в 2024 г. вступила в силу государственная программа Кемеровской области – Кузбасса «Природопользование и охрана окружающей среды». Оценка текущего состояния экологии в регионе: «К числу основных экологических проблем по-прежнему относятся: загрязнение атмосферного воздуха; загрязнение и истощение водных объектов; образование отходов производства и потребления; загрязнение и деградация почвенно-земельных ресурсов; снижение биологического разнообразия Кемеровской области – Кузбасса, увеличение числа

¹ О проведении в Российской Федерации Года экологии : Указ Президента Российской Федерации от 05.01.2016 № 7. 2016. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/40400>

² Подведены итоги первого года работы российско-французского проекта «Водно-зеленый городской каркас» // Минстрой России. 2021. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/podvedeny-itogi-pervogo-goda-raboty-rossiysko-frantsuzskogo-proekta-vodno-zelenyy-gorodskoy-karkas/>

³ Закон Кемеровской области – Кузбасса от 24.12.2019 № 165-ОЗ // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. 2019. URL: <https://docs.cntd.ru/document/561652582?ysclid=lvf85urtsh408864254>

редких и исчезающих видов животных, растений и грибов; низкая экологическая культура населения»⁴.

В рамках действующих государственных и региональных программ, направленных на восстановление благополучия природных компонентов региона, открывается возможность создания и укрепления ВЗГК Новокузнецка. В связи с этим обретает актуальность выявление основных экологических подходов к формированию ВЗГК и принципов развития общественных приречных пространств в рамках комплексного подхода по сохранению и восстановлению природных ландшафтов и разработки концептуального решения для рассматриваемого региона с применением этих подходов и принципов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Учтен российский и зарубежный опыт проектирования общественных приречных территорий в контексте устойчивого развития, на основе этого проведен тщательный градостроительный и социальный анализ Новокузнецка, выделены основные элементы ВЗГК, смоделированы форматы элементов каркаса, типы объектов экотуризма. На базе разработанных классификаций методом структурного анализа территории с помощью 3D-моделирования разработана концепция общественного пространства в пойме р. Томь в центральном районе Новокузнецка.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Если в городе есть несколько водных объектов, занимающих важное место в его архитектурно-планировочном каркасе и системе природных компонентов, как в г. Новокузнецке Кемеровской области, где реки Томь, Аба, Кондома и долины прочих малых рек проникают в город с разных сторон, это свидетельствует об актуальности принципов непрерывности озеленения и его взаимосвязи с открытыми пространствами разного уровня, на которых строятся такие системы. В градостроительных концепциях следует изучать территории, где пересекаются разные виды ландшафтов и/или функциональные зоны, которые служат неактивными областями в городе из-за их неблагоприятного положения и отсутствия необходимой инфраструктуры, что приводит к отсутствию интереса у горожан.

В Новокузнецке, одном из крупнейших городов Кузбасса по площади и втором по численности населения, а также самом старом городе Кемеровской области, который является важным центром экономики, транспорта и культуры в Сибири, ситуация с окружающей средой считается неблагоприятной из-за его специализации как одного из крупнейших

металлургических и угледобывающих районов России. По результатам Национального экологического рейтинга, отражающего события в сфере экологии с 1 декабря 2023 г. по 29 февраля 2024 г., Кемеровская область занимает 71-е место из 84 возможных⁵. Этот низкий результат связан с наличием в области большого количества крупных промышленных предприятий, поэтому возникают серьезные проблемы с водоемами. Остро стоит вопрос обеспечения региона питьевой водой. Наблюдается критическое уменьшение малых рек. Только за последние 30 лет из 905 рек в Кузбассе в результате хозяйственной деятельности уничтожено около 200, которые ранее питали чистой водой главную водную артерию региона — р. Томь [28].

Территория Новокузнецка находится под сильным техногенным воздействием, что связано не только с непосредственной близостью к жилым кварталам крупных металлургических и угледобывающих производств, но и с географическим положением. Город расположен в низине, окруженной горными хребтами, в связи с чем над городом образуется смог из загрязняющих веществ. Общая площадь земель рекреационного значения составляет 9781 га, из них 7803 га — городские леса⁶. На душу населения приходится 69 м² озеленения, это хороший показатель, в несколько раз превышающий регламентированное минимальное значение.

Проанализировав с помощью спутниковых снимков актуальное состояние Новокузнецка на предмет количества зеленых насаждений и их концентрацию, можно сделать вывод, что, несмотря на хорошую обеспеченность зелеными насаждениями, наблюдается сильная фрагментация, обусловленная темпами индустриального развития и сложившейся застройкой города (рис. 2). Наибольшее сосредоточение крупных лесных массивов приходится на Орджоникидзевский и Куйбышевский районы, наименьшее на Кузнецкий и Новоильинский. В центральном районе лесные кластеры располагаются неравномерно. Озеленение сосредоточено на северо-западе и юго-востоке района, в то время как в центральной части отсутствуют большие озелененные территории.

Геоморфологические элементы, такие как водоразделы и речные долины, имеют значительное воздействие на экологию и климат города. Река Томь приближается к Новокузнецку с северо-востока, поворачивая на запад, и в центре города резко меняет свое направление на северо-восток. С юга в город заходит р. Кондома, с запада — р. Аба (рис. 3). Главная водная магистраль города р. Томь в централь-

⁵ «Национальный экологический рейтинг регионов РФ» по итогам зимы 2023–2024 г. // Зеленый патруль. 2024. URL: <https://greenpatrol.ru/tpost/86a9zxhcr1-natsionalnii-ekologicheskii-reiting-regi>

⁶ Доклад о состоянии окружающей среды города Новокузнецка за 2021 год. 2022. URL: https://eko-nk.ru/user_images/File/%D0%98%D0%A2%D0%9E%D0%93%D0%9E%D0%92%D0%AB%D0%99%202021.pdf

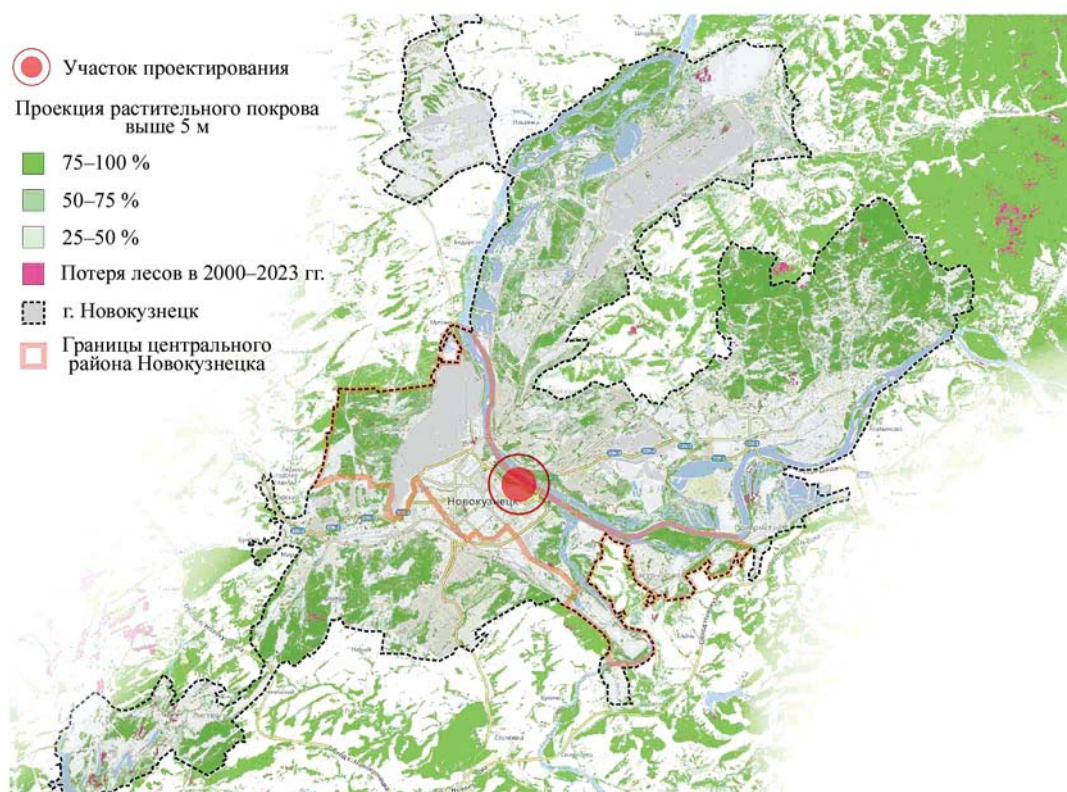


Рис. 2. Лесной покров Новокузнецка (автор Д.Д. Андропова)

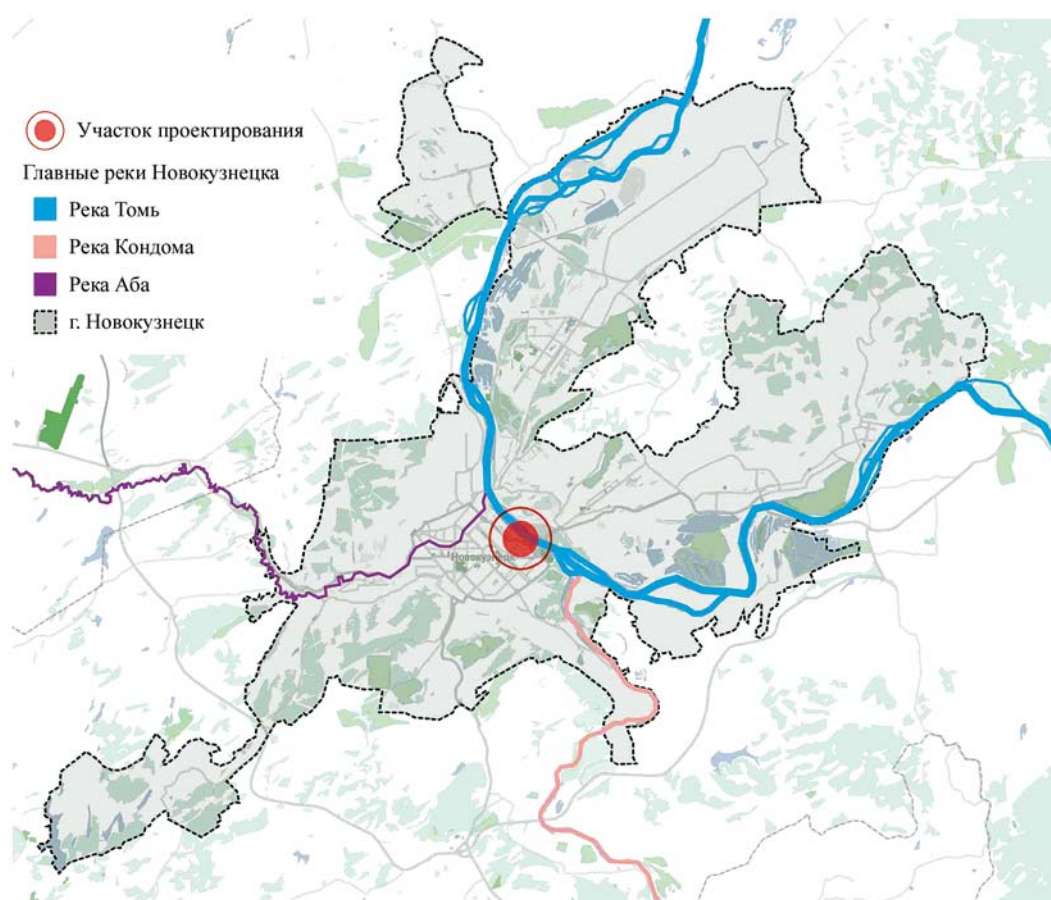


Рис. 3. Крупные реки Новокузнецка (автор Д.Д. Андропова)

ной части Новокузнецка в устье р. Кондома меняет свой тип с горного на равнинный.

Изучив расположение озеленения в черте Новокузнецка, можно отметить крупные лесные кластеры города, структурировав их по экологическому состоянию и расположению относительно водной инфраструктуры, и выделить фрагменты речных акваторий, где обнаруживается нарушение связности (рис. 4). Состояние водно-зеленого каркаса р. Томь в границах Новокузнецка можно охарактеризовать как удовлетворительное. В Орджоникидзевском районе наблюдается крупный разрыв каркаса и наличие зеленого кластера со значительными лесными потерями. Хорошая связность отмечается на севере города в Заводском районе, но экологическая устойчивость нарушается соседством с обширной промышленной зоной. Также к северу от устья р. Абы вдоль левого берега Томи отсутствует зеленый коридор, и в связи с непосредственным выходом к реке крупной техногенной зоны влияние негативных факторов воздействия на «голубую» магистраль становится критически высоким. Состояние защищенности р. Кондома, несмотря на большое количество лесных кластеров вдоль берегов, усугубляется расположением производственного объекта в непосредственной близости от реки и наличием разрыва ВЗГК у ее устья. Существенно хуже оценивается ВЗГК р. Аба, берега которой

вблизи впадения в Томь на протяжении полутора километров укреплены бетонными откосами, что негативно сказывается на видовом составе биоценоза водной артерии. Нетронутые поймы рек с сохранением естественной экосистемы способствуют образованию тени и, таким образом, обеспечивают постоянный температурный режим, комфортный для обитателей водной системы. Также от устья реки по ее периметру в сторону юго-запада отсутствует экологический коридор, который необходим для поддержания стабильности состава биосообщества, такое положение усугубляется негативным техногенным влиянием промышленной зоны, располагающейся вблизи впадения реки в Томь.

Важную роль в сохранении и восстановлении ВЗГК играют ограничительные меры в законодательной сфере по использованию ценных природных территорий. В Новокузнецке располагаются три ООПТ, сосредоточенные в одном месте, в самом центре города на берегу р. Томь (рис. 5), а также на севере и востоке города в акватории р. Томь установлены нерестоохранные зоны. Кроме того, в лесном массиве на левом берегу Томи недалеко от ООПТ были замечены редкие хищные пернатые из Красной книги Кемеровской области⁷.

⁷ ЛВПЦ Кемеровской области // hcvf. URL: <https://hcvf.ru/ru/maps/hcvf-kemerovo>

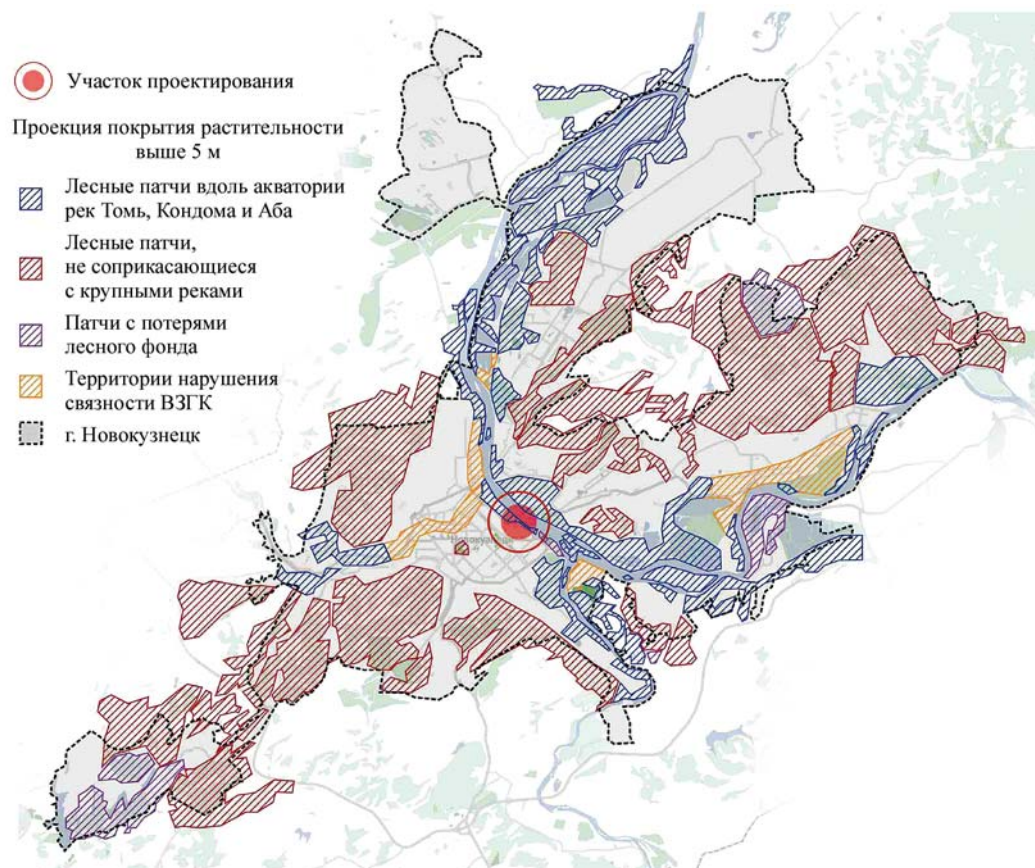


Рис. 4. Крупные лесные патчи Новокузнецка (автор Д.Д. Андропова)

Наиболее озелененным является центральный район города. Площадь зеленых насаждений общего пользования в районе составляет 125,41 га. Обеспеченность зелеными насаждениями в центральной части города составляет более 14 м² на одного жителя⁶. Кроме того, значительную часть площади района занимает промышленная зона, располагающаяся на северо-западе города. Учитывая розу ветров, в течение года преобладающим становится западный ветер, вследствие чего колоссальная часть города подвергается техногенному воздействию со стороны промышленной территории (рис. 6). Под негативное влияние из-за распределения ветровых потоков попадают и крупные участки рек Томь и Аба и особо охраняемые природные территории.

Изучение состояния береговых зон как неблагоустроенных и загрязненных создает условия для формирования городской сети водно-зеленых ядер. Небольшие реки проникают сквозь городскую структуру в различных направлениях, что позволяет объединить районы в единую систему. Учитывая фрагментарность и изолированность зеленых зон, а также большое количество обширных прибрежных территорий, особое внимание следует уделить объединению природных единиц в единый ВЗГК.

В рамках формирования ВЗГК Новокузнецка в исследовании предлагается авторское проектное

решение по созданию крупного экологического и культурного центра на берегу р. Томь. Участок проектирования выбран в связи с предпринятым авторами изучением и оценкой связности зеленого каркаса города. Территория проектирования расположена в центре города на левом берегу главной водной магистрали в месте обитания редких пернатых хищников. Расположение рассматриваемого участка в каркасе города уникально — оно является ядром, объединяющим новый и старый центры города (рис. 7).

На правом берегу располагается крупный лесной массив, где сконцентрированы крупные экологические и историко-культурные памятники: Кузнецкая крепость, экологическая тропа, экопарк и памятник природы парк «Топольники» (рис. 8).

На левом берегу расположен современный центр города — место концентрации коммерческой, культурной и развлекательной деятельности. Такая позиция в структуре города позволяет предположить, что участок имеет огромный социальный, культурный и экологический потенциал, а также станет важным центром притяжения населения (рис. 9). Кузнецкая экологическая тропа — уникальный маршрут в Кузнецке, располагающийся в центре промышленного города, который играет важную роль в создании благоприятной экологиче-

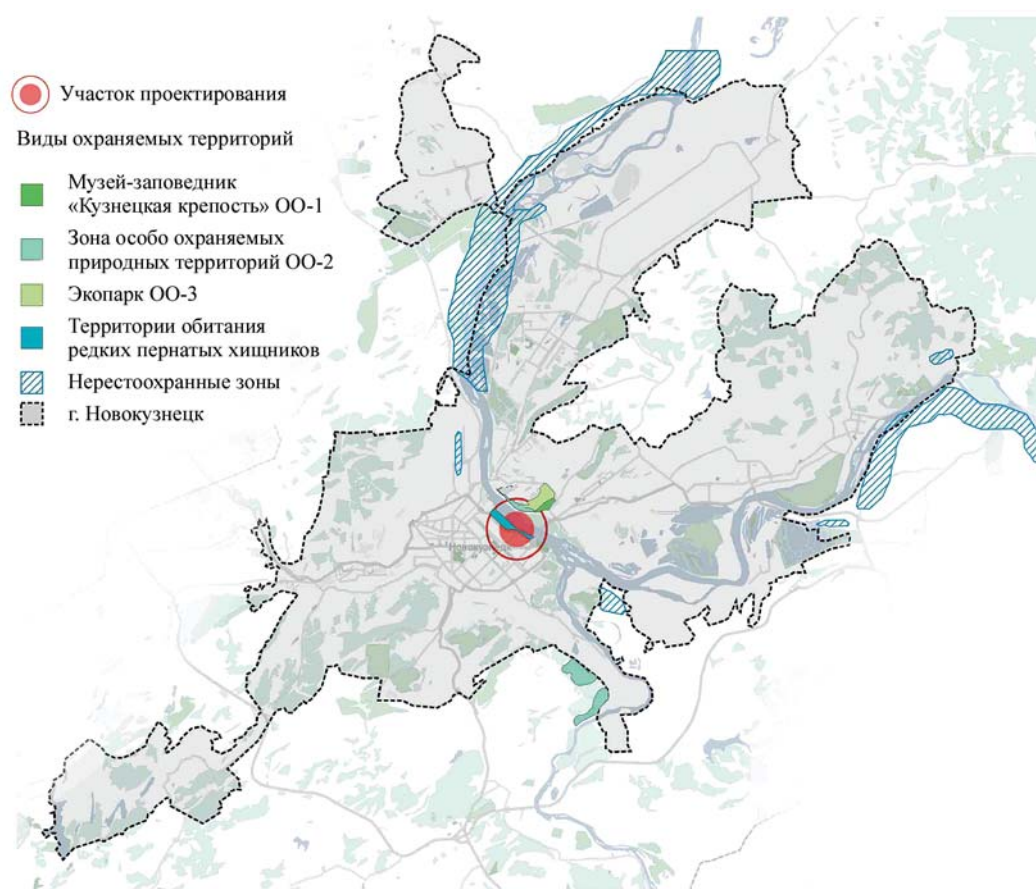


Рис. 5. Зоны особо охраняемых природных территорий и объектов Новокузнецка (автор Д.Д. Андропова)

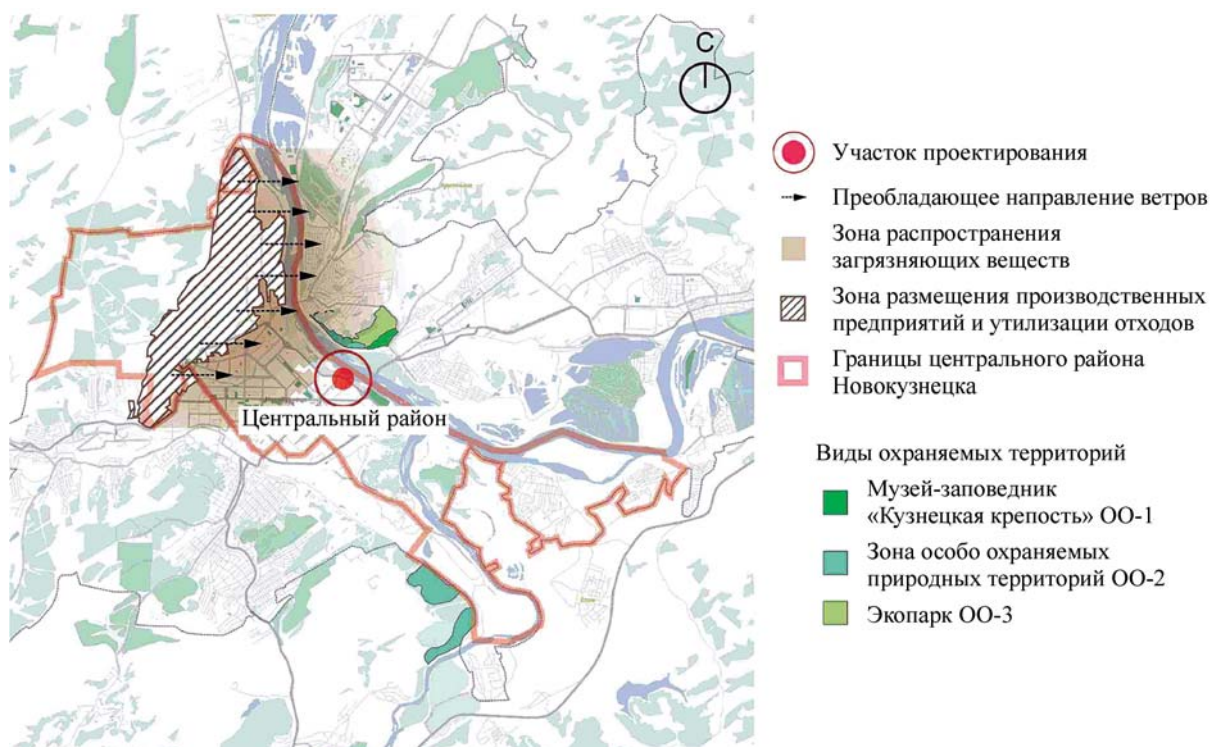


Рис. 6. Схема распространения техногенного воздействия (автор Д.Д. Андропова)

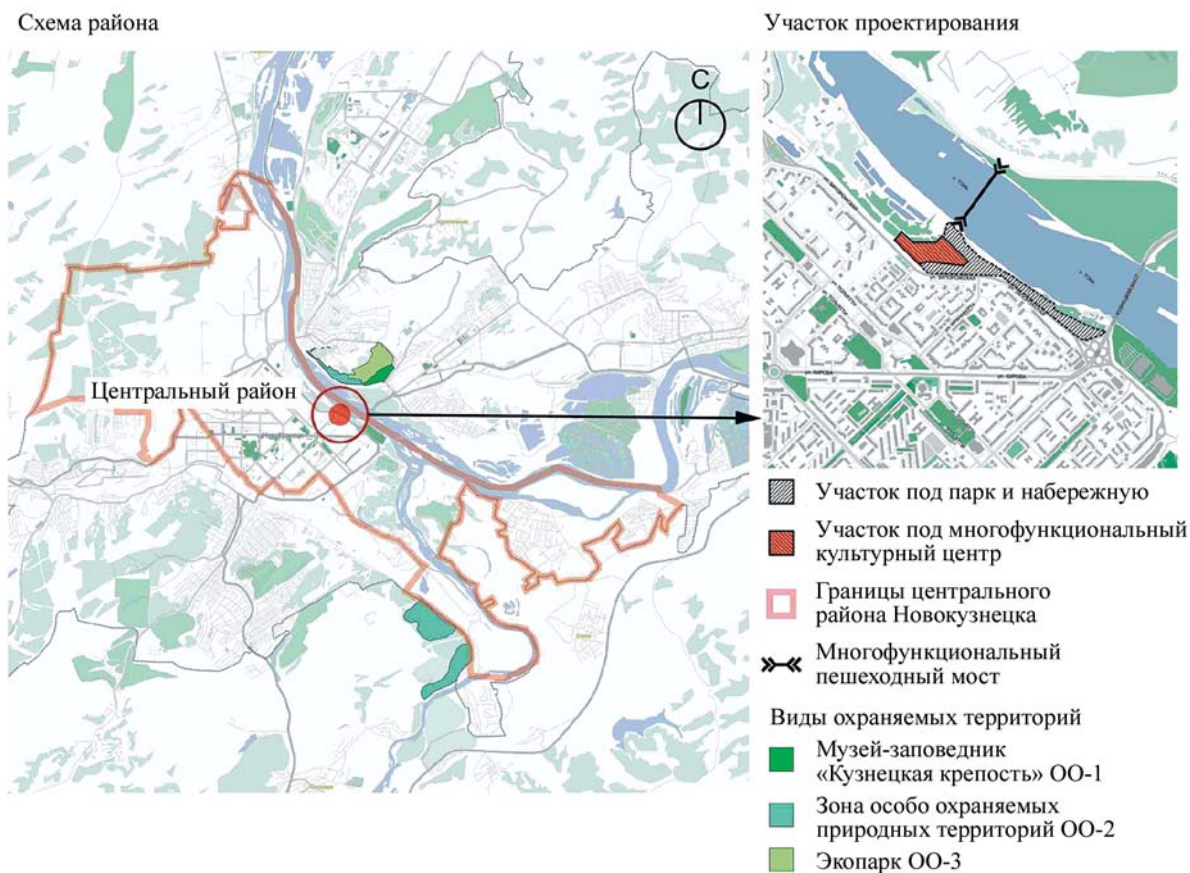


Рис. 7. Схема района и участка проектирования (автор Д.Д. Андропова)



Рис. 8. Правобережный историко-природный кластер (автор Д.Д. Андропова)

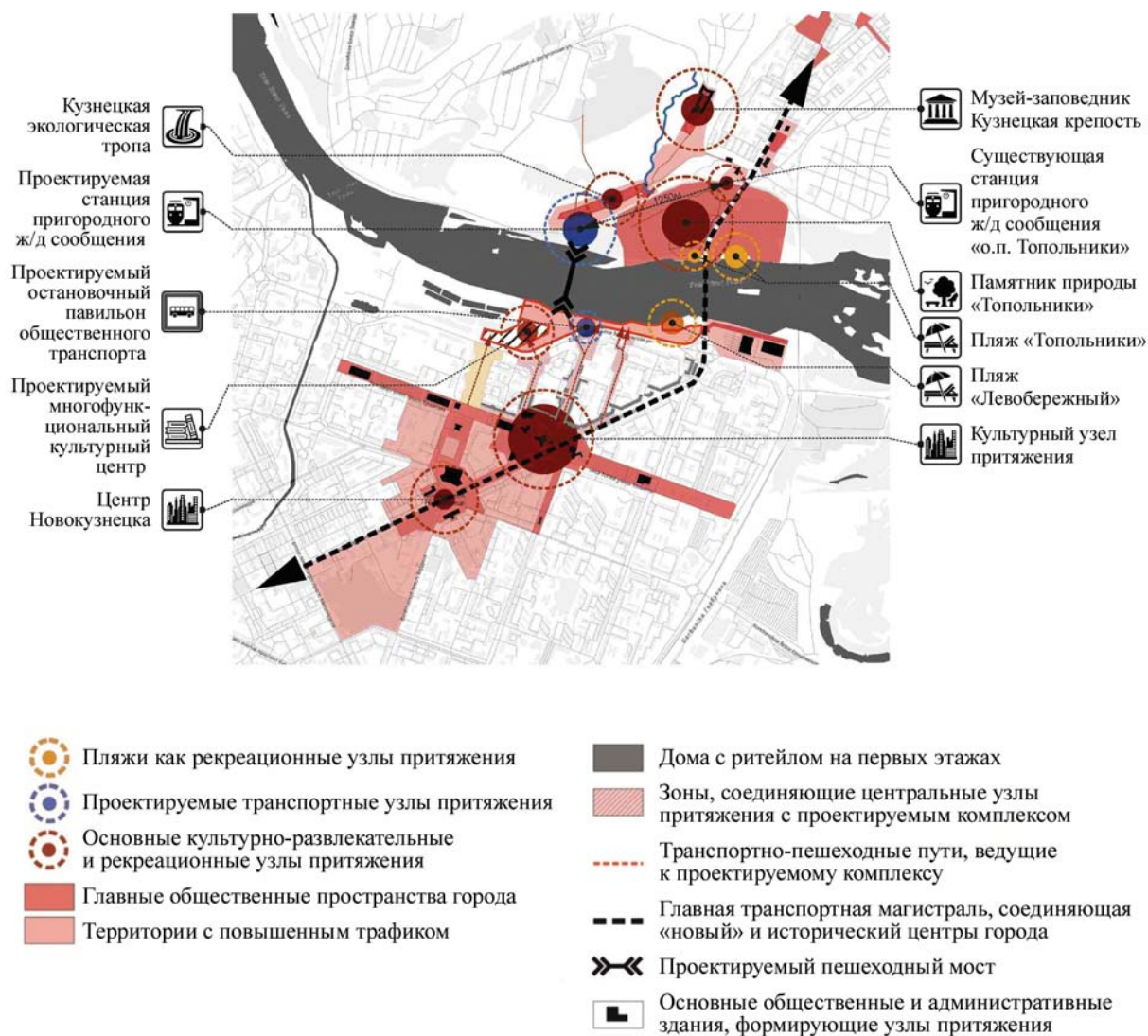


Рис. 9. Схема основных узлов притяжения (автор Д.Д. Андропова)

ской обстановки. Здесь можно найти удивительные природные и культурные достопримечательности, а также провести время с пользой, сочетая обучение и отдых. Экотропа проходит по правому берегу р. Томь в районе Кузнецкой крепости и имеет форму кольцевого маршрута.

Анализируя сложившуюся систему экопарков и общественных озелененных территорий в речной акватории р. Томь, можно сказать, что рассматриваемый участок служит продолжением городской на-

бережной и вместе с крупнейшим в городе экологическим лесным массивом на территории Кузнецкой крепости формирует зеленый коридор вдоль реки, тем самым снижая антропогенное воздействие загрязнений на обитателей природных ландшафтов (рис. 10).

В ходе исследования на основании экологических показателей, выявленных особенностей и проблем территории составлен SWOT-анализ, который показывает важность разработки ВЗГК города (табл. 1).



Рис. 10. Схема центров притяжения (автор Д.Д. Андропова)

Табл. 1. SWOT-анализ проектируемой территории

SWOT-анализ			
Слабые стороны	Сильные стороны	Угрозы	Возможности
Затопляемая территория	Расположение в центре города	Большой срок окупаемости	Данный участок может стать ядром, объединяющим новый и старый центр города, формируя систему взаимодополняемых узлов притяжения
Близкое расположение ЛЭП к участку проектирования	Близость к экономическому и культурному центрам города	Риск нарушения существующей экосистемы прибрежных территорий при ненадлежащих условиях строительства	Участок имеет огромный социальный, культурный и экологический потенциал, а также может стать важным центром притяжения населения
Дороговизна реализации	Примыкание к главной водной артерии города	Риск банкротства спонсоров из-за долгого срока строительства в условиях нестабильности экономики	Участок служит продолжением городской набережной и вместе с крупнейшим в городе лесным массивом на территории Кузнецкой крепости формирует экологический коридор вдоль реки, тем самым снижая антропогенное воздействие загрязнений на человека и главную городскую водную артерию р. Томь

Окончание табл. 1

SWOT-анализ			
Слабые стороны	Сильные стороны	Угрозы	Возможности
Отсутствие общественного транспорта вдоль участка	Участок проектирования находится в густом лесном массиве, обладающим большой природной ценностью	Снижение комфорта жизни фауны из-за повышения посещаемости экопарков	Формирование экокластера в центре города сможет повысить интерес горожан к проблемам экологии и истории своего города
Высокая загазованность района проектирования	Расположение рядом с городской набережной	Быстрое понижение интереса к комплексу при несоблюдении надлежащих условий эксплуатации	—
Тяжелая техногенная обстановка в городе	Близость к памятникам природы «Топольники» и «Кузнецкая экотропа»	—	—
Сложные условия строительства из-за высокого природного потенциала участка	Хорошая транспортная доступность	—	—
Дорогие условия эксплуатации объекта	Соседство с крупными центрами притяжения населения	—	—
—	Пологий рельеф на участке	—	—

В результате анализа выявлено, что территория обладает потенциалом для развития, но существует ряд ограничений, которые можно решить с помощью определенных подходов, а именно:

1. Полифункциональности — создание различных по функциональному наполнению пространств, которые имеют свойство трансформироваться по актуальному запросу общества.

2. Ступенчатости — разведение разных функциональных зон на несколько уровней с учетом сезонности мероприятий, удобства коммуникации между основными узлами общественного пространства и обеспечения безопасности транспортных манипуляций.

3. Адаптивности — создание многофункциональных зон, способных меняться, учитывая контекст мероприятий, их сезонность, экономические, природные, социальные изменения в обществе.

4. Координированности — обеспечение гармоничного внедрения природных единиц в городскую среду и объектов урбанизации в природную среду.

5. Доступности — обеспечение безопасного, быстрого и удобного доступа для всех групп посетителей.

6. Экологичности — сохранение природного потенциала водных и лесных ресурсов, минимизация антропогенного воздействия в рамках устойчивого развития территории.

7. Уникальности — создание собственного дизайн-кода пространства, запоминающихся объектов, которые станут визитной карточкой данного места.

8. Встраиваемости/интегрированности — учет окружающей застройки и культурного кода при включении объекта в существующую среду, бережное сохранение исторического наследия города.

9. Демократичности — организация пространства, учитывающего интересы и возможности всех слоев общества.

10. Устойчивости — способность сохранять экономическую и экологическую стабильность для поддержания комфортного функционирования местной экосистемы и общества.

11. Безопасности — обеспечение комфортного и защищенного пребывания посетителей на территории общественного пространства.

12. Просвещения — транслирование экоповестки, передача знаний о важности сохранения окружающей среды, повышение уровня экологической осознанности населения.

Для развития приречных пространств авторами предлагаются следующие методы:

1. Минимизация антропогенного воздействия на существующую экосистему. Регулирование людских потоков на территории для создания комфортных условий проживания флоры и фауны. Ор-

ганизация буферных зон, защищающих приречную территорию от транспортного шума и пыли.

2. Обновление главных узлов притяжения: восстановление и развитие главных востребованных точек концентрации посетителей.

3. Инфраструктурная многофункциональность. Внедрение в монофункциональные территории второстепенных функций, которые помогут разнообразить досуг и привлечь больше потенциальных посетителей.

4. Интеграция медиапространств. Применение новых технологий и искусственного интеллекта, наличие взаимодействия человека с виртуальным миром.

5. Совмещение функций культурного и экологического просвещения.

6. Создание единой системы водно-зеленых ядер, объединяющихся в единый ВЗГК.

При формировании ЗИ города, обеспечивающей экосистемные услуги и повышающей качество жизни жителей, необходимо учитывать не только создание комфортной городской среды, но и другие показатели. Предложенные методы развития приречных пространств включают этапы формирования ВЗГК:

1. Создание актуального реестра растительности: анализ всей флоры на участке, формирование электронных паспортов каждой природной единицы.

2. Перепись всей фауны: анализ проживающих на территории рыб, птиц и животных, их миграций и мест обитания.

3. Тщательное изучение и оценка состояния береговых линий, предложения по их укреплению.

4. Оценка влияния флоры на воздушную среду, составление реестра необходимых новых насаждений по их экосистемным функциям.

5. Оценка влияния флоры на водные процессы, очистку воды, распределение водостока.

6. Анализ состояния водных ресурсов, их богатство и ареал обитания животных. Создание реестра сезонных паводков по их частоте, масштабу и зависимости от природных явлений.

7. Оценка качества почвы, предложения для улучшения ее плодородных качеств.

8. Определение восприимчивости территории к неблагоприятным техногенным воздействиям.

9. Оценка объемов работ по содержанию растительности в благоприятных условиях в период эксплуатации объекта.

10. Создание событийной программы эксплуатации объекта в зависимости от времени суток и сезона.

11. Анализ потенциальных посетителей по возрасту, интересам и группам мобильности.

По результатам анализа формирования водно-зеленого каркаса и организации общественных приречных пространств выявлены основные структурные элементы природно-экологического каркаса, подходы к его формированию на разных этапах проектирования, факторы воздействия на каркас. Также предложена схема разработки концепции, типы объектов экотуризма и принципы проектирования экологического парка (табл. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках проделанной работы на основе выделенных экологических подходов и методов проектирования общественных приречных пространств разработана концепция развития общественного пространства с благоустройством экопарка на приречной

Табл. 2. Природно-экологический каркас. Все аспекты (автор Д.Д. Андропова)

ПРИРОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КАРКАС					
ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ	ОСНОВНЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КАРКАСА				• идеология и методология создания мест рекреации; • функциональные и технологические ограничения; • мощность, плотность освоения территории (заложенные в концепте комплекса); • социальные особенности; • культурные особенности; • региональные особенности; • национальные особенности и установки, оказывающие влияние на жизненные процессы.
ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ	Типы основных блоков экологического каркаса				
	Крупно-ареальные базовые резерваты	Линейные блоки — экологические коридоры	Точечные (локальные местные) элементы	Буферные зоны	
Типы основных блоков экологического каркаса: • крупноареальные базовые резерваты; • линейные блоки — экологические коридоры; • точечные (локальные местные) элементы; • буферные зоны	Виды объектов экологического каркаса				
	Национальные и природные парки, заповедники, заповедные урочища, заказники (постоянные, временные сезонные), леса 1 и 2 групп (сейчас – резервные и защитные леса)	Русла и поймы крупных рек, долины малых рек и водотоков, водоразделы (и особенно водораздельные леса), озелененные коридоры транспортной и инженерно-технической инфраструктуры, защитные лесопосадки	Памятники природы различного профиля, зеленые зоны небольших населенных пунктов, водопады, ключи, охраняемые объекты неживой природы, памятники истории и культуры	Водоохранные зоны, охранные зоны ООПТ, курортные зоны и зоны охраны бальнеологических объектов и др., санитарно-защитные зоны, шумовые и другие зоны дискомфорта, охраняемые зоны водозаборов	

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ	Структура градо-экологического каркаса				ВНЕШНИЕ ↑ ФАКТОРЫ ↓
	Элементы мезоуровня		Элементы макроуровня		
• сады, парки, лесопарки; • скверы, бульвары и зеле- ные насаждения улиц, набе- режных и площадей; • насаждения, расположенные внутри жилой, общественной, промышленной застройки; • насаждения санитарно-за- щитного и общественного назначения (ветрозащитные полосы и бульвары, шумо- и газозащитные полосы, насаждения, расположенные на территории санитарно-за- щитных зон промышленных предприятий, больничных комплексов)	Зеленое кольцо		Зеленый радиус		ВНУТРЕННИЕ • природно-кли- матические осо- бенности среды проектирования, строительства и эксплуатации; • ландшафтно- пространствен- ные факторы территории раз- мещения; • специфические факторы окружа- ющей урбанизи- рованной среды, социальной среды и урба- нистического контекста; • планировочно- композиционные и технико-кон- структивные инварианты; • экологические и санитарно- технологические требования; • законодатель- ные требования, финансовые ограничения и ресурсы; • общий соци- ально-культур- ный контекст и глобальные/ локальные трен- ды, влияющие на виды рекреаци- онной деятель- ности
	Водно-зеленая дуга		Зеленые ядра		
	Водно-зеленый диаметр		Водно-зеленые коридоры и зеленые связи		
	Зеленые клинья		Элементы локального (микро) уровня		
ОБЪЕКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	Форматы элементов каркаса				
	Обществен- ные открытые пространства	Экологиче- ские зоны	Синяя + зе- лая инфра- структура	Рабочие и про- дуктивные рекреационные зоны	
Анализ конкретных объектов территории по критериям: • месторасположение; • природные условия; • зонирование; • функциональное напол- нение; • соотношение функций; • соотношение материалов и компонентов среды; • экологический подход; • анализ маршрутов; • Дизайн-код места	Места для отдыха, обще- ственной жиз- ни и мелко- масштабного выращивания продуктов питания	Луга и леса, обеспечи- вающие комфортную среду обита- ния флоры и фауны и другие эко- логические блага	Рекреаци- онные зоны, очищающие ливневые воды и воздух	Рекреация, где генерируют новые знания, воспроизводят энергию, про- дукты питания и создают новый городской опыт	Временные места рекре- ации, очища- ющие почву и открывающие новые формы общественной жизни и твор- ческих про- явлений
	• детские площадки; • окрестные парки; • спортивные площадки; • региональ- ные парки; • площади; • центры отдыха; • тропы/зеле- ные дорожки; • городские сады; • фермерские рынки	• природные парки; • промыш- ленные природные парки; • быстрое лесо- восстано- вление; • эколо- гическая преемствен- ность; • поймы рек	• крупные озера; • небольшие пруды-отстой- ники; • инфильтра- ционный парк; • заболоченная местность и инфильтрация; • придорож- ные пруды (вдоль широ- ких дорог); • буферные зоны зеленой промышлен- ности; • парки с системой минимизации углеродного следа	• исследовате- льский ландшафт; • городская ферма; • аквакультура и гидропоника; • выращивание водорослей и злаковых куль- тур; • энергоэффек- тивные поля или леса; • усадьбы; • кемпинги	• зоны для проведения мероприятий; • восстано- вление полей или лесов; • арт-пейзажи; • городские луга

территории р. Томь и пешеходного «обитаемого» моста через р. Томь в Новокузнецке. В перспективе развития приречных территорий рассматриваемый участок имеет большой потенциал для создания единого ВЗКГ. Предлагаемая концепция объединяет крупные лесные массивы приречной территории главной во-

дной артерии Новокузнецка в единую систему экоридоров, создавая в самом центре индустриального города культурный, экономический, экологический и развлекательный кластер, который может стать главным центром притяжения в регионе и обеспечит координированность за счет гармоничного внедре-

ния природных ландшафтов в урбанизированную среду. Проект предусматривает общий дизайн-код всей территории, который прослеживается в цветовой гамме, малых архитектурных формах одной стилистики, и применение единых отделочных эко-материалов. Разработанный кластер в перспективе благоприятно повлияет на экологическую обстановку в городе, повысит уровень заинтересованности населения в сохранении природных ландшафтов и увеличит уровень экономической привлекательности. Концепция разработана в рамках устойчивого развития, что обеспечит экономическую и экологическую стабильность.

На рассматриваемой территории, придерживаясь подхода полифункциональности, предлагается размещение крупного культурно-образовательного центра, экопарка и многофункционального пешеходного моста на правый берег р. Томь. Концепция предусматривает сохранение редкого инвазивного вида растительности — черных тополей. «Вертикальность» решения посредством формирования экопарка в двух уровнях. Нижняя терраса решена в виде прогулочных троп в природных древесных материалах с размещением на открытых полянах экологических станций и площадок с экстендами и детским оборудованием, куда внедряется взаимодействие с водой. Наличие таких площадок позволит повысить заинтересованность горожан в проблемах экологии и сохранении природных уголков города, а также привить детям интерес к природе. Почва засажена разнообразными злаковыми культурами, которые вместе с тополями производят фильтрацию воды в реке во время сезонных паводков.

Верхняя терраса из-за сильных паводковых затоплений представляет собой поднятые на 7 м над землей тропы, расположенные между деревьями. На них запроектированы смотровые и детские площадки, места отдыха и энергоэффективные эко-отели с видом на р. Томь (рис. 11). Все элементы концепции решены в рамках адаптивности: каждый элемент способен меняться, учитывая контекст мероприятий, их сезонность, экономические, природные и социальные изменения в обществе.

Безопасный, быстрый и удобный доступ для всех групп посетителей обеспечивается путем проектирования безбарьерной среды. Доступность и безопасность формируются за счет остановки общественного транспорта в непосредственной близости к культурному центру и наличия надземных переходов, оснащенных лифтами для маломобильных групп населения (МГН), которые располагаются над оживленной автомобильной дорогой вдоль всего участка проектирования. Также весь парк оснащен водонепроницаемыми лифтами для комфортного перемещения между разными уровнями парка.

Концепция предусматривает для всех сооружений класс энергоэффективности А+, что позволит увеличить индекс экологической эффективности (EPI)⁸.

Пешеходный мост решен в виде крупного пешеходного транзита с размещением культурно-выставочного центра и сада с фермой по выращиванию тюльпанов (рис. 12).

⁸ Environmental Performance Index. URL: <https://epi.yale.edu/>

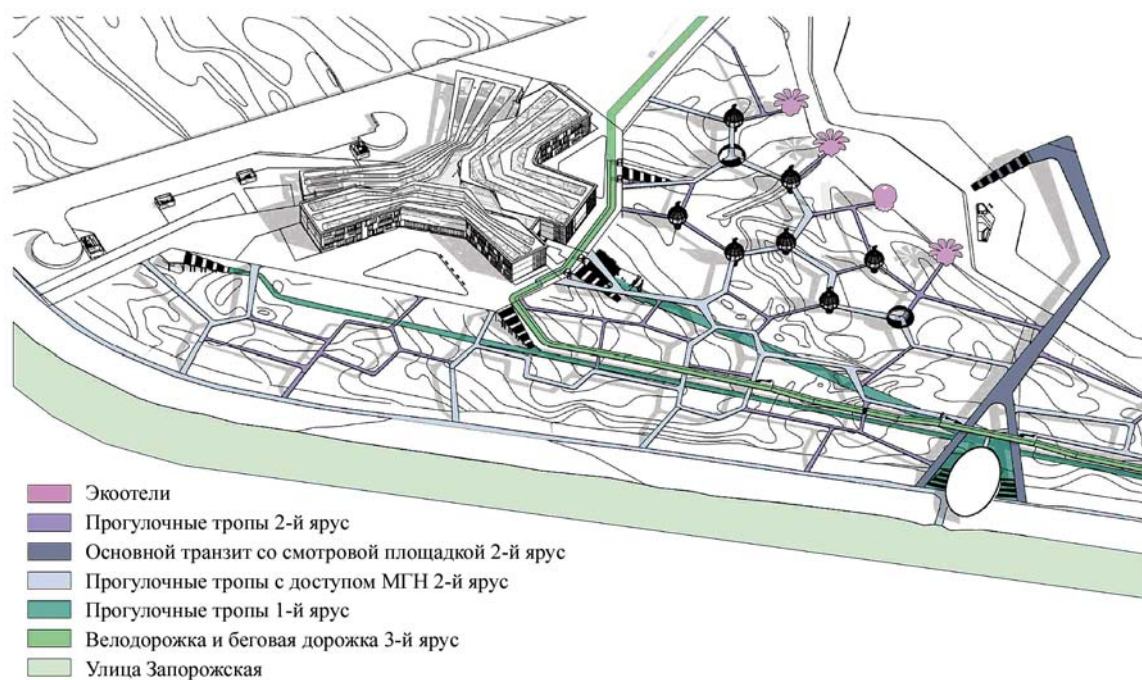


Рис. 11. Схема фрагмента экопарка и культурного центра (автор Д.Д. Андропова)

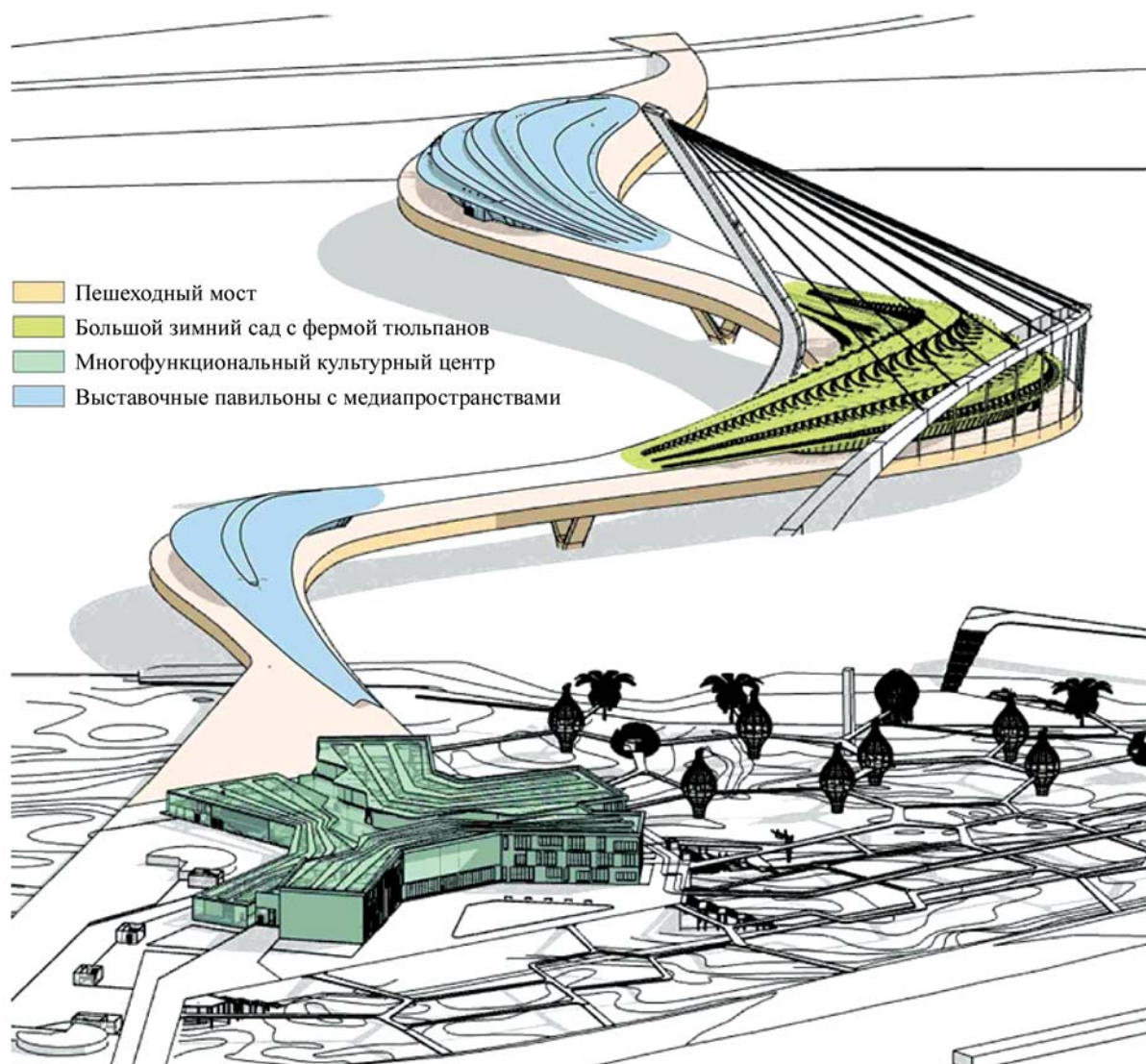


Рис. 12. Схема многофункционального пешеходного моста через р. Томь (автор Д.Д. Андропова)

Он предусматривает связь парка с главными точками притяжения на противоположном берегу: Кузнецкой экологической тропой, памятником природы «Топольники» и предлагаемой железнодорожной станцией, благодаря которой появляется дополнительное привлечение потенциальных посетителей, что поддерживает экономическую стабильность культурного кластера. Такое решение обеспечивает непрерывный пешеходный поток между главными узлами города и соединяет крупные лесные массивы в единую сеть водно-зеленого каркаса Новокузнецка. На мосту предлагается точечное размещение озеленения в виде ботанического сада с тропическими растениями, что также способствует созданию экокоридоров для снижения антропогенной нагрузки на главную водную артерию города р. Томь. По всей площади покрытия моста предусматриваются небольшие кластеры плодово-ягодных растений для возможности передвижения насекомых-опылителей через

реку, что способствует поддержанию разнообразия биоценоза. Изогнутая конфигурация моста создаст различные ветровые режимы на его участках, позволяя снизить общую ветровую нагрузку на покрытие моста. Данное решение дает возможность сохранить в относительном постоянстве цветочную дисперсию летучих органических соединений для создания комфортного микроклимата цветочных опылителей и, таким образом, сформировать экологический коридор [29]. Такой мост в перспективе может стать уникальным объектом архитектуры в области экологического и салятогенного дизайна.

Общая схема предлагаемой концепции представлена на рис. 13.

Центральное расположение в структуре города крупного экологического комплекса позволяет объединить исторический и административный узлы притяжения в единую систему культурных и рекреационных пространств Новокузнецка.

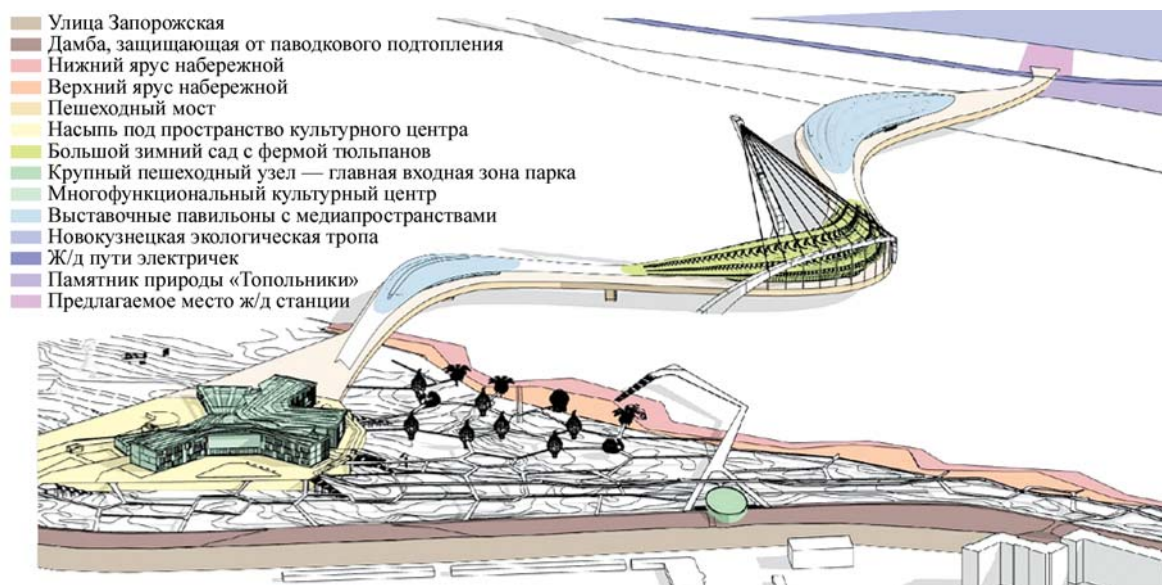


Рис. 13. Общая схема предлагаемой концепции (автор Д.Д. Андропова)

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Li Y.Y., Zhang Y.Z., Jiang Z.Y., Guo C.X., Zhao M.Y., Yang Z.G. et al. Integrating morphological spatial pattern analysis and the minimal cumulative resistance model to optimize urban ecological networks: a case study in Shenzhen City, China // *Ecological Processes*. 2021. Vol. 10. Issue 63. DOI: 10.1186/s13717-021-00332-2
2. Gayen J., Datta D. Application of pressure–state–response approach for developing criteria and indicators of ecological health assessment of wetlands: a multi-temporal study in Ichhamati floodplains, India // *Ecological Processes*. 2023. Vol. 12. Issue 34. DOI: 10.1186/s13717-023-00447-8
3. Brettschneider D.J., Spring T., Blumer M., Welge L., Dombrowski A., Schulte-Oehlmann U. et al. Much effort, little success: causes for the low ecological efficacy of restoration measures in German surface waters // *Environmental Sciences Europe*. 2023. Vol. 35. Issue 31. DOI: 10.1186/s12302-023-00736-1
4. Данилина Н.В., Маджорзадеджахири А. Analysis situation of urban green space framework in Tehran // *Вестник МГСУ*. 2021. Т. 16. № 8. С. 975–985. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.8.975-985
5. Beretić N., Đukanović Z., Campus G. Plural city: layered singularities and urban design: case of Belgrade City (RS) // *City, Territory and Architecture*. 2022. Vol. 9. Issue 11. DOI: 10.1186/s40410-022-00154-5
6. Zhou Y., Chen G., Zhou W. Sustainable urban systems: from landscape to ecological processes // *Ecological Processes*. 2022. Vol. 11. Issue 26. DOI: 10.1186/s13717-022-00371-3
7. Tarek S., Ouf A.S.E.D. Biophilic smart cities: the role of nature and technology in enhancing urban resilience // *Journal of Engineering and Applied Science*. 2021. Vol. 68. Issue 40. DOI: 10.1186/s44147-021-00042-8
8. Song S., Wang S.H., Shi M.X., Hu S.S., Xu D.W. Multiple scenario simulation and optimization of an urban green infrastructure network based on complex network theory: a case study in Harbin City, China // *Ecological Processes*. 2022. Vol. 11. Issue 33. DOI: 10.1186/s13717-022-00372-2
9. Tiang D.C.F., Morris A., Bell M., Gibbins C.N., Azhar B., Lechner A.M. Ecological connectivity in fragmented agricultural landscapes and the importance of scattered trees and small patches // *Ecological Processes*. 2021. Vol. 10. Issue 20. DOI: 10.1186/s13717-021-00284-7
10. Yeang K., Dilani A. Ecological and Salutogenic Design for a Sustainable Healthy Global Society. Cambridge : Cambridge Scholars Publishing House, 2021. 280 p.
11. Кайсарова Е.А. Особенности формирования городской водно-зеленой системы на примере города Минска // *Инновационные технологии в строительстве и ЖКХ — основа формирования городской среды : сб. ст. науч.-практ. конф., проведенной в рамках студенческого конкурса «Строим новый город»*. 2020. С. 30–33. EDN LNGXJD.
12. Булатова Е.К., Ульчицкий О.А., Сальникова М.Ю. «Зеленая» архитектура городских набережных: на примере г. Екатеринбурга // *Урбанистика*. 2021. № 1. С. 99–108. DOI: 10.7256/2310-8673.2021.1.32702

13. Аркадьева В.В., Школьников И.Г. Особенности формирования экологического парка на городском острове как ядра водно-зеленого каркаса в городе Астрахани // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14. № 4. С. 1. EDN MHNOMO.

14. Яковлева К.С., Безрукова А. Тенденции проектирования прибрежных и парковых пространств на примере Канонерского острова // Инновации и инвестиции. 2022. № 7. С. 111–114. EDN MLNASQ.

15. Климов Д.В., Смирнова С.Ю., Ткаченко Л.Я. Природно-экологический каркас — основа устойчивого градостроительного развития Московской области // Academia. Архитектура и строительство. 2023. № 1. С. 71–79. DOI: 10.22337/2077-9038-2023-1-71-79. EDN ORXLDH.

16. Золотарева Е.В., Коренькова Е.А. Анализ влияния соотношения типов пространственных структур скверов г. Орла на архитектурно-экологическую устойчивость урбанизированных ландшафтов // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 12. С. 1541–1548. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1541-1548. EDN BJSZLL.

17. Ефимова Т.Б. Система зеленых пространств как экологический каркас города Пензы // Архитектура и современные информационные технологии. 2023. № 3 (64). С. 233–246. DOI: 10.24412/1998-4839-2023-3-233-246. EDN XPRUIC.

18. Грибанова Н.В., Школьников И.Г. Формирование системы общественных приречных пространств как инструмент развития водно-зеленого каркаса города Пермь // Инновации и инвестиции. 2022. № 9. С. 149–156. EDN ZVKLKY.

19. Гомозов В.И. Реконструкция «серого пояса» Санкт-Петербурга: проблема формирования зеленого каркаса // Инновации и инвестиции. 2022. № 7. С. 115–118. EDN VSALRE.

20. Исмагилова С.Х., Сивцев А.В., Закирова Ю.А. Градостроительное формирование рекреационно-туристических кластеров в прибрежной зоне р. Лены Республики Саха (Якутия) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 5. С. 23–36. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-23-36

21. Силин Р.В., Корбут Е.Е. Разработка методики и оценка качества функционального зо-

нирования территории парков больших городов Беларуси // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. № 1. С. 11–23. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.11-23. EDN QPDAKU.

22. Ожегова Е.С., Чурсина Л.В. Современные концепции архитектурной сценографии городских и парковых пространств // Архитектура и современные информационные технологии. 2024. № 1 (66). С. 294–308. DOI: 10.24412/1998-4839-2024-1-294-308. EDN IGFPPA.

23. Жильцова О.К. Современное понятие «городской природный каркас». Его развитие и осмысление // Инновации и инвестиции. 2023. № 2. С. 150–154. EDN ZUHRYY.

24. Горгорова Ю.В. Архитектурная активация культурной привлекательности городской среды // Архитектура и современные информационные технологии. 2024. № 1 (66). С. 224–233. DOI: 10.24412/1998-4839-2024-1-224-233. EDN CMYMS.

25. Очирова Д.Д., Суровенков А.В., Демин А.В. Анализ мирового опыта проектирования экопарков с учетом природных, климатических и культурных условий // Инновации и инвестиции. 2020. № 5. С. 260–263. EDN UWTCEY.

26. Яницкий О.Н. Экомодернизация России: проблемы, концепции, решения // История и современность. 2008. № 2. С. 95–116. EDN JTLSBV.

27. Теличенко В.И., Бенуж А.А., Сухинина Е.А. Межгосударственные «зеленые» стандарты для формирования экологически безопасной среды жизнедеятельности // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 4. С. 438–462. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.4.438-462. EDN EXLUMH.

28. Левакова И.В., Арустамов Э.А. Некоторые аспекты оценки экологического состояния Кемеровской области // Вестник евразийской науки. 2019. Т. 11. № 6. С. 35. EDN UVSGWR.

29. Wang Y., Jia S., Wang Z., Chen Y., Mo S., Sze N.N. Planning considerations of green corridors for the improvement of biodiversity resilience in suburban areas // Journal of Infrastructure Preservation and Resilience. 2021. Vol. 2. Issue 6. DOI: 10.1186/s43065-021-00023-4

Поступила в редакцию 8 мая 2024 г.

Принята в доработанном виде 8 мая 2024 г.

Одобрена для публикации 11 мая 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: Дарья Дмитриевна Андропова — студентка; Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин); 630008, Новосибирск-8, ул. Ленинградская, д. 113; andropova@live.ru;

Юлия Евгеньевна Нижегородцева — старший преподаватель, заместитель заведующего кафедрой архитектуры и реконструкции городской среды; Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин); 630008, Новосибирск-8, ул. Ленинградская, д. 113; yu.nizhegorodtseva@sibstrin.ru;

Алексей Алексеевич Гудков — кандидат архитектуры, профессор кафедры архитектуры и реконструкции городской среды; Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин); 630008, Новосибирск-8, ул. Ленинградская, д. 113; aa_gudkov@mail.ru.

Вклад авторов:

Андропова Д.Д. — сбор и обработка материала, написание текста, составление модели, создание схем и таблиц.

Нижнегородцева Ю.Е. — концепция исследования, обработка материала, доработка текста.

Гудков А.А. — научное руководство, научное редактирование текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

In recent decades, changing climatic conditions have necessitated the formation of independently designated urban structures — the Water-Green Urban Framework (WGUF). They are aimed at creating a holistic interconnected spatial structure of green spaces, water bodies and urbanized areas. The main objective of such frameworks is to maintain a healthy and sustainable urban environment through a combination of green spaces and water features that allow for optimal levels of temperature, humidity, aeration and solar radiation. In addition, the WGUF fulfils recreational functions, taking into account the acceptable anthropogenic impact on the landscape, improving connectivity through green corridors, pedestrian and bicycle accessibility within the project, as well as fulfilling cultural, educational and economic functions.

The study of foreign scientific works in the field of ecological processes allowed to identify approaches to the study of water-green infrastructure, methods of quantitative assessment and ranking of anthropogenic impacts, as well as options for biodiversity conservation to achieve the goal of sustainable development.

Consider current trends in scientific work: a study by Chinese scientists in Shenzhen indicates that ecological sources can be identified virtually and ecological networks can be significantly optimized by combining analytical models. These results provide methodological guidance for ecological network construction and will be useful for urban planning and biodiversity protection [1]. Jibananda Gayen and Debajit Datta in their paper to develop criteria and indicators for assessing the ecological condition of wetlands in the floodplains of the Ichhamati River in India identified the major ecological, socio-economic and institutional problems negatively affecting the condition of wetland biodiversity and ecosystems by the method of delineating the major pressure components and quantifying them [2].

A scientific paper on the causes of low ecological effectiveness of restoration measures in German surface waters deals with the discovery of the main overarching stressors affecting the ecological effectiveness of restoration measures and ranking them according to their impact on rivers at different scales [3].

In assessing the condition of Tehran's green urban framework, the amount of green space per capita and the areas of green spaces in all districts of the city were analyzed [4]. In order to discuss and evaluate the elements, relations of a diverse city, the multilayered singularities of Belgrade in multiscale multiplicity were interpreted, public spaces with potential were identified and their possibilities for improvement through various forms of art were investigated [5].

Yuyu Zhou, Gang Chen and Weiqi Zhou analyzed various models and algorithms to improve existing satellite observations and develop new indicators for urban environment monitoring [6].

The research paper Biophilic Smart Cities: The Role of Nature and Technology in Enhancing Urban Resilience identifies indicators for biophilic and smart cities that can be used together to enhance their sustainability. The study established key indicators for both biophilic and smart cities, and looked at key principles and aspects of urban sustainability to understand how this works and to point out their relationship with biophilic smart approaches [7].

The study of urban green infrastructure network using Harbin city in China as an example discusses the contradiction between urban economic development and the construction of green infrastructure (GI) networks, and the modelling and optimization of GI networks in different scenarios provides a scientific basis for the design of relevant development strategies and environmental protection policies [8].

Darrel Chin Fun Tian, Andrew Morris, Matthew Bell and others in their paper modelled the connectivity of the Karuah Mayall catchments, a forested landscape fragmented by a matrix dominated by pastoralism. This approach provided an opportunity to quantify the importance of small-scale features, such as scattered trees, in terms of connectivity [9]. A book by Ken Young and Alan Delaney [10] was a major influence on the nature and content of this paper. In it, the authors describe four design strategies that can be used in combination to achieve a balance between artificial and natural environments (Fig. 1). Green infrastructure is interconnected networks of natural areas and other open spaces. They are green spaces within a biome that preserve natural ecosystem values, clean air and water. Such a system provides a natural habitat for a wide range of wildlife.

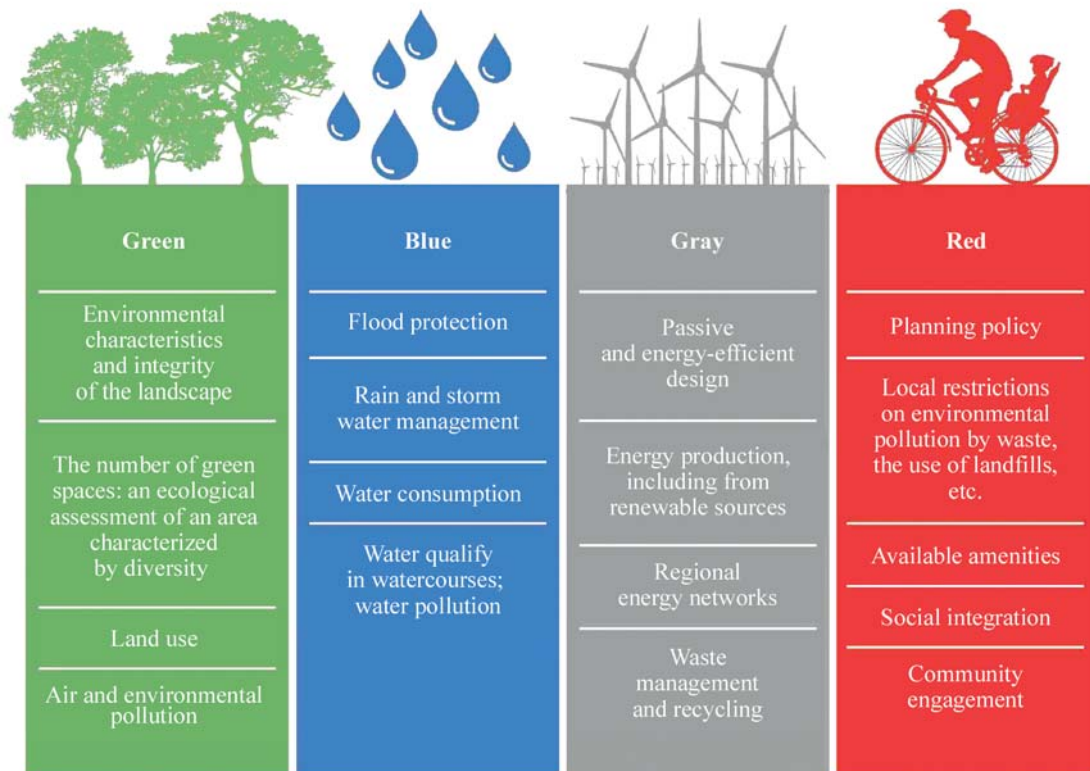


Fig. 1. Four design strategies within salutogenic and ecological design (by Ken Young and Alan Delaney)

The authors note that green eco-corridors serve as an important component of GI. Linear corridors of flora and fauna connect existing green spaces and create new, larger habitats. They form new links between forest belts, wetlands and waterways. Any new GI should complement and enhance the natural functions of what is already present in the landscape. Eco-infrastructure should take precedence over engineering infrastructure in design. By creating, enhancing and restoring the ecological connectivity of the environment, it transforms human intervention in the landscape from a negative to a positive act.

The importance of providing not only horizontal connectivity but also vertical connectivity is also noted. An obvious demonstration of horizontal connectivity is the provision of ecological corridors, and connectivity across impermeable surfaces and roads can be achieved through ecological bridges and subterranean floors. Design should extend ecological corridors vertically, with eco-infrastructure touching the entire built environment to create habitats on walls, terraces and rooftops [10].

E.A. Kaisarova in her paper considers the water-green diameter of Minsk through the analysis of water systems and green areas with the calculation of area per capita [11].

The experience of domestic and foreign studies shows the importance of comprehensive assessment of the territory, analysis of climatic, recreational and cultural features of the territory and application of special

software in the field of climatology and ecology for modelling various scenarios of territory development.

The study is further based on the design experience of several large cities.

The Sverdlovsk Oblast has 101 approved ecological framework cores or key natural areas. The Ekaterinburg agglomeration is a multibeam agglomeration with the appearance typical of agglomerations formed in a branched transport hub. The current stage of landscaping is characterized by densification of the built-up area, which results in a reduction of the area under landscaping in the residential zone and a decrease in the area of some park massifs. Recreational systems of the Yekaterinburg agglomeration are formed near such natural formations as Shartash, Peschanoye, Verkh-Isetskoe Reservoir and the Iset River, the latter in turn is a key element of the aquatic ecological and recreational zone of the city of Yekaterinburg [12].

In Astrakhan there is a problem of lack of a “connected” system of recreational areas and their shortage. Many of the existing natural complexes are experiencing significant anthropogenic load and are changing from their original natural state. Another problem is the low level of landscaping. Among the greened urban spaces, the most important role in the bioclimatic state of the city is played by the island “Gorodskoy”, it is an ecological oasis, repeating the delta biotopes of floodplain forests, inland lakes, open spaces and flood meadows, sandy spits of the coastline, as well as zones of wetlands [13].

One of the most interesting and complex areas of the urbanized environment is Kanonersky Island in St. Petersburg, where the need to create certain links between the natural landscape component and artificial anthropogenic activities is evident. The island is characterized by recreational potential and vegetation. The territory has a favourable location relative to the city centre, but it is difficult to access for visiting [14].

The Moscow Region has accumulated extensive experience in the development of ecological principles for improving the territorial structure. The historical and cultural framework of the Moscow Region is a set of valuable territories that are an example of the Central Russian landscape with expressive relief and diverse vegetation cover. Cultural heritage objects are connected by visual corridors with the landscape environment and determine the character of development of significant territories. Planned natural-historical and ecological territories in combination with specially protected natural areas (SPNA) form the basis of the natural-ecological framework of the region, which also includes other populated areas and water bodies [15].

In the city of Orel, most public gardens are characterized by a small area (up to 2 hectares), the age of plantings is close to the limit, all public gardens border main roads with a significant traffic load. Territorial location determines the negative dynamics of urban ecosystems — vegetation is exposed to heavy pollution by exhaust gases and heavy metals, noise from transport. The ratio of types of spatial structures at the site in most cases does not meet urban planning requirements [16].

In Penza, green spaces of all types of use are concentrated in the city centre and in the area of Zapadnaya Polyana. The area of landscaped green spaces in relation to the area of industrial and residential areas is small. Most of all green spaces are occupied by border forests and steppe territories, meadows and agricultural fields, which are not included in the general natural and urban development framework. There is a rather large forest belt on the territory of the city, as well as parks and public gardens, Akhuny climatic resort, other reserves and protected areas [17].

On the territory of Perm, water bodies occupy a special place in the greening system of the city. Water-green radii penetrate the city in different directions. The industrial component of the urban fabric has destroyed part of the “green corridors” providing access to water bodies. The densification of development, the organization of transport hubs and changes in the functional content of coastal zones have reduced some of the “green corridors”. Most of the water sources are classified as “polluted, dirty and very dirty” [18].

V.I. Gomozyov in his paper analyzed one of the attempts of the city authorities to formulate general approaches to the reconstruction of the “grey belt” of St. Petersburg. The study focuses on identifying in the projects the principles and approaches to the formation of

the green framework of these territories, its continuity and sustainability [19].

In addition to analyzing the environmental aspects in the design of green public spaces, an important factor is the consideration of social aspects in urban development. S.H. Ismagilova, A.V. Sivtsev and Y.A. Zakirova in their work on the formation of recreational and tourist clusters analyze the infrastructure of tourist services and identify the principles of sustainable urban development of recreational and tourist system of Yakutia [20].

Various factors of influence on the comfort of park urban environment were analyzed [21]. The approach of architectural scenography from the perspective of environmental design was studied [22]. Terminology in the field of environmental design was investigated [23]. The aspects of activation of cultural attractiveness of the territory within the framework of the city brand strategy are considered [24]. The authors of the article also familiarized themselves with the principles of ecological parks design [25].

Doctor of Philosophy O.N. Yanitsky studied the development of Russian environmental culture in the XX century and identified four key stages: the initial period (1917–1929); the period of stagnation (1929–1960); the period of strengthening (1960–1985); the period of change (1985–1999) [26].

Accordingly, it is worth paying attention to the legislative requirements of the Russian Federation on environmental design, which the authors of this study divided into the following stages:

1. The birth of environmental legislation (1950–1970) — development of the first normative documents.
2. Development of environmental legislation (1971–1990) — development of a full-fledged legislative framework.
3. Establishment of environmental legislation (1991–2010) — formation of final regulations and conditions for a new approach to environmental management.
4. Rethinking environmental legislation (2011–2021) — transition to interstate “green” standards of GOST R series [27].

2017 is considered to be one of the most important years in the history of the country’s environmental development. By the Decree of the President of the Russian Federation dated 05.01.2016 No. 7, 2017 was declared the Year of Ecology in Russia¹. The national projects “Ecology”, “General Cleaning”, “Clean Air” were launched.

In February 2021, the Russian-French project “Water-Green Urban Framework” under the leadership of the Ministry of Construction of the Russian Federation was launched; it is a significant stage of a new look

¹ The Year of Ecology in the Russian Federation: Decree of the President of the Russian Federation of 05.01.2016 No. 7. 2016. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/40400>

at the urban environment². Scientists and administrative staff have moved from theoretical research to practical issues of urban ecology at the level of developing regulatory guidelines. This is the first step towards comprehensive formation of the city's ecological environment instead of considering individual aspects such as ecology of water bodies, monitoring of landscaping, flora and fauna in city parks.

In Russia, there are differences in the interpretation of terms related to the WGUF concept, but most authors agree with the definition approved by the Ministry of Construction of the Russian Federation: "Water-Green Urban Framework (WGUF) is a set of interconnected urban areas with vegetation cover and urban water bodies included in the urban environment. These can be both natural, natural objects and artificial ones. They include squares, flowerbeds, parks, lawns, water bodies, rivers. The main task of the framework is to provide comfort and create recreational areas, the microclimate of the city, and improve the ecology"³.

In 2019, Kemerovo Oblast adopted the law "On Environmental Education and Formation of Environmental Culture"³.

In order to minimize the technogenic impact on the region's nature, the Kemerovo Region-Kuzbass State Programme "Nature Management and Environmental Protection" came into effect in 2024. Assessment of the current state of ecology in the region: "The main environmental problems still include: air pollution; pollution and depletion of water bodies; generation of production and consumption waste; pollution and degradation of soil and land resources; reduction of biological diversity of the Kemerovo Oblast — Kuzbass, increase in the number of rare and endangered species of animals, plants and fungi; low environmental culture of the population"⁴.

Within the framework of the existing state and regional programmes aimed at restoring the well-being of the region's natural components, there is an opportunity to create and strengthen the Novokuznetsk WGUF. In this regard, it becomes relevant to identify the main environmental approaches to the formation of WGUF and the principles of development of public riverside

spaces within the framework of an integrated approach to the conservation and restoration of natural landscapes and to develop a conceptual solution for the region under consideration using these approaches and principles.

MATERIALS AND METHODS

Russian and foreign experience of designing public riverside areas in the context of sustainable development was taken into account; on this basis, a thorough urban and social analysis of Novokuznetsk was carried out, the main elements of the WGUF were identified, the formats of the framework elements and types of ecotourism objects were modelled. Based on the developed classifications, the concept of public space in the Tom River floodplain in the central district of Novokuznetsk was developed by the method of structural analysis of the territory using 3D modelling.

RESEARCH RESULTS

If a city has several water bodies that occupy an important place in its architectural and planning framework and system of natural components, as in Novokuznetsk, Kemerovo region, where the Tom, Aba, Kondoma rivers and valleys of other small rivers penetrate the city from different sides, this indicates the relevance of the principles of continuity of landscaping and its relationship with open spaces of different levels on which such systems are built. Urban planning concepts should study areas where different types of landscapes and/or functional zones intersect, which serve as inactive areas in the city due to their unfavourable location and lack of necessary infrastructure, resulting in lack of interest among citizens.

Novokuznetsk, one of the largest cities in Kuzbass in terms of area and the second largest in terms of population, as well as the oldest city in the Kemerovo Region, which is an important centre of economy, transport and culture in Siberia, is considered to have an unfavourable environmental situation due to its specialization as one of the largest metallurgical and coal mining areas in Russia. According to the results of the National Environmental Rating, which reflects environmental events from 1 December 2023 to 29 February 2024, the Kemerovo Region ranks 71st out of 84 possible⁵. This low result is due to the presence of a large number of large industrial enterprises in the region, so there are serious problems with water bodies. The issue of drinking water supply in the region is acute. There is a critical decrease of small rivers. Only for the last 30 years, out of 905 rivers in Kuzbass as a result of economic activity, about 200 have been destroyed, which used to supply clean water to the main water artery of the region — the Tom River [28].

² The results of the first year of the Russian-French project "Water-Green Urban Framework", Ministry of Construction of Russia. 2021. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/podvedeny-itogi-pervogo-goda-raboty-rossiysko-frantsuzskogo-proekta-vodno-zelenyy-gorodskoy-karkas/>

³ Law of the Kemerovo region — Kuzbass from 24.12.2019 No. 165-OZ, Electronic fund of legal and regulatory and technical documents. 2019. URL: <https://docs.cntd.ru/document/561652582?ysclid=lvf85urtsh408864254>

⁴ Approval of the State Programme of the Kemerovo Region — Kuzbass "Nature Management and Environmental Protection" No. 719, Electronic Bulletin of the Government of the Kemerovo Region — Kuzbass. 2023. URL: <https://ako.ru/bulletin/319901>

⁵ "National Ecological Rating of Russian regions" by the results of winter 2023–2024, Green Patrol. 2024. URL: <https://greenpatrol.ru/tpost/86a9zxhcr1-natsionalnii-ekologicheskii-reiting-regi>

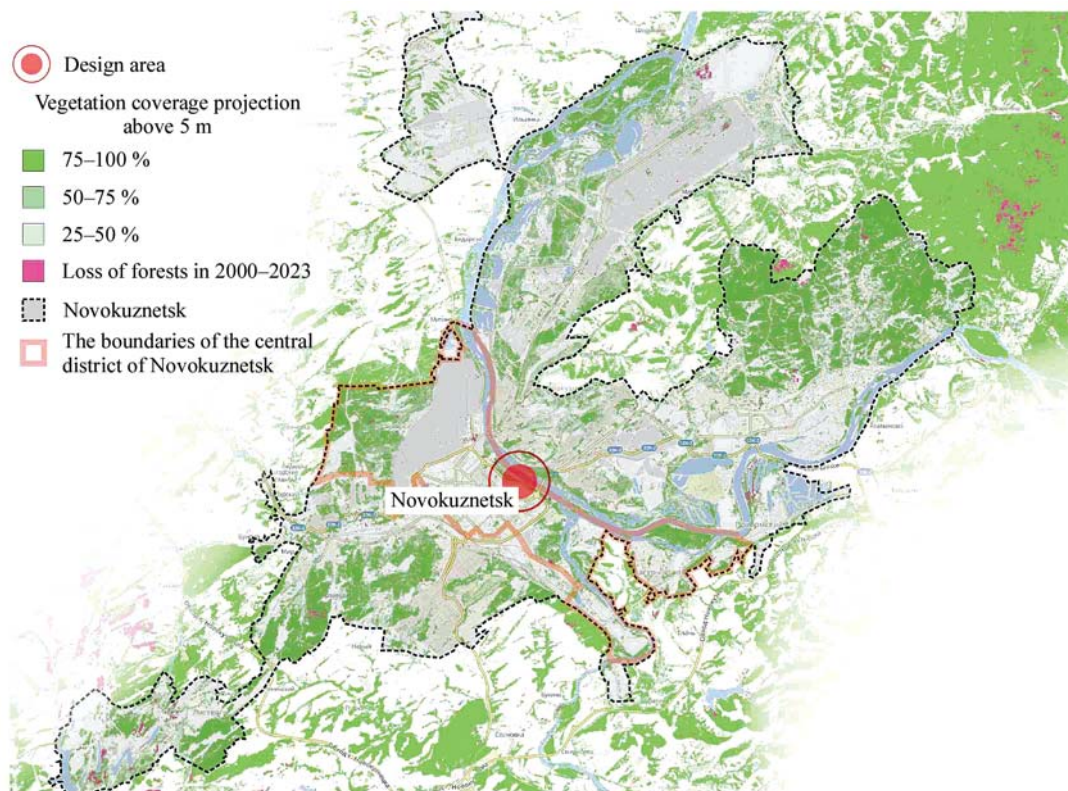


Fig. 2. Forest cover of Novokuznetsk (by D.D. Andropova)

The territory of Novokuznetsk is under a strong technogenic impact, which is due not only to the immediate proximity to residential neighbourhoods of large metallurgical and coal mining facilities, but also to its geographical location. The city is located in a lowland surrounded by mountain ranges, due to which smog from pollutants is formed over the city. The total area of land of recreational importance is 9,781 ha, of which 7,803 ha are urban forests⁶. There is 69 m² of greenery per capita, which is a good indicator, several times higher than the regulated minimum value.

Having analyzed the current state of Novokuznetsk with the help of satellite images with regard to the number of green spaces and their concentration, we can conclude that, despite the good provision with green spaces, there is a strong fragmentation due to the pace of industrial development and the existing building of the city (Fig. 2). The greatest concentration of large forest areas is in Ordzhonikidzevsky and Kuibyshevsky districts, the least concentration is in Kuznetskiy and Novoilinskiy districts. In the central district forest clusters are unevenly located. Greening is concentrated in the north-west and south-east of the district, while the central part lacks large green areas.

⁶ Report on the state of the environment of the city of Novokuznetsk for 2021. 2022. URL: https://eko-nk.ru/user_images/File/%D0%98%D0%A2%D0%9E%D0%93%D0%9E%D0%92%D0%AB%D0%99%202021.pdf

Geomorphological elements such as watersheds and river valleys have a significant impact on the ecology and climate of the city. The Tom River approaches Novokuznetsk from the north-east, turning to the west, and in the city centre abruptly changes its direction to the north-east. The Kondoma River enters the city from the south and the Kondoma River from the west. The Kondoma River enters the city from the south and the Aba River from the west (Fig. 3). The main waterway of the city, the Tom River in the central part of Novokuznetsk at the mouth of the Kondoma River changes its type from mountainous to plain.

Having studied the location of landscaping within Novokuznetsk city limits, it is possible to note large forest clusters of the city, structuring them by their ecological condition and location relative to the water infrastructure, and to identify fragments of river water areas, where disruption of connectivity is detected (Fig. 4). The condition of the water-green framework of the Tom River within the boundaries of Novokuznetsk can be characterized as satisfactory. In Ordzhonikidzevsky district a large break in the framework and the presence of a green cluster with significant forest losses are observed. Good connectivity is noted in the north of the city in the Zavodskiy district, but environmental sustainability is compromised by the neighbourhood of an extensive industrial zone. Also to the north of the mouth of the Aby River along the left bank of the Tom River there is no green corridor, and due to the direct access to the river of a large anthropogen-

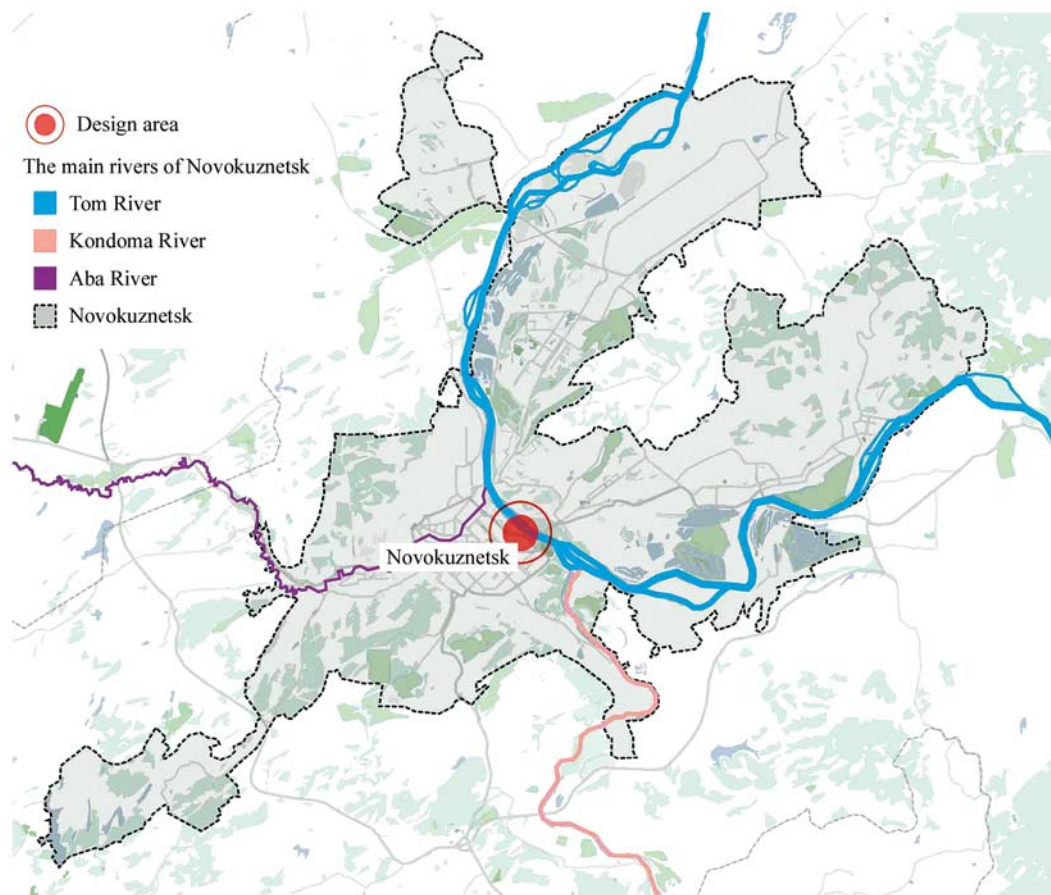


Fig. 3. Major rivers of Novokuznetsk (by D.D. Andropova)

ic zone, the impact of negative impacts on the “blue” highway becomes critically high. The state of protection of the Kondoma River, despite the large number of forest clusters along its banks, is aggravated by the location of the production facility in close proximity to the river and the presence of a break in the WGUF at its mouth. The WGUF of the Aba River, whose banks near its confluence with the Tom River are reinforced with concrete slopes for a kilometer and a half, has a much worse impact on the species composition of the waterway’s biocenosis. Intact floodplains with preserved natural ecosystems contribute to the formation of shade and thus provide a constant temperature regime comfortable for the inhabitants of the aquatic system. In addition, from the river mouth along its perimeter towards the south-west, there is no ecological corridor, which is necessary to maintain the stability of the composition of the biocommunity, this situation is aggravated by the negative anthropogenic impact of the industrial zone located near the river’s confluence with the Tom.

Restrictive measures in the legislative sphere on the use of valuable natural areas play an important role in the conservation and restoration of WGUF. Novokuznetsk has three protected areas, concentrated in one place, in the very centre of the city on the bank of the Tom River (Fig. 5), and spawning protection zones have been established in the north and east of the city in

the water area of the Tom River. In addition, rare birds of prey from the Red Book of the Kemerovo Region were spotted in a forest area on the left bank of the Tom River not far from the protected area⁷.

The most greened is the central district of the city. The area of public green spaces in the district is 125.41 hectares. Provision with green spaces in the central part of the city is more than 14 m² per inhabitant⁶. In addition, a significant part of the area of the district is occupied by the industrial zone located in the north-west of the city. Taking into account the wind rose, during the year the prevailing wind is the west wind, as a result of which a colossal part of the city is subjected to anthropogenic impact from the industrial area (Fig. 6). Large areas of the Tom and Aba rivers and specially protected natural areas are also negatively affected due to the distribution of wind flows.

The study of the condition of coastal zones as unfavourable and polluted creates conditions for the formation of an urban network of water-green cores. Small rivers penetrate through the urban structure in various directions, which makes it possible to unite neighbourhoods into a single system. Given the fragmentation and isolation of green areas, as well as a large number

⁷ HCVF in the Kemerovo Oblast // hcvf. URL: <https://hcvf.ru/ru/maps/hcvf-kemerovo>

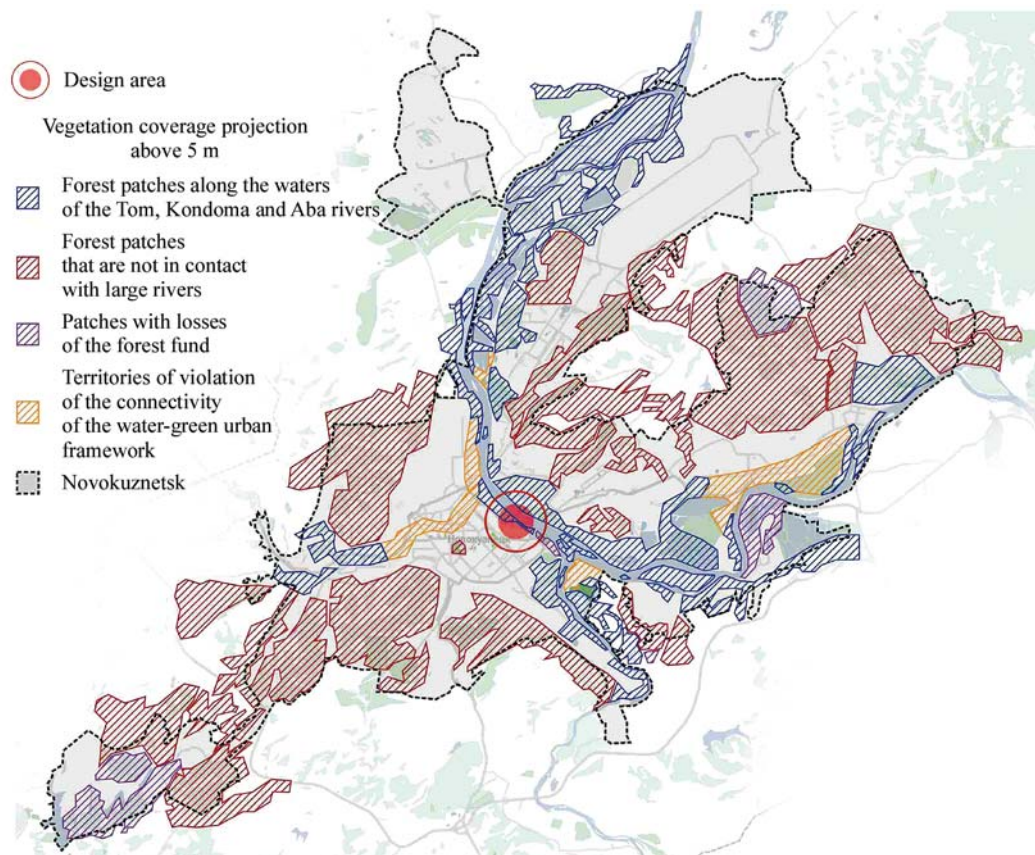


Fig. 4. Large forest patches of Novokuznetsk (by D.D. Andropova)

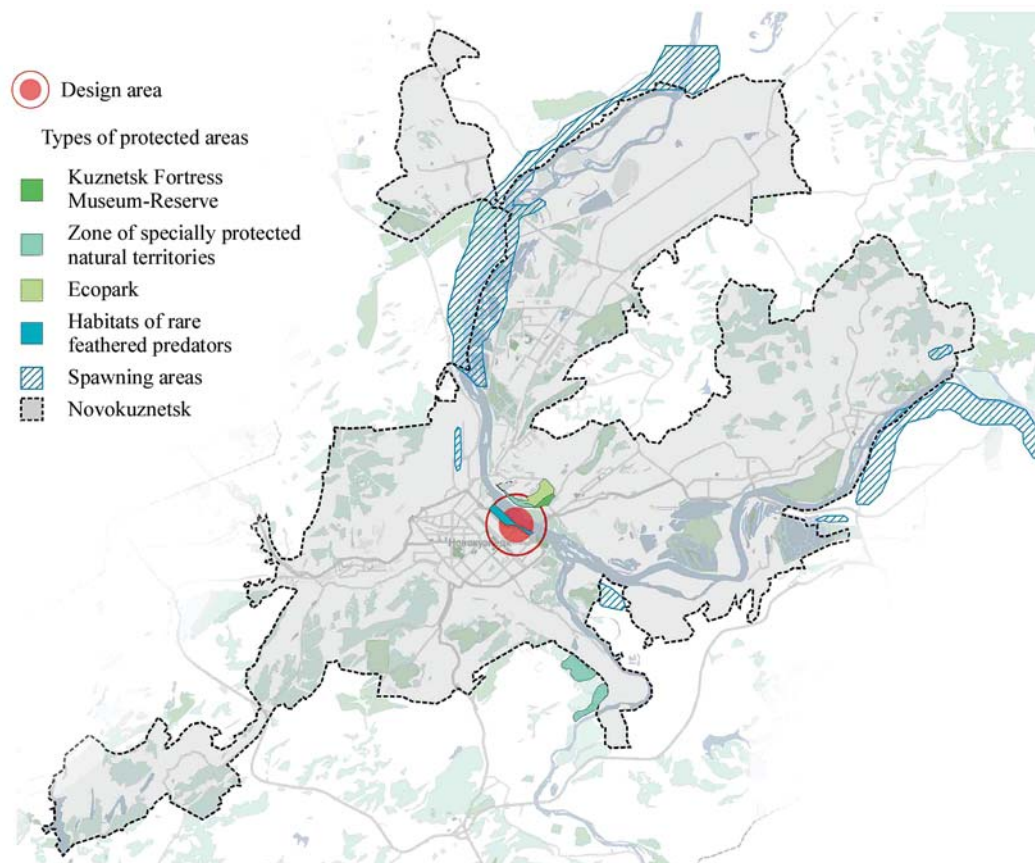


Fig. 5. Zones of specially protected natural territories and objects of Novokuznetsk (by D.D. Andropova)

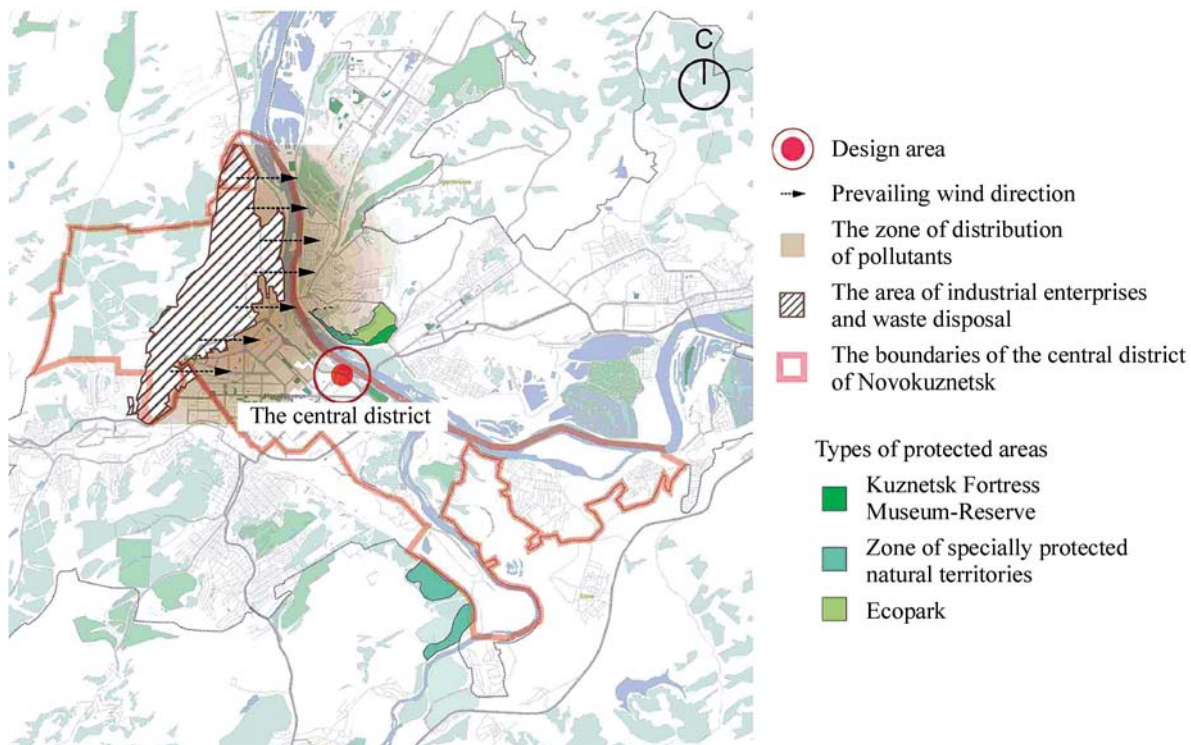


Fig. 6. Scheme of anthropogenic impact propagation (by D.D. Andropova)

of extensive coastal territories, special attention should be paid to the unification of natural units into a single WGUF.

As part of the formation of the Novokuznetsk WGUF, the study proposes the authors' design solution for the creation of a large ecological and cultural centre on the bank of the Tom River. The design site was selected due to the authors' study and assessment of the connectivity of the city's green framework. The project area is located in the centre of the city on the left bank of the main waterway in the habitat of rare raptors. The location of the site under consideration in the city framework is unique — it is the nucleus uniting the new and old city centres (Fig. 7).

On the right bank there is a large forest area, where large ecological and historical-cultural monuments are concentrated: Kuznetsk fortress, ecological trail, eco-park and nature monument park "Topolniki" (Fig. 8).

On the left bank is the modern city centre — a place of concentration of commercial, cultural and entertainment activities. This position in the city structure suggests that the site has a huge social, cultural and environmental potential and will become an important centre of attraction for the population (Fig. 9). The Kuznetsk Ecological Trail is a unique route in Kuznetsk, located in the centre of the industrial city, which plays an important role in creating a favourable ecological environment. Here one can find amazing natural and cultural attractions, as well as spend time with benefit, combining education and recreation. The eco-trail runs along the right bank of the Tom River

in the area of the Kuznetsk fortress and has the form of a circular route.

Analyzing the existing system of eco-parks and public green areas in the river water area of the Tom River, we can say that the site under consideration serves as a continuation of the city embankment and together with the largest in the city ecological forest on the territory of the Kuznetsky Fortress forms a green corridor along the river, thereby reducing the anthropogenic impact of pollution on the inhabitants of natural landscapes (Fig. 10).

During the study, based on the environmental indicators, identified features and problems of the area, a SWOT analysis is made, which shows the importance of developing the WGUF of the city (Table 1).

The analysis identified that the area has potential for development, but there are a number of constraints that can be addressed through certain approaches, namely:

1. Polyfunctionality — the creation of spaces with different functional content that can be transformed according to the actual demand of the society.
2. Steps — divide different functional zones on several levels, taking into account the seasonality of events, ease of communication between the main nodes of public space and ensuring the safety of transport manipulations.
3. Adaptability — creating multifunctional zones capable of changing, taking into account the context of events, their seasonality, economic, natural, social changes in society.

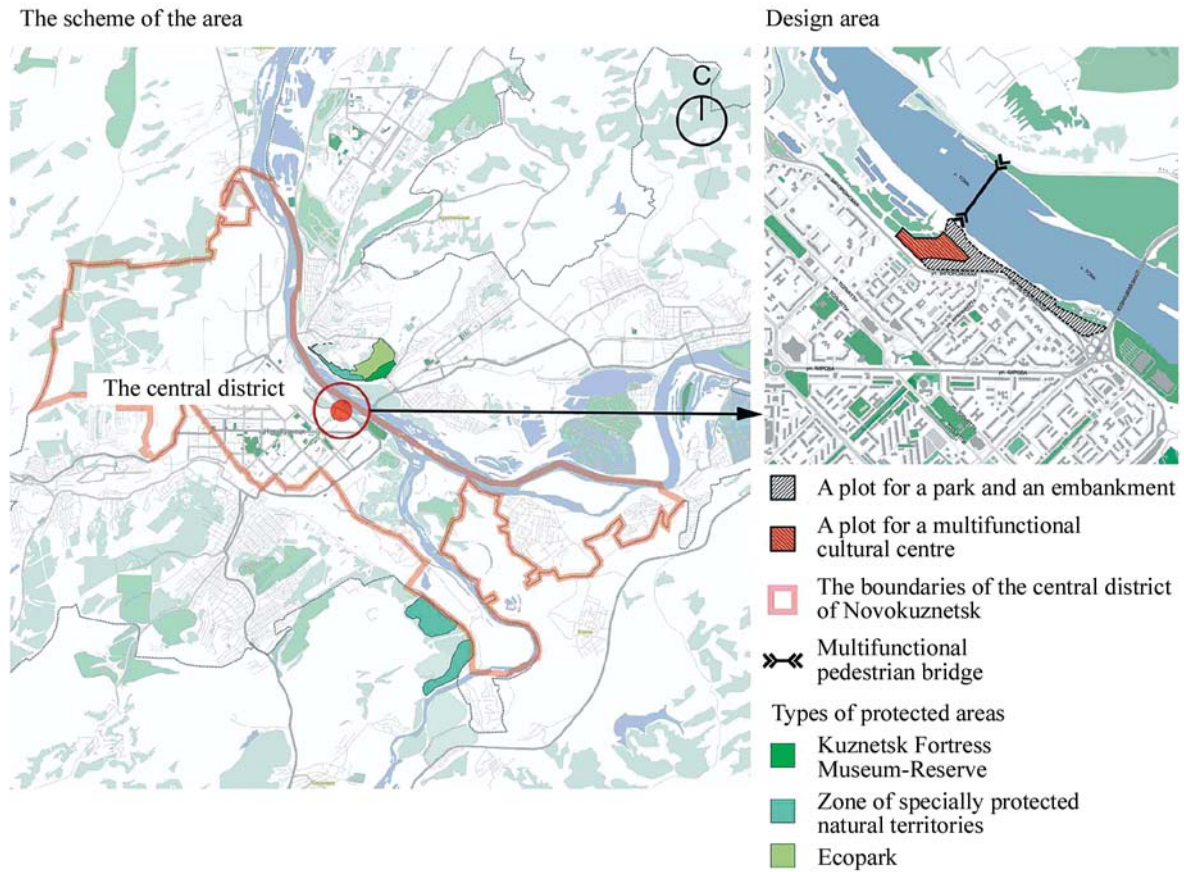


Fig. 7. Scheme of the area and design site (by D.D. Andropova)

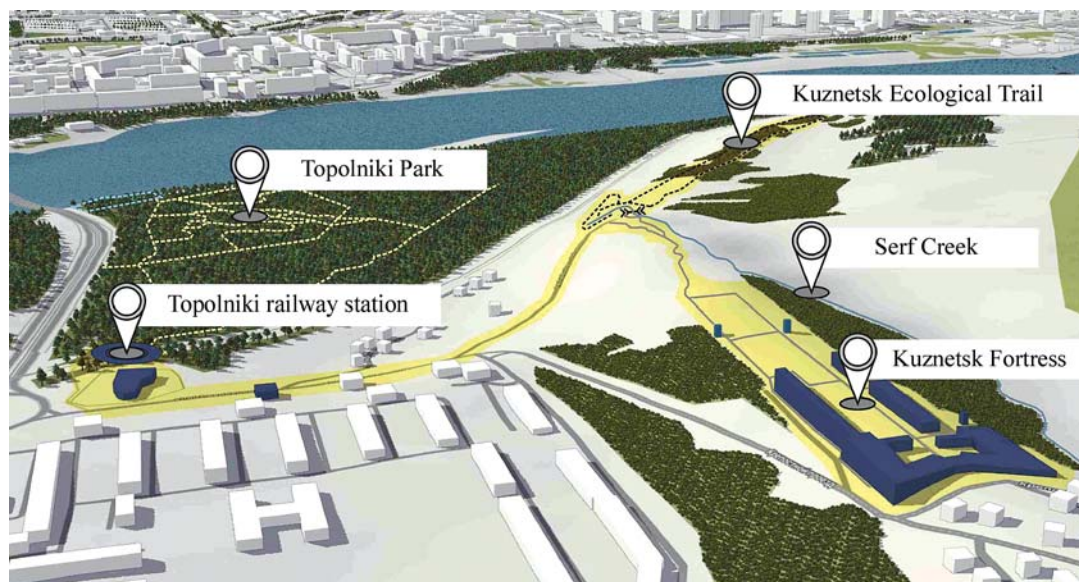


Fig. 8. Right-bank historical and natural cluster (by D.D. Andropova)

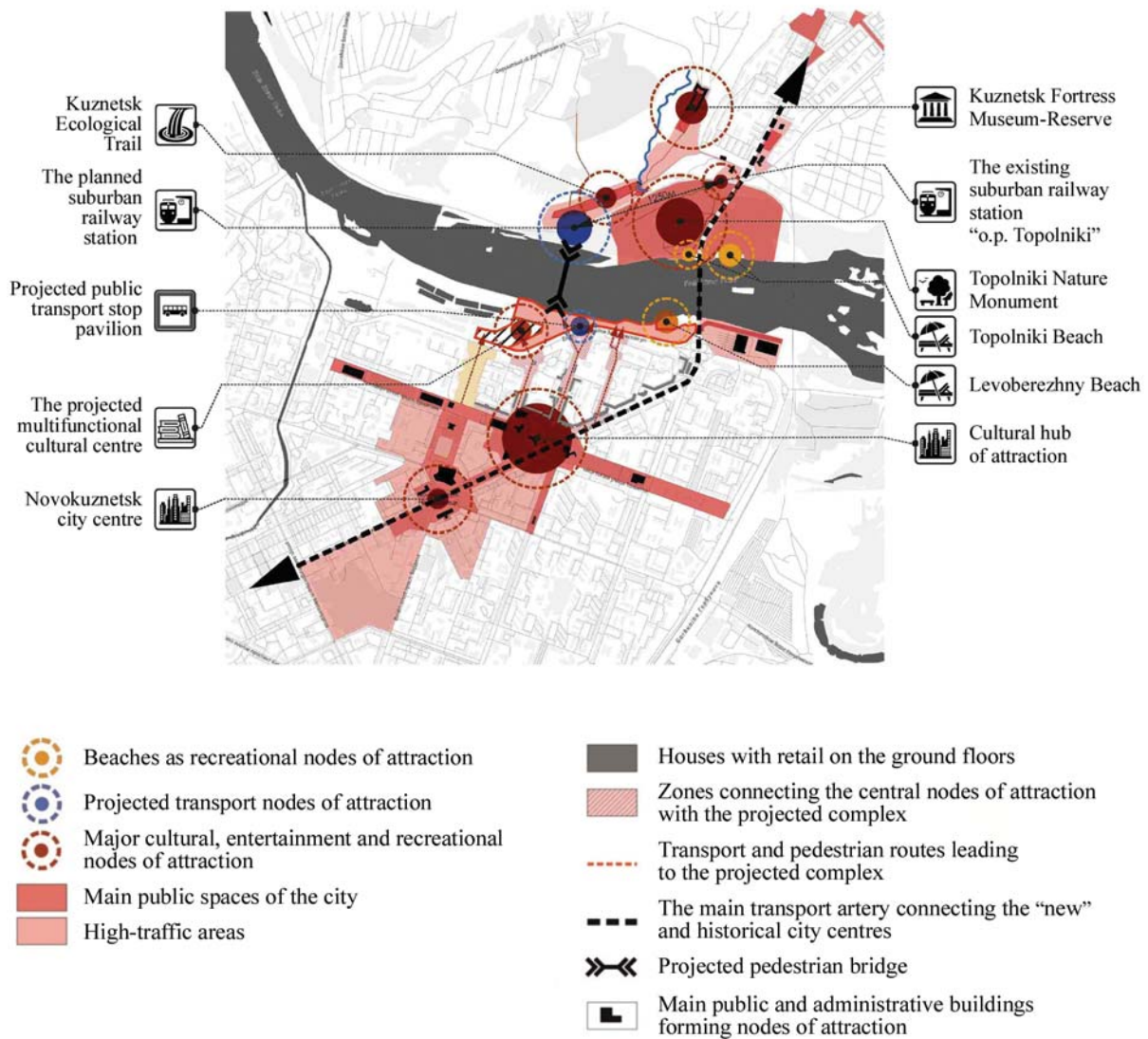


Fig. 9. Scheme of the main nodes of attraction (by D.D. Andropova)

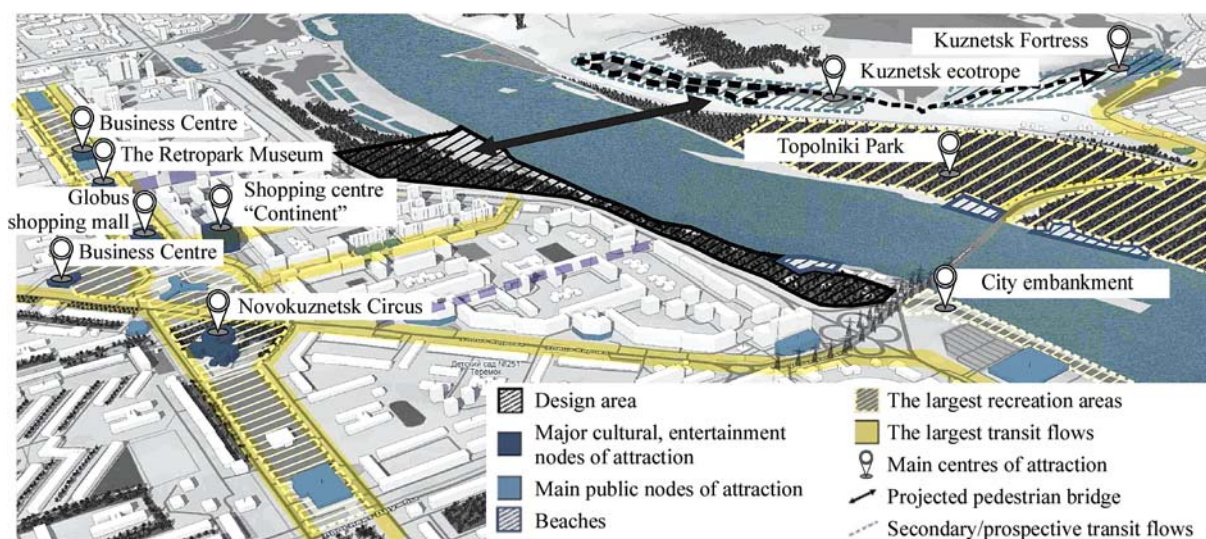


Fig. 10. Scheme of the centres of attraction (by D.D. Andropova)

Table. 1. SWOT analysis of the projected area

SWOT analysis			
Weaknesses	Strengths	Threats	Opportunities
Flooded area	Location in the city centre	Long payback period	This site could become the nucleus that unites the new and old city centre, forming a system of complementary nodes of attraction
Close proximity of power lines to the project site	Proximity to the economic and cultural centre of the city	Risk of disturbance of the existing ecosystem of riverside areas under inappropriate construction conditions	The site has great social, cultural and environmental potential and has the potential to become an important centre of attraction for the community
Expensive to realize	Adjacent to the main water artery of the city	Risk of bankruptcy of sponsors due to the long construction period in an unstable economy	The site serves as a continuation of the city embankment and together with the city's largest forest area on the territory of the Kuznetsk fortress forms an ecological corridor along the river, thereby reducing the anthropogenic impact of pollution on humans and the main urban water artery of the Tom River
Lack of public transport along the site	The project site is located in a dense forest area of great natural value	Decrease in fauna comfort due to increased visitation to ecoparks	The formation of an eco-cluster in the city centre will be able to increase the interest of citizens in environmental issues and the history of their city
Highly gassy design area	Location close to the city seafront	Rapid decline in interest in the complex if proper operating conditions are not met	—
Severe technogenic situation in the city	Proximity to nature monuments "Topolniki" and "Kuznetskaya eco-tropa"	—	—
Difficult construction conditions due to the high natural potential of the site	Good transport accessibility	—	—
Expensive site conditions	Proximity to major centres of population attraction	—	—
—	Gentle relief on the site	—	—

4. Coordination — ensuring harmonious introduction of natural units into the urban environment and urbanization objects into the natural environment.

5. Accessibility — providing safe, quick and convenient access for all groups of visitors.

6. Environmental friendliness — preservation of natural potential of water and forest resources, minimization of anthropogenic impact within the framework of sustainable development of the territory.

7. Uniqueness — creating your own design code of the space, memorable objects that will become the business card of the place.

8. Embeddedness/integrity — consideration of the surrounding development and cultural code when incorporating the site into the existing environment, careful preservation of the city's historic heritage.

9. Democracy — organizing a space that takes into account the interests and opportunities of all segments of society.

10. Sustainability — the ability to maintain economic and environmental stability to keep the local ecosystem and society functioning comfortably.

11. Security — ensuring comfortable and protected stay of visitors in the territory of public space.

12. Education — broadcasting of environmental messages, transfer of knowledge about the importance of environmental conservation, raising the level of environmental awareness of the population.

The authors suggest the following methods for the development of riverside spaces:

1. Minimization of anthropogenic impact on the existing ecosystem. Regulation of human flows on the territory to create comfortable living conditions for flora and fauna. Organization of buffer zones protecting the riverside area from traffic noise and dust.

2. Renovation of the main nodes of attraction: restoration and development of the main sought-after visitor concentration points.

3. Infrastructural multifunctionality. The introduction of secondary functions into mono-functional areas that will help to diversify leisure activities and attract more potential visitors.

4. Integration of media spaces. Application of new technologies and artificial intelligence, presence of human interaction with the virtual world.

5. Combining the functions of cultural and environmental education.

6. Creation of a unified system of water-green cores uniting into a single WGUF.

In the formation of the city GI, providing ecosystem services and improving the quality of life of residents, it is necessary to take into account not only the creation of a comfortable urban environment, but also other indicators. The proposed methods of riverside space development include the stages of WGUF formation:

1. Creation of an up-to-date vegetation register: analysis of the entire flora on the site, formation of electronic passports of each natural unit.

2. Census of all fauna: analyses of resident fish, birds and animals, their migrations and habitats.

3. Thorough study and assessment of the condition of shorelines, proposals for their strengthening.

4. Assessing the impact of flora on the air environment, compiling an inventory of needed new plantings according to their ecosystem functions.

5. Assessing the influence of flora on water processes, water treatment, and drainage distribution.

6. Analyzing the status of water resources, their richness and animal habitat. Creation of a register of seasonal floods by their frequency, scale and dependence on natural phenomena.

7. Evaluation of soil quality, suggestions to improve its fertility.

8. Determination of the territory susceptibility to unfavourable anthropogenic impacts.

9. Assessment of the scope of works to maintain vegetation in favourable conditions during the operational period of the facility.

10. Creation of an event-based programme of facility operation depending on the time of day and season.

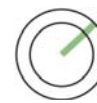
11. Analyze potential visitors by age, interests and mobility groups.

Based on the results of the analysis of water-green framework formation and organization of public riverside spaces, the main structural elements of the natural-ecological framework, approaches to its formation at different stages of design, and factors of impact on the framework are revealed. The scheme of concept development, types of ecotourism objects and ecological park design principles are also proposed (Table. 2).

Table 2. Natural-ecological framework. All aspects (by D.D. Andropova)

NATURAL AND ECOLOGICAL FRAMEWORK					
PRINCIPLES FORMATIONS	THE MAIN STRUCTURAL FRAME ELEMENTS				• ideology and methodology of creating recreational areas; • functional and technological limitations; • capacity, density of development of the territory (embedded in the concept of the complex); • social features; • cultural features; • regional features; • national characteristics and attitudes that influence life processes
TERRITORIAL PLANNING	Types of basic blocks of the ecological framework				
	Large-scale basic reserves	Linear blocks — ecological corridors	Point (local) elements	Buffer zones	
Types of basic blocks of the ecological framework: • large-scale basic reserves; • linear blocks – ecological corridors; • point (local) elements; • buffer zones	Types of objects of the ecological framework				
	National and natural parks, nature reserves, protected tracts, sanctuaries (permanent, temporary seasonal), forests of groups 1 and 2 (now reserve and protective forests)	Riverbeds and floodplains of large rivers, valleys of small rivers and watercourses, watersheds (and especially watershed forests), landscaped corridors of transport and engineering infrastructure, protective forest plantations	Natural monuments of various profiles, green areas of small settlements, waterfalls, keys, protected objects of inanimate nature, historical	Water protection zones, protected areas of protected areas, resort areas and protection zones of balneological facilities, etc., sanitary protection zones, noise and other discomfort zones, protected areas of water intakes	

End of the Table 2

URBAN PLANNING DESIGNING	The structure of the urban-ecological framework				EXTERNAL
	Meso-level elements		Macro-level elements		
- gardens, parks, forest parks; - squares, boulevards and green spaces of streets, embankments and squares; - plantings located inside residential, public, industrial buildings; - plantings for sanitary protection and public purposes (windproof strips and boulevards, noise and gas protection strips, plantings located on the territory of sanitary protection zones of industrial enterprises, hospital complexes)	The green ring		Green radius		↑ FACTORS ↓
	The water-green arc		Green Kernels		
	Water-green diameter		Water-green corridors and green connections		INTERNAL - natural and climatic features of the design, construction and operation environment; - landscape and spatial factors of the location area; - specific factors of the urbanized environment, social environment and urban context; - planning-compositional and technical-constructive invariants; - environmental and sanitary-technological requirements; - legal requirements, financial constraints and resources; - the general socio-cultural context and global/local trends affecting recreational activities
	Green wedges		Elements of the local (micro) level		
OBJECT-BASED MODELING	Formats of the frame elements				
	Community open spaces	Ecological landscapes	Blue + Green infrastructure	Working + productive landscapes	Transitional landscapes
Analysis of specific objects of the territory according to criteria: - location; - natural conditions; - zoning; - functional content; - the ratio of functions; - the ratio of materials and components; - of the medium; - ecological approach; - route analysis; - design code of the place	Landscapes for recreation, social life and small-scale food cultivation	Meadows and forests that provide habitat and other environmental benefits	Landscapes that capture stormwater and clean air	Landscapes that generate new knowledge, grow energy and food, and create new urban experiences	Temporary landscapes that clean soil and enable new forms of social life and creative displays
	- playgrounds; - neighborhood parks; - sports fields; - regional parks; - plazas; - recreation centers; - trails/greenways; - urban gardens; - farmers markets	- nature parks; - industrial nature parks; - rapid reforestation; - successional road; - roads to rivers	- large lakes; - smaller retention ponds; - infiltration park; - swales and infiltration medians; - roadside ponds (along wide roads); - green industry buffer; - parks with a carbon footprint minimization system	- research landscape; - urban farm; - aquaculture and hydroponics; - algae-culture; - energy fields or forests; - homesteads; - campgrounds	- event landscapes; - remediation fields or forests; - art-scapes; - urban meadows

CONCLUSION AND DISCUSSION

Within the framework of the work done, based on the highlighted environmental approaches and methods of designing public riverside spaces, a concept of public space development with the improvement of an eco-park on the riverside territory of the Tom River and a pedestrian “inhabited” bridge over the Tom River in Novokuznetsk was developed. In the perspective of riverside territories development, the area under consideration has great potential for creation of a single

WGUF. The proposed concept unites large forest areas of the riverside territory of the main water artery of Novokuznetsk into a single system of eco-corridors, creating in the heart of the industrial city a cultural, economic, ecological and entertainment cluster, which can become the main centre of attraction in the region and provide coordination through the harmonious introduction of natural landscapes into the urban environment. The project envisages a common design code for the entire territory, which can be traced in the colour scheme, small architectural forms of the same style, and

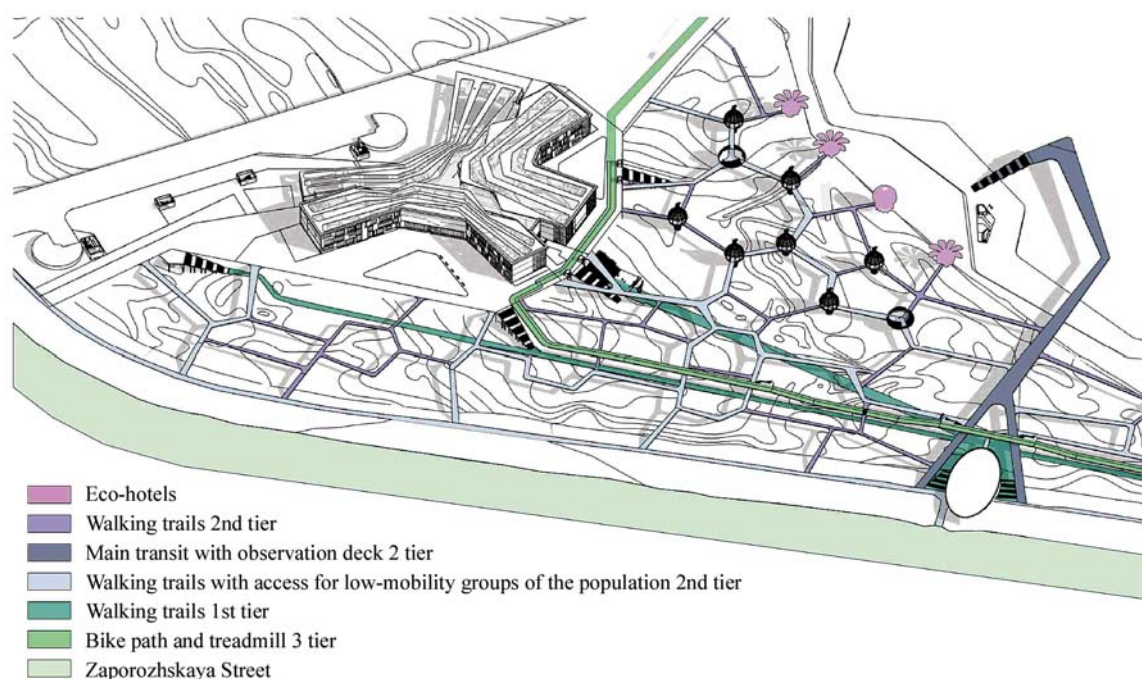


Fig. 11. Schematic diagram of a fragment of the ecopark and cultural centre (by D.D. Andropova)

the use of uniform finishing eco-materials. In the long term, the developed cluster will have a favourable impact on the environmental situation in the city, increase the level of public interest in the preservation of natural landscapes and increase the level of economic attractiveness. The concept is developed within the framework of sustainable development, which will ensure economic and environmental stability.

In the area under consideration, adhering to the approach of multifunctionality, it is proposed to locate a large cultural and educational centre, an eco-park and a multifunctional pedestrian bridge to the right bank of the Tom River. The concept provides for the preservation of a rare invasive species of vegetation — black poplars. “Verticality” of the solution through the formation of the ecopark in two levels. The lower terrace is solved in the form of walking paths in natural wood materials with the placement of ecological stations and sites with eco-benches and children’s equipment on open glades, where interaction with water is introduced. The presence of such sites will increase the interest of citizens in environmental problems and preservation of natural corners of the city, as well as instil in children an interest in nature. The soil is planted with a variety of cereal crops, which together with poplars filter water in the river during seasonal floods.

The upper terrace, due to severe flooding, consists of paths raised 7 metres above the ground between trees. On them are designed viewing and children’s playgrounds, recreation areas and energy-efficient eco-hotels overlooking the Tom River (Fig. 11). All elements of the concept are designed within the framework of adaptability: each element is able to change, taking

into account the context of activities, their seasonality, economic, natural and social changes in society.

Safe, quick and convenient access for all groups of visitors is ensured by designing a barrier-free environment. Accessibility and safety are shaped by public transport stops in close proximity to the cultural centre and the presence of elevated passages equipped with lifts for low mobility groups (LMG), which are located above the busy motorway along the entire design area. The entire park is also equipped with waterproof lifts for comfortable movement between the different levels of the park.

The concept envisages an energy efficiency class A+ for all structures, which will increase the Environmental Performance Index (EPI)⁸.

The pedestrian bridge is designed as a large pedestrian transit with the location of a cultural and exhibition centre and a garden with a tulip farm (Fig. 12).

It provides a link between the park and the main points of attraction on the opposite bank: the Kuznetsk Ecological Trail, the Topolniki Nature Monument and the proposed railway station, thanks to which there is an additional attraction of potential visitors, which supports the economic stability of the cultural cluster. This solution ensures a continuous pedestrian flow between the main city nodes and connects large forest areas into a single network of Novokuznetsk’s water and green framework. On the bridge it is proposed to place point landscaping in the form of a botanical garden with tropical plants, which also contributes to the creation of eco-corridors to reduce the anthropogenic load on the main water artery of the city, the Tom River. Small

⁸ Environmental Performance Index. URL: <https://epi.yale.edu/>

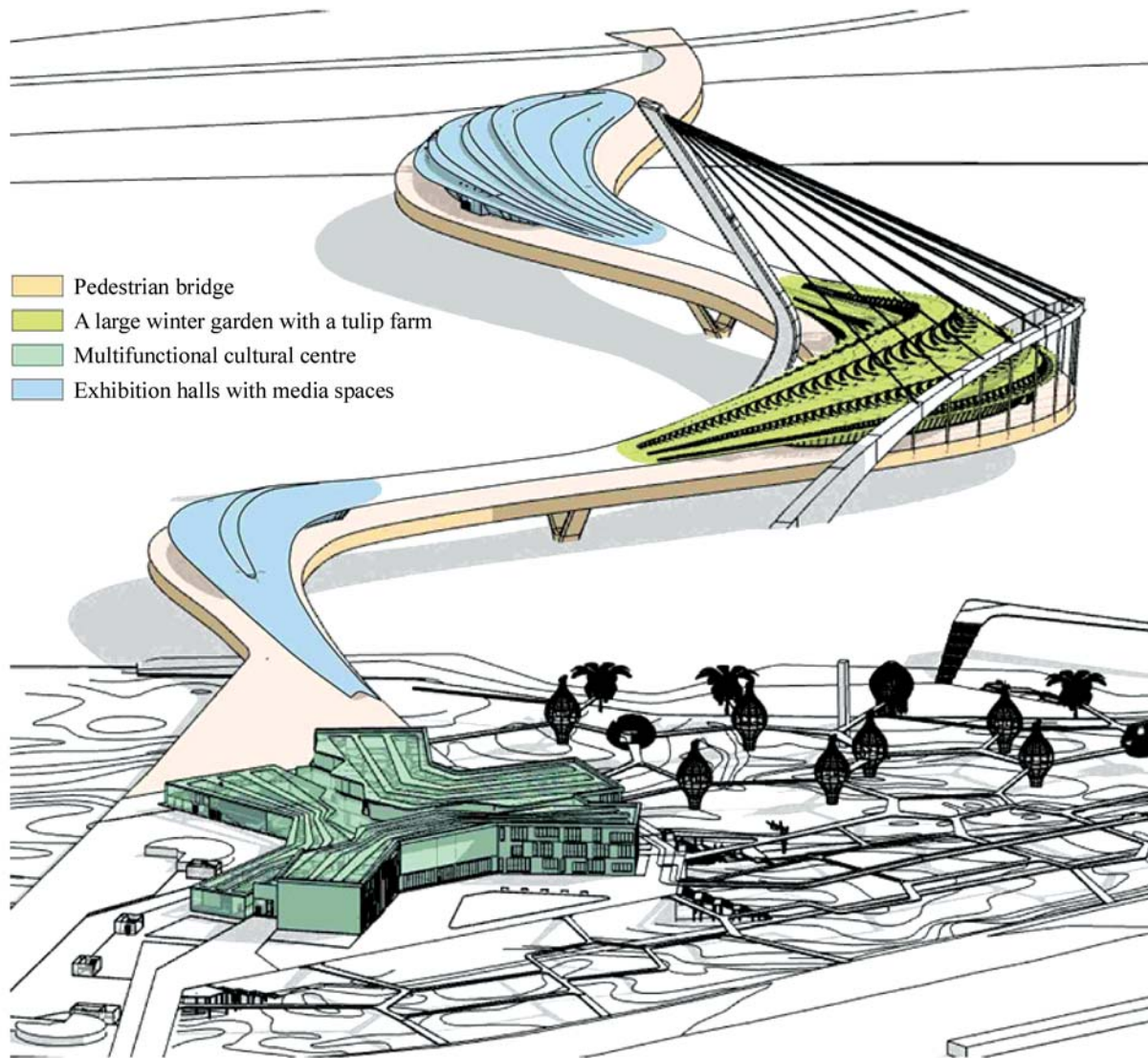


Fig. 12. Scheme of a multifunctional pedestrian bridge over the Tom River (by D.D. Andropova)

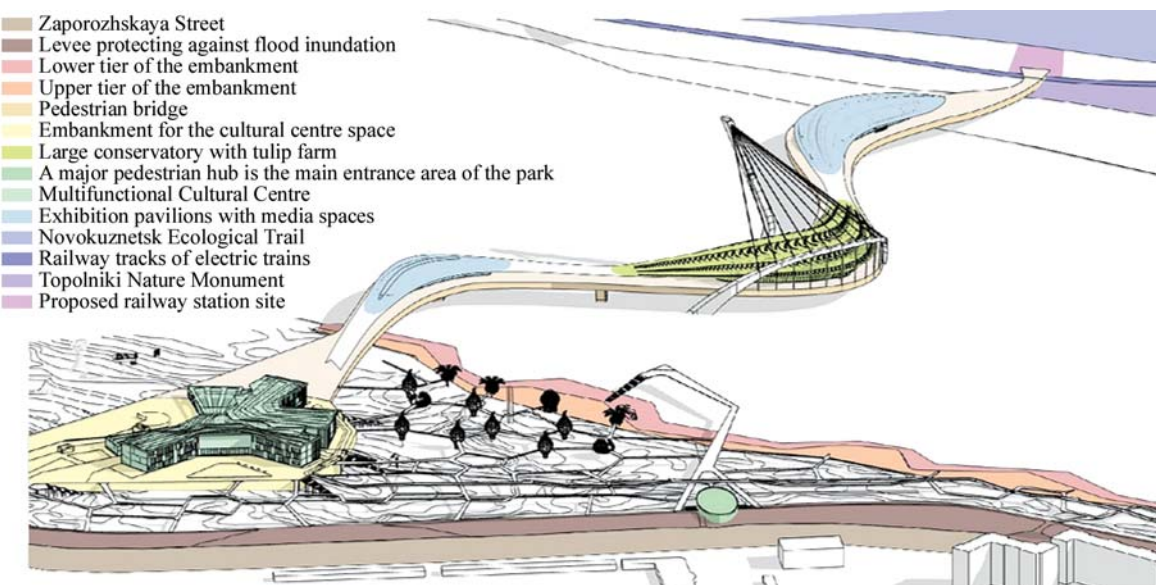


Fig. 13. General scheme of the proposed concept (by D.D. Andropova)

clusters of fruit and berry plants are provided throughout the bridge's pavement area to allow insect pollinators to move across the river, which helps to maintain the diversity of the biocenosis. The curved configuration of the bridge creates different wind regimes on its sections, thus reducing the overall wind load on the bridge pavement. This solution makes it possible to keep the floral dispersion of volatile organic compounds relatively constant to create a comfortable microclimate for flower pollinators and thus form an eco-

logical corridor [29]. Such a bridge in the future can become a unique object of architecture in the field of ecological and salutogenic design.

The general scheme of the proposed concept is shown in Fig. 13.

The central location of a large ecological complex in the city structure makes it possible to unite the historical and administrative nodes of attraction into a single system of cultural and recreational spaces in Novokuznetsk.

REFERENCES

1. Li Y.Y., Zhang Y.Z., Jiang Z.Y., Guo C.X., Zhao M.Y., Yang Z.G. et al. Integrating morphological spatial pattern analysis and the minimal cumulative resistance model to optimize urban ecological networks: a case study in Shenzhen City, China. *Ecological Processes*. 2021; 10(63). DOI: 10.1186/s13717-021-00332-2
2. Gayen J., Datta D. Application of pressure–state–response approach for developing criteria and indicators of ecological health assessment of wetlands: a multi-temporal study in Ichhamati floodplains, India. *Ecological Processes*. 2023; 12(34). DOI: 10.1186/s13717-023-00447-8
3. Brettschneider D.J., Spring T., Blumer M., Welge L., Dombrowski A., Schulte-Oehlmann U. et al. Much effort, little success: causes for the low ecological efficacy of restoration measures in German surface waters. *Environmental Sciences Europe*. 2023; 35(31). DOI: 10.1186/s12302-023-00736-1
4. Danilina N.V., Majorzadehzahiri A. Analysis situation of urban green space framework in Tehran. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2021; 16(8):975–985. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.8.975-985 (rus.).
5. Beretić N., Đukanović Z., Campus G. Plural city: layered singularities and urban design: case of Belgrade City (RS). *City, Territory and Architecture*. 2022; 9(11). DOI: 10.1186/s40410-022-00154-5
6. Zhou Y., Chen G., Zhou W. Sustainable urban systems: from landscape to ecological processes. *Ecological Processes*. 2022; 11(26). DOI: 10.1186/s13717-022-00371-3
7. Tarek S., Ouf A.S.E.D. Biophilic smart cities: the role of nature and technology in enhancing urban resilience. *Journal of Engineering and Applied Science*. 2021; 68(40). DOI: 10.1186/s44147-021-00042-8
8. Song S., Wang S.H., Shi M.X., Hu S.S., Xu D.W. Multiple scenario simulation and optimization of an urban green infrastructure network based on complex network theory: a case study in Harbin City, China. *Ecological Processes*. 2022; 11(33). DOI: 10.1186/s13717-022-00372-2
9. Tiang D.C.F., Morris A., Bell M., Gibbins C.N., Azhar B., Lechner A.M. Ecological connectivity in fragmented agricultural landscapes and the importance of scattered trees and small patches. *Ecological Processes*. 2021; 10(20). DOI: 10.1186/s13717-021-00284-7
10. Yeang K., Dilani A. *Ecological and Salutogenic Design for a Sustainable Healthy Global Society*. Cambridge, Cambridge Scholars Publishing House, 2021; 280.
11. Kaisarova E.A. Features of the formation of an urban water-green system on the example of the city of Minsk. *Innovative technologies in construction and housing and communal services are the basis for the formation of the urban environment : collection of articles from a scientific and practical conference held as part of the student competition "Building a New City"*. 2020; 30–33. EDN LNGXJD. (rus.).
12. Bulatova E.K., Ulchitsky O.A., Salnikova M.Yu. "Green" architecture of city embankments: on the example of Yekaterinburg. *Urbanism*. 2021; 1:99–108. DOI: 10.7256/2310-8673.2021.1.32702 (rus.).
13. Arkadyeva V.V., Shkolnikova I.G. Features of the formation of an ecological park on the city island as the core of the water-green framework in the city of Astrakhan. *The Eurasian Scientific Journal*. 2022; 14(4):1. EDN MIHOMO. (rus.).
14. Iakovleva K.S., Bezrukova A. Trends of coastal and park space on the example of Kanonersky island. *Innovation and Investment*. 2022; 7:111–114. EDN MLNASQ. (rus.).
15. Klimov D.V., Smirnova S.Yu., Tkachenko L.Ya. The natural and ecological framework is the basis of sustainable urban development of the Moscow region. *Academia. Architecture and Construction*. 2023; 1:71–79. DOI: 10.22337/2077-9038-2023-1-71-79. EDN ORXLDH. (rus.).
16. Zolotareva E.V., Korenkova E.A. Analysis of the influence of types of spatial structures of public gardens of the Orel city on the architectural and ecological sustainability of urbanized landscapes. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2021; 16(12):1541–1548. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1541-1548. EDN BJSZLL. (rus.).
17. Efimova T.B. The system of green spaces as an ecological framework of Penza city. *Architecture*

and *Modern Information Technologies*. 2023; 3(64): 233-246. DOI: 10.24412/1998-4839-2023-3-233-246. EDN XPRUIC. (rus.).

18. Gribanova N.V., Schkolnikova I.G. Formation of the system of public river spaces as a tool of development of the water-green framework of the city of Perm. *Innovation and Investment*. 2022; 9:149-156. EDN ZVKLKY. (rus.).

19. Gomozyov V.I. Reconstruction of the “gray belt” of St. Petersburg: the problem of forming a green frame. *Innovation and Investment*. 2022; 7:115-118. EDN VSALRE. (rus.).

20. Ismagilova S.Kh., Sivtsev A.V., Zakirova Yu.A. Urban development of recreational and tourist centres in the Lena coastal area (Yakutia). *Journal of Construction and Architecture*. 2021; 23(5):23-36. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-23-36. (rus.).

21. Silin R.V., Korbut E.E. Functional zoning of park territories in large cities of Belarus: development of methods and quality assessment. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2023; 18(1):11-23. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.11-23. EDN QPDAKU. (rus.).

22. Ozhegova E.S., Chursina L.V. Modern concept of architectural scenography of urban and park spaces. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2024; 1(66):294-308. DOI: 10.24412/1998-4839-2024-1-294-308. EDN IGFPPRA. (rus.).

23. Zhiltsova O.K. Modern concept “urban natural framework”. Its development and comprehension.

Innovation and Investment. 2023; 2:150-154. EDN ZUHRY. (rus.).

24. Gorgorova Yu.V. Architectural activation of the cultural attractiveness of the urban environment. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2024; 1(66):224-233. DOI: 10.24412/1998-4839-2024-1-224-233. EDN CMIYMS. (rus.).

25. Ochirova D.D., Surovenkov A.V., Demin A.V. Analysis of the world experience of designing ecoparks, taking into account the natural, climate and cultural conditions. *Innovation and Investment*. 2020; 5:260-263. EDN UWTCEY. (rus.).

26. Yanitskii O.N. Eco-modernization of Russia: problems, concepts, solutions. *History and Modernity*. 2008; 2:95-116. EDN JTLSBV. (rus.).

27. Telichenko V.I., Benuzh A.A., Suhinina E.A. Interstate green standards of formation sustainable built environment vital activity. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2021; 16(4):438-462. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.4.438-462. EDN EXLUMH. (rus.).

28. Levakova I.V., Arustamov E.A. Some aspects of the environmental assessment of the Kemerovo region. *The Eurasian Scientific Journal*. 2019; 11(6):35. EDN UVSGWR. (rus.).

29. Wang Y., Jia S., Wang Z., Chen Y., Mo S., Sze N.N. Planning considerations of green corridors for the improvement of biodiversity resilience in suburban areas. *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*. 2021; 2(6). DOI: 10.1186/s43065-021-00023-4

Received May 8, 2024.

Adopted in revised form on May 8, 2024.

Approved for publication on May 11, 2024.

BIONOTES: Daria D. Andropova — student; Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin); 113 Leningradskaya st., Novosibirsk-8, 630008, Russian Federation; andropova@live.ru;

Juliya E. Nizhegorodtseva — Senior Lecturer, Deputy Head of the Department of Architecture and Urban Reconstruction; Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin); 113 Leningradskaya st., Novosibirsk-8, 630008, Russian Federation; yu.nizhegorodtseva@sibstrin.ru;

Alexey A. Gudkov — Candidate of Architecture, Professor of the Department of Architecture and Urban Reconstruction; Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin); 113 Leningradskaya st., Novosibirsk-8, 630008, Russian Federation; aa_gudkov@mail.ru.

Contribution of the authors:

Daria D. Andropova — collection and processing of the material, writing the text of the article, making a layout, creating diagrams and tables.

Juliya E. Nizhegorodtseva — the concept of research, material processing, text revision.

Alexey A. Gudkov — scientific supervisor, scientific text editing.

The authors declare that there is no conflict of interest.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ. ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ. НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 666.972.12(123)

DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.149-165

Исследование водопотребности доломитовых заполнителей для бетонов в условиях сухого жаркого климата

Светлана Васильевна Самченко, Оксана Александровна Ларсен,

Дия Абдулкадим Насер Альобаиди

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассмотрены основные свойства карбонатных заполнителей, которые имеют широкое применение при изготовлении бетонных смесей, работающих в условиях повышенных температур и пониженной относительной влажности. Бетоны с карбонатными заполнителями обладают повышенной водопотребностью, что связано с их высоким водопоглощением, пористой поверхностью и различной удельной поверхностью. Приведена методика определения водопотребности заполнителя ультразвуковым и ускоренным методом, который проводится на равноподвижных смесях. Полученные данные являются важными показателями и в дальнейшем будут учитываться при расчете состава бетона.

Материалы и методы. Применялся портландцемент ЦЕМ I 52,5Н «ХайдебергЦемент» в соответствии с ГОСТ 31108–2020; доломитовый щебень фракции 5–10 мм; стандартный монофракционный песок в соответствии с ГОСТ 6139–2020. Химический анализ портландцемента и доломитового заполнителя изучался на рентгеновском анализаторе Bruker S4 Pioneer и Bruker S8 Tiger. Минералогический состав портландцемента устанавливался на лазерном дифрактометре Bruker D2. Определение водопотребности крупного заполнителя из доломита проводилось ультразвуковым методом, разработанным в НИУ МГСУ. Также выявление водопотребности мелкого заполнителя производилось по ускоренной методике на равноподвижных смесях по диаметру расплыва цементного теста, равному 170 мм. Установление средней плотности в куске в цементном тесте карбонатного щебня фракции 5–10 мм проводилось в соответствии с ГОСТ 9758–2012.

Результаты. Карбонатные заполнители отличаются повышенной водопотребностью по сравнению с другими заполнителями. Водопотребность доломитового заполнителя составляет 5,4 %, а водопоглощение и содержание пылевидных и глинистых частиц находится в пределах 2,6 и 2,95 % соответственно. Средняя плотность зерен доломитового щебня в куске, определяемая в цементном тесте, составила 2,5 г/см³.

Выводы. В условиях повышенных температур и пониженной относительной влажности применение доломитовых заполнителей является особенно актуальным. Однако бетонные смеси с карбонатными заполнителями обладают повышенной водопотребностью, что связано с высоким водопоглощением, пористой поверхностью и различной удельной поверхностью заполнителей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: доломитовый заполнитель, водопотребность, бетон, портландцемент, отсев дробления доломита, ультразвук, цементное тесто, период формирования структуры

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Самченко С.В., Ларсен О.А., Альобаиди Д.А.Н. Исследование водопотребности доломитовых заполнителей для бетонов в условиях сухого жаркого климата // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. Вып. 2. С. 149–165. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.149-165

Автор, ответственный за переписку: Оксана Александровна Ларсен, larsen.oksana@mail.ru.

Study of water consumption of dolomite aggregates for concrete under conditions of dry hot climate

Svetlana V. Samchenko, Oksana A. Larsen, Dheyaa Abdulkadim Naser Alobaidi

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

ABSTRACT

Introduction. The basic properties of carbonate aggregates, which are widely used in the manufacture of concrete mixtures working in conditions of elevated temperatures and reduced relative humidity, are considered. Concretes with carbonate

aggregates have increased water demand, which is associated with their high water absorption, porous surface and different specific surface area. The methodology for determining the water demand of aggregate by ultrasonic and accelerated methods, which are performed on the same workability mixtures, is given. The obtained results are important indicators and in the future will be taken into account in the calculation of concrete mixture.

Materials and methods. Portland cement CEM I 52.5H "HeidelbergCement" in accordance with GOST 31108–2020; dolomite crushed gravel (5–10 mm); and standard monofractional sand in accordance with GOST 6139–2020 were used in the study. The chemical analysis of Portland cement and dolomite aggregate was investigated on the Bruker S4 Pioneer and Bruker S8 Tiger X-ray analyzers. The mineralogical composition of Portland cement was determined on a Bruker D2 laser diffractometer. The water demand of dolomite coarse aggregate was determined by an ultrasonic method developed at the National Research University of Moscow State University of Civil Engineering. Also, the determination of water demand of fine aggregate was carried out by the accelerated method on the same workability mixtures with a diameter of cement paste mixing equal to 170 mm. Determining the average density in a lump in the cement paste of carbonate crushed stone (5–10 mm) was determined in accordance with GOST 9758–2012.

Results. Carbonate aggregates are characterized by increased water absorption compared to other aggregates. It was found that the water demand of dolomite aggregate is 5.4 %, and the water absorption and content of dust and clay particles are within 2.6 and 2.95 %, respectively. It was found that the average density of dolomite crushed gravel grains determined in the cement paste was 2.5 g/cm³.

Conclusions. In conditions of high temperatures and low relative humidity, the use of dolomite aggregates is especially relevant. However, concrete mixtures with carbonate aggregates have increased water demand due to high water absorption, porous surfaces, and different specific surface areas of the aggregates.

KEYWORDS: dolomite aggregate, water demand, concrete, Portland cement, dolomite crushing screenings, ultrasonic, cement paste, the period of structure formation

FOR CITATION: Samchenko S.V., Larsen O.A., Alobaidi D.A.N. Study of water consumption of dolomite aggregates for concrete under conditions of dry hot climate. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2024; 14(2):149-165. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.149-165

Corresponding author: Oksana A. Larsen, larsen.oksana@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Уровень использования карбонатных сырьевых материалов и их отходов в виде отсевов, пыли аспирационных систем и так далее является важнейшим фактором, обеспечивающим снижение энергетических затрат и возможность выпуска новой качественной продукции.

Традиционно карбонатные материалы нашли применение в промышленности сборного железобетона, в дорожном строительстве, при производстве цемента и извести. Также карбонатные материалы используются в металлургическом производстве, сельском хозяйстве и других областях.

Карбонатные заполнители широко применяются при проектировании составов бетонов, работающих в условиях повышенных температур и пониженной относительной влажности [1]. Карбонатный щебень получают путем дробления на карьерах нерудных ископаемых, при этом образуется значительное количество фракции крупностью до 5 мм, содержащей от 12 до 40 % зерен размером менее 0,16 мм [2]. Отходы производства карбонатных заполнителей могут путем дополнительных операций измельчения использоваться для производства дробленого песка и наполнителя для бетонов.

Анализ литературных данных показал, что бетонные смеси на карбонатных заполнителях обладают повышенной водопотребностью [3]. Это можно объяснить, в первую очередь, пористой структурой карбонатной породы. Отмечается, что бетонные смеси на карбонатном песке имеют хорошую водо-

удерживающую способность, при этом отсутствуют расслоение смеси и водоотделение¹.

Заполнитель влияет на структуру цементного камня, свойства бетонной смеси и бетона. В зависимости от его содержания и удельной поверхности уменьшается подвижность бетонной смеси и сокращаются сроки схватывания. Это объясняется тем, что заполнитель отвлекает часть воды затворения, поэтому свойства бетонной смеси определяются несколько меньшим водоцементным отношением по сравнению с водоцементным отношением затворения [4]. Введение дополнительного количества воды для достижения одинаковых свойств характеризует водопотребность заполнителя [5, 6]. Прочность заполнителя, определяющая прочность бетона, характеризуется не только видом горной породы, из которой он получен, но и крупностью зерен. Чем меньше зерна, тем меньше они содержат дефектов и прочность их выше [7, 8].

Доломит получил широкое применение в строительной индустрии и дорожном строительстве. Имеет место применение доломита для производства асфальтобетонной смеси для дорожного покрытия [9].

Крупный заполнитель из доломита может использоваться для производства бетона [6, 10–12].

На основе отсевов дробления получен песчаный кирпич с заменой мелкого заполнителя доломитовым в количестве 25, 50, 75 и 100 % от массы заполнителя [13]. Песок из отсева дробления доломита применялся для получения автоклавного газо-

¹ Руководство по производству бетонных работ в условиях сухого жаркого климата. М. : Стройиздат, 1977. 81 с.

бетона, имеющего повышенные эксплуатационные показатели [14].

Было установлено, что подвижность бетона снижается при введении отсева дробления при частичной замене вяжущего материала как наполнителя². Введение заполнителя из отсева дробления доломита в количестве от 10 до 100 % снижает подвижность бетона [15].

Наблюдается влияние мелкого заполнителя из доломита на подвижность бетона. При введении в состав бетона песка из доломита в количестве от 25 до 100 % подвижность бетонной смеси контрольного состава снизилась со 105 до 70 мм [16].

Отмечается влияние заполнителей на прочностные свойства бетонов, эксплуатируемых в условиях повышенных температур и низкой относительной влажности. При введении в состав бетона мелкого карбонатного заполнителя, несмотря на его большую водопотребность по сравнению с кварцевым песком, обеспечивается большая прочность бетонам. Повышенная прочность связана с большей водопотребностью и повышенным водопоглощением, снижением фактического водоцементного отношения при твердении и возвратом ранее поглощенной воды цементному камню, что повышает степень гидратации цемента.

Оказывается положительное влияние заполнителей из отсева дробления на деформативные свойства самоуплотняющихся бетонов³. Деформации усадки при высыхании составов, содержащих мелкий заполнитель из доломита в количестве от 7 до 28 %, были меньше, по сравнению с контрольными составами. Оптимальное содержание мелкого заполнителя из доломита — 7–14 % от массы всех заполнителей самоуплотняющейся бетонной смеси, что препятствует расслоению смеси, повышению подвижности и улучшению механических свойств бетона. Однако дальнейшее увеличение содержания в составе бетона способствовало увеличению усадочных деформаций.

Водопотребность гранитного щебня по массе фракции 5–20 мм составляет 3,25–3,4 %, гравия речного с предельной крупностью щебня 5–20 мм — 2,6–2,98 %, щебня известнякового — 5,15–5,5 %, песка кварцевого строительного — 7,1–8 %, песка речного — 7,15–8,1 %, керамзита фракции 0,14–20 мм — 20–24,5 %, керамзитового песка — 23,8–26,2 % [17].

Доломит получил широкое применение в строительной индустрии и дорожном строительстве, крупные и мелкие заполнители из доломита — при

производстве карбонатных бетонов для дорожного строительства, что связано с их высокой активной структурообразующей ролью [6]. Это влияние проявляется в упрочнении контактной зоны между цементным камнем и карбонатным заполнителем, которое происходит за счет высокого адгезионного сцепления между ними вследствие высокой пористости заполнителя и физико-химической активности известняков и доломитов.

Растворы на доломитовом и известняковом заполнителях сохраняют свою прочность при высоких температурах до 700 °С по сравнению с обычным гранитным [18].

Крупный заполнитель на основе доломита применяется для производства бетона с повышенной проницаемостью для покрытий дорог [10], а также для производства асфальтобетонных смесей [9]. Использование доломита имеет место при производстве стеновых камней в качестве замены кварцевого песка при его введении в количестве 0, 25, 50, 75 и 100 % от массы мелкого заполнителя [19], а также при производстве автоклавного газобетона, который показал высокие эксплуатационные показатели по сравнению с обычным автоклавным газобетоном [14].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что определение таких показателей, как водопотребность, водопоглощение заполнителя на основе доломита является необходимым и важным в связи с его особенной структурой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данном исследовании применялись следующие материалы:

- портландцемент ЦЕМ I 52,5Н «Хайдельберг-Цемент Рус», в соответствии с ГОСТ 31108–2020, с удельной поверхностью 377,3 м²/кг, минералогическим и химическим составами, представленными в табл. 1, 2. Основные свойства портландцемента: сроки схватывания — начало и конец схватывания 195 и 235 мин соответственно, водопотребность — 30,2 %; прочность на сжатие в возрасте 2 и 28 сут — 29,9 и 62,6 МПа соответственно;

- доломитовый щебень фракции 5–10 с гранулометрическим составом, приведенным на рис. 1. Химический состав заполнителя представлен в табл. 3, фазовый состав — на рис. 2;

- стандартный монофракционный песок в соответствии с ГОСТ 6139–2020 «Песок для испытаний цемента. Технические условия».

Химический анализ портландцемента и доломитового заполнителя изучался на рентгеновском анализаторе Bruker S4 Pioneer и Bruker S8 Tiger. Минералогический состав портландцемента определялся на лазерном дифрактометре Bruker D2.

² Barbhuiya S. Effects of fly ash and dolomite powder on the properties of self-compacting concrete // Construction and Building Materials. 2011. No. 25 (8). Pp. 3301–3305.

³ Rudžionis Ž., Ivanauskas E., Senkus M. The Analysis of secondary raw materials usage in self-compacting concrete production. Mater. Sci. 11. 2005. Pp. 272–277.

Табл. 1. Минералогический состав портландцемента ЦЕМ I 52,5Н «ХайдельбергЦемент Рус»

Минералогический состав, %			
C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
64	14	7	11

Табл. 2. Химический состав портландцемента ЦЕМ I 52,5Н «ХайдельбергЦемент Рус»

Химический состав, %											
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	MnO	TiO_2	P_2O_5	п.п.п.
21,23	4,78	3,31	62,95	1,65	3,22	0,66	0,12	0,08	0,28	0,06	1,60

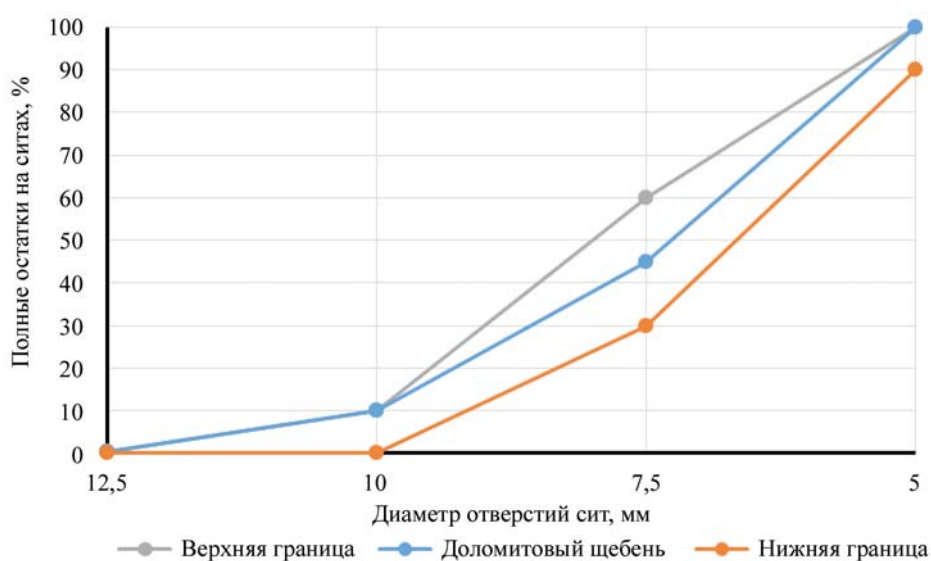


Рис. 1. Гранулометрический состав доломитового щебня фракции 5–10 мм

Табл. 3. Химический состав доломитового заполнителя

Химический состав, %											
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	MnO	TiO_2	P_2O_5	п.п.п.
2,12	0,69	0,32	35,56	17,38	0,15	0,19	0,08	0,01	0,03	0	45,16

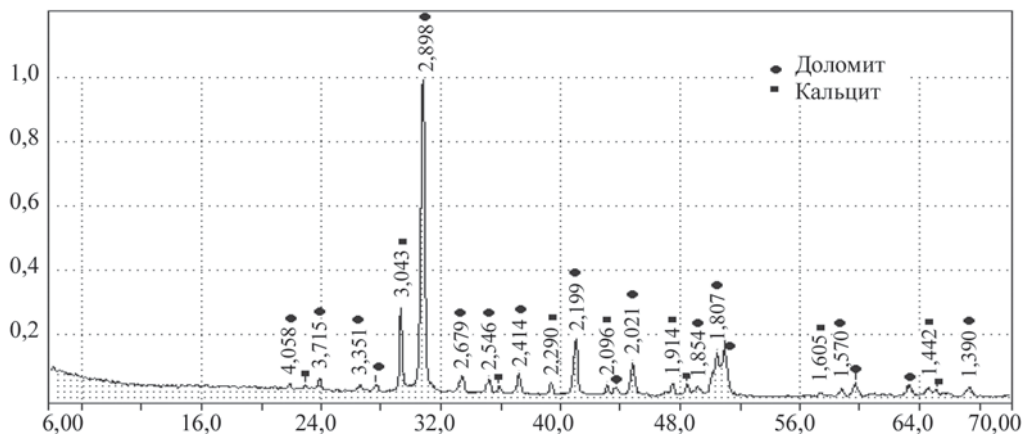


Рис. 2. Рентгенодифрактограмма отсева дробления доломита

Определение водопотребности крупного заполнителя из доломита производилось ультразвуковым методом [20].

Установление водопотребности мелкого заполнителя осуществлялось по ускоренной методике на равноподвижных смесях.

Средняя плотность в куске в цементном тесте карбонатного щебня фракции 5–10 мм выявлялась в соответствии с ГОСТ 9758–2012 «Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний». Была отобрана навеска карбонатного щебня фракции 5–10 мм объемом 3,5 л. Далее выполнялось перемешивание 1,7 кг цемента и 3,4 кг стандартного монофракционного песка в противне. В полученную смесь вводилось необходимое количество воды для достижения консистенции смеси с жесткостью 5–10 с (рис. 3), которая оценивалась на приборе Вебе. Полученная смесь выдерживалась в течение 15 мин, затем ею заполнялся сосуд емкостью 5 л, в котором смесь далее уплотняли на виброплощадке в течение 30–60 с и взвешивали.

Средняя плотность зерен доломитового щебня в куске составила 2,5 г/см³, определенная по ГОСТ 9758–2012 «Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний». Такие важные показатели заполнителя, как пустотность и пористость доломитового заполнителя устанавливались исходя из данных средней плотности в куске и насыпной плотности. Объем межзерновых пустот доломитового заполнителя составил 41,9 %, его рассчитывали в соответствии с методикой, представленной в ГОСТ 8735–88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний».

Водопотребность определялась по ускоренной методике, предложенной Ю.М. Баженовым, на равноподвижных смесях. Эта методика включает использование встряхивающего конуса Хагермана, при ней устанавливается диаметр расплыва цементного теста при (В/Ц)_ц, соответствующий его

нормальной густоте и равный 170 мм. Далее изготавливается раствор состава 1:2 и подбирается количество воды (В/Ц)_р, необходимое для получения диаметра расплыва 170 мм. Водопотребность укрупненного песка, состоящего из 50 % кварцевого песка и 50 % песка из отсева дробления доломитового щебня, составила 5,3 % и рассчитывалась по формуле:

$$K_{\text{ц}} = \frac{(В/Ц)_{\text{р}} - (В/Ц)_{\text{ц}}}{2} 100 \%. \quad (1)$$

Также определялось водопоглощение доломитового щебня и содержание пылевидных и глинистых частиц в заполнителе, которое составило 2,6 и 2,95 % соответственно (рис. 4).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Определение водопотребности заполнителя ультразвуковым методом заключается в следующем. Устанавливается водопотребность заполнителя непосредственно в самой бетонной смеси, при этом происходит сравнение периода формирования структуры (ПФС) бетона с ПФС цементного камня, приготовленного на том же цементе. Для этого изготавливается цементное тесто с различным водоцементным отношением, находящимся в пределах 0,876–1,65K_ц, при котором происходит образование связной коагуляционной структуры цементного теста. Приготовленное тесто заливают в пластмассовую форму с размером ячейки 10 × 10 × 10 см (рис. 5). Далее определяется скорость прохождения ультразвука через цементное тесто через каждые 5 мин.

Окончание формирования структуры характеризуется резким увеличением скорости прохождения ультразвука (рис. 6). Определив продолжительность твердения цементного теста в зависимости от различного В/Ц, строят график (рис. 7). Таким образом, получают эталонную кривую зависимости В/Ц от времени твердения для данного цемента.



Рис. 3. Прибор Вебе для определения жесткости бетонной смеси



Рис. 4. Определение содержания пылевидных и глинистых частиц в доломитовом заполнителе

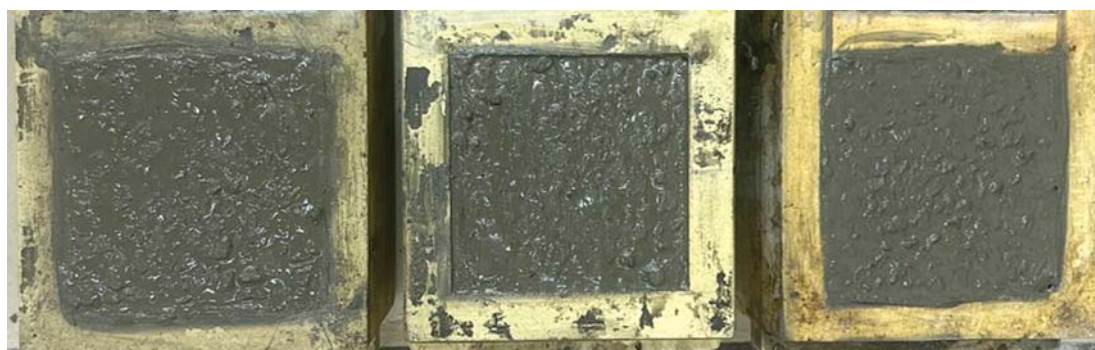


Рис. 5. Формы с размером ячейки $10 \times 10 \times 10$ см для определения ПФС цементного теста

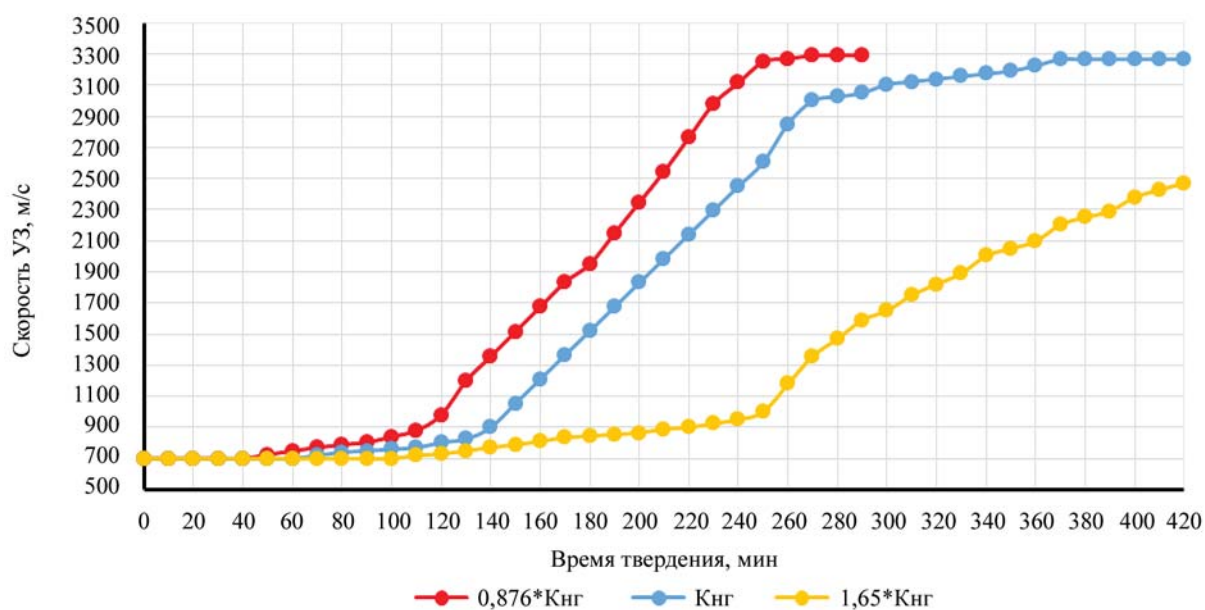


Рис. 6. Изменение скорости прохождения ультразвука в зависимости от времени твердения цементного теста

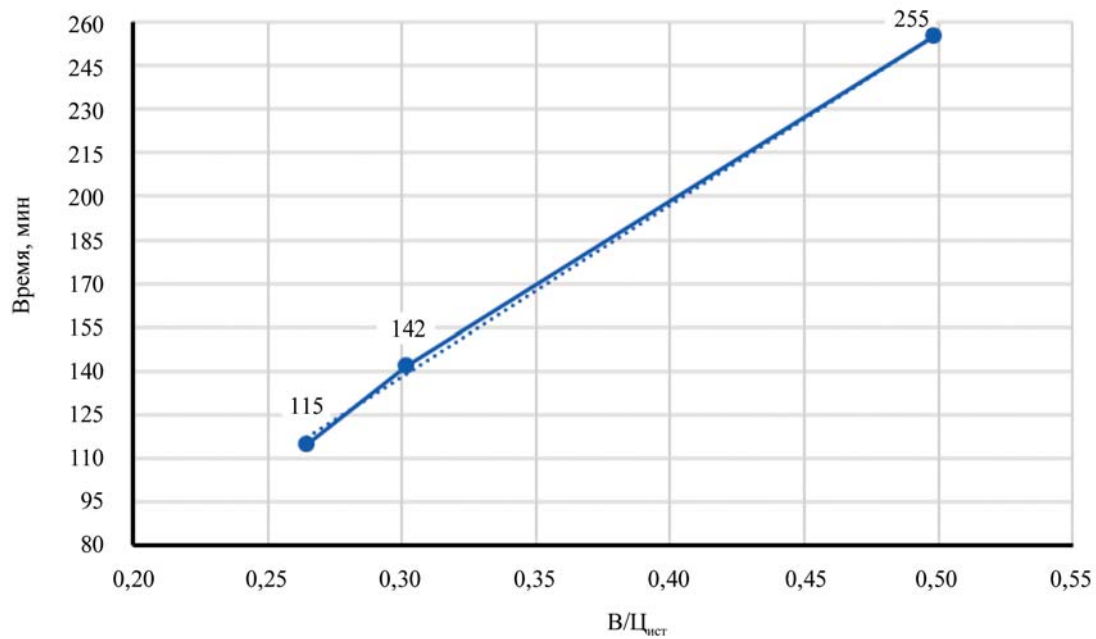


Рис. 7. Изменение продолжительности твердения цементного теста в зависимости от В/Ц

Методика определения водопотребности заполнителя отличается от существующих и проводится для бетонной смеси, которая состоит из 650 кг портландцемента и массы заполнителя, рассчитанной по формуле:

$$M_{\text{зап}} = 0,5\rho_0^{\text{к}}, \quad (2)$$

где $\rho_0^{\text{к}}$ — средняя плотность заполнителя в куске, т/м³.

Готовят бетонную смесь, вводя необходимое количество воды для достижения подвижности, при которой достигается осадка конуса 1–2 см (рис. 8). Определение скорости распространения ультразвука (УЗ) производится с использованием пластмассовых форм, в которые помещается приготовленная бетонная смесь. Измерение скорости прохождения

УЗ выполняется через каждые 20 мин. На рис. 9 представлены данные об изменении скорости УЗ от времени твердения смеси с начала ее затворения.

Далее устанавливают время ПФС бетонной смеси с испытуемым заполнителем по рис. 9. Затем определяется количество воды, отвлечаемой заполнителем ($V_{\text{зап}}$), которое рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{зап}} = V_{\text{затв}} - V_{\text{ц}}; \quad (3)$$

$$V_{\text{ц}} = \Pi \cdot \frac{V}{\Pi_{\text{ист}}}.$$

В табл. 4 приведены данные, полученные при определении водопотребности заполнителя в бетонной смеси.



Рис. 8. Приготовление эталонной бетонной смеси с доломитовым заполнителем

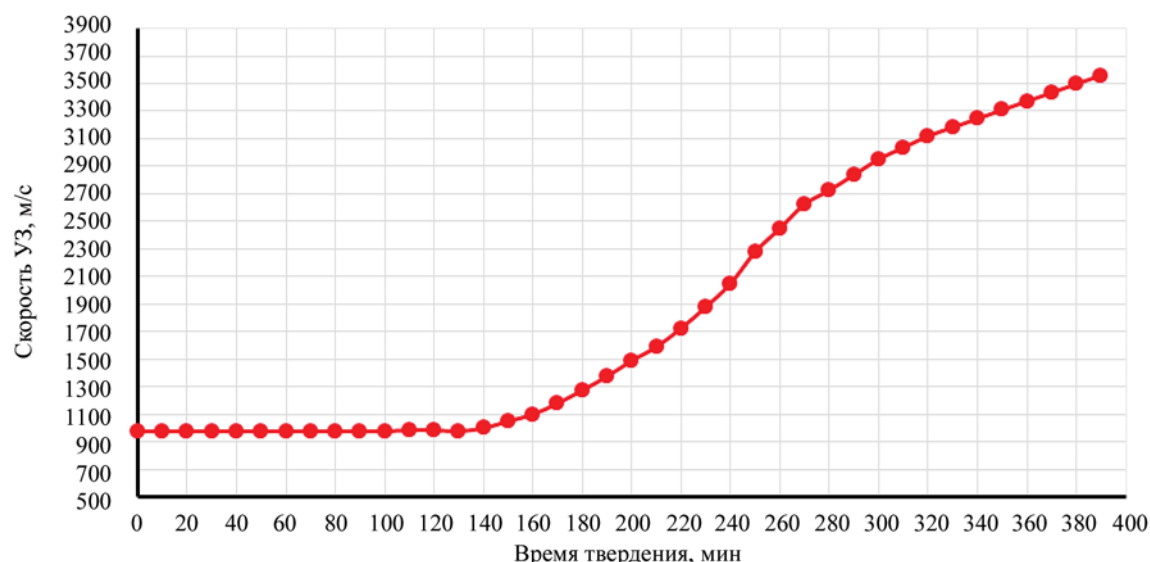


Рис. 9. Изменение скорости прохождения ультразвука в зависимости от времени твердения бетонной смеси

Табл. 4. Определение водопотребности заполнителя в бетонной смеси

$K_{\text{зап}}, \%$	$K_{\text{зап}} = B_{\text{зап}} / P_{\text{зап}}$	$B_{\text{зап}} = B_{\text{затв}} - B_{\text{ц}}$	$B_{\text{ц}} = \frac{B}{\frac{P}{P_{\text{ист}}}}$	ПФС, мин
5,4	0,054	67	195	140

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В условиях повышенных температур и пониженной относительной влажности применение доломитовых заполнителей является особенно актуальным. Однако бетонные смеси с карбонатными заполнителями обладают повышенной водопотребностью, что связано с высоким водопоглощением, пористой поверхностью и различной удельной поверхностью заполнителей.

Определены водопотребность крупного доломитового заполнителя фракции 5–10 мм ультразвуковым методом; водопотребность мелкого заполнителя по ускоренной методике, который представляет собой укрупненный песок из отсева дробления доломитового щебня.

Установлено, что средняя плотность зерен доломитового щебня в куске, определяемая в цементном тесте, составила 2,5 г/см³.

Выявлена величина водопоглощения доломитового заполнителя, а также содержание пылевидных и глинистых частиц.

Использование доломитового заполнителя должно быть ограничено в бетонах, эксплуатируемых при отрицательных температурах. Необходим комплекс исследований о влиянии доломитового наполнителя на прочность и долговечность бетона в условиях сухого жаркого климата. Ввиду повышенной водопотребности, особенно в условиях повышенных температур и низкой относительной влажности, исследование влияния доломитового заполнителя на сохраняемость бетонных смесей является особенно актуальным.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Самченко С.В., Ларсен О.А., Альобаиди Д.А.Н., Наруть В.В., Бахрах А.М., Солодов А.А. Бетоны на карбонатном сырье для сухого жаркого климата // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 9. С. 74–79. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.09.74-79. EDN JZTOJO.
2. Samchenko S.V., Larsen O.A., Kozlova I.V., Alpackiy D.G., Alobaidi D.A.N. Concrete modification for hot weather using crushed dolomite stone // Buildings.

2023. Vol. 13. Issue 10. P. 2462. DOI: 10.3390/buildings13102462

3. Soroka I., Ravina D. Hot weather concreting with admixtures // Cement and Concrete Composites. 1998. Vol. 20. Issue 2–3. Pp. 129–136. DOI: 10.1016/S0958-9465(98)80005-X

4. Алимов Л.А., Воронин В.В., Ларсен О.А. Оценка влияния компонентов бетона на формирование его структуры и свойств // Техника и техно-

логия силикатов. 2020. Т. 27. № 1. С. 20–24. EDN KYFYIL.

5. Ларсен О.А., Воронин В.В., Самченко С.В. Критерии оценки структурно-технологических характеристик бетона // Техника и технология силикатов. 2023. Т. 30. № 2. С. 129–143. EDN QXSDZK.

6. Маилян Р.Л. Бетон на карбонатных заполнителях. Ростов н/Д : Изд-во Рост. ун-та, 1967. 272 с.

7. Образцов И.В., Белов В.В. Программно-вычислительный метод подбора зернового состава заполнителя // II Международный семинар-конкурс молодых ученых и аспирантов, работающих в области вяжущих веществ, бетонов и сухих смесей : сб. докл. 2011. С. 88–91.

8. Хозин В.Г., Хохряков О.В., Сибгатуллин И.Р., Гиззатуллин А.Р., Харченко И.Я. Карбонатные цементы низкой водопотребности — зеленая альтернатива цементной индустрии России // Строительные материалы. 2014. № 5. С. 76–82. EDN SCZHZH.

9. Sernas O., Vorobjovas V., Sneideraitienė L., Vaitkus A. Evaluation of asphalt mix with dolomite aggregates for wearing layer // Transportation Research Procedia. 2016. Vol. 14. Pp. 732–737. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.340

10. Thorpe D., Zhuge Y. Advantages and disadvantages in using permeable concrete as a pavement construction material // Proceedings of 26th annual ARCOM conference. 2010. Pp. 1341–1350.

11. Cohen E., Peled A., Bar-Nes G. Dolomite-based quarry-dust as a substitute for fly-ash geopolymers and cement pastes // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 235. Issue 3. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.06.261

12. Balakrishnan S.D., Paulose K.C. Workability and strength characteristics of self-compacting concrete

containing fly ash and dolomite powder // AJER. 2013. Vol. 24. Pp. 43–47.

13. Isa N.F., Muhammad K., Yahya N., Ahmad M.M., Manaf A., Hisyam M.B. et al. Dolomite quarry waste as sand replacement in sand brick // Materials Science Forum. 2016. Vol. 857. Issue 5. Pp. 319–322.

14. Selvan David A., Sutar Raajan V.C. An experimental study on autoclaved aerated concrete by replacing fine aggregate with dolomite // Icon (Integrating Concepts). 2016. Vol. 1. Issue 1. P. 10.

15. Abdel-Hay A.S. Properties of recycled concrete aggregate under different curing conditions // HBRC Journal. 2017. Vol. 13. Issue 3. Pp. 271–276. DOI: 10.1016/j.hbrj.2015.07.001

16. Korjaks A., Gaidukovs S., Sahmenko G., Bajare D., Pizele D. Investigation of alternative dolomite filler properties and their application in concrete production // Scientific Journal of Riga Technical University. Construction Science. 2008. Vol. 2. Issue 9. Pp. 64–71.

17. Алимов Л.А. Исследование влияния структурных характеристик на основные физико-механические свойства бетонов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1970. 12 с.

18. Netinger I., Miličević I., Guljas I. The effect of high temperatures on the mechanical properties of concrete made with different types of aggregates // Fire Safety Journal. 2011. Vol. 46. Issue 7. Pp. 425–430. DOI: 10.1016/j.firesaf.2011.07.002

19. Donza H., Cabrera O., Irassar E.F. High-strength concrete with different fine aggregate // Cement and Concrete Research. 2002. Vol. 32. Issue 11. Pp. 1755–1761. DOI: 10.1016/S0008-8846(02)00860-8

20. Баженов Ю.М., Горчаков Г.И., Алимов Л.А., Воронин В.В. Получение бетона заданных свойств. М. : Стройиздат, 1978. 53 с.

Поступила в редакцию 18 февраля 2024 г.

Принята в доработанном виде 17 марта 2024 г.

Одобрена для публикации 28 мая 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: Светлана Васильевна Самченко — доктор технических наук, профессор кафедры строительных материалов и изделий; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; samchenko@list.ru;

Оксана Александровна Ларсен — кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов и изделий; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; larsen.oksana@mail.ru;

Дия Абдулкадим Насер Альобаиди — аспирант; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; dheya.alobaidi@gmail.com.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

The level of utilization of carbonate raw materials and their wastes in the form of siftings, dust of aspiration systems and so on is the most important factor ensuring the reduction of energy costs and the possibility of producing new quality products.

Traditionally, carbonate materials found application in the prefabricated reinforced concrete industry, road construction, cement and lime production. Carbonate materials are also used in metallurgical production, agriculture and other areas.

Carbonate aggregates are widely used in the design of concrete compositions working in conditions of elevated temperatures and reduced relative humidity [1]. Carbonate rubble is obtained by crushing at quarries of non-metallic minerals, which produces a significant amount of fractions up to 5 mm in size, containing from 12 to 40 % of grains smaller than 0.16 mm [2]. Carbonate aggregate production waste can be used for the production of crushed sand and concrete filler by additional grinding operations.

Analysis of literature data showed that concrete mixtures on carbonate aggregates increased water consumption [3]. This can be explained, first of all, by the porous structure of carbonate rock. It is noted that concrete mixtures on carbonate sand have good water-holding capacity, while there is no stratification of the mixture and water separation¹.

The aggregate affects the structure of the cement stone, the properties of the concrete mix and the concrete. Depending on its content and specific surface area, the mobility of the concrete mixture decreases and the setting time is shortened. This is because the aggregate diverts part of the mixing water, so the properties of the concrete mixture are determined by a slightly lower water-cement ratio compared to the mixing water-cement ratio [4]. The introduction of additional water to achieve the same properties characterizes the water demand of the aggregate [5, 6]. The strength of aggregate, which determines the strength of concrete, is characterized not only by the type of rock from which it is obtained, but also by the grain size. The smaller the grains, the less defects they contain and their strength is higher [7, 8].

Dolomite is widely used in the construction industry and road building. There is the use of dolomite for the production of asphalt concrete mixture for road pavement [9].

Coarse aggregate from dolomite can be used to produce concrete [6, 10–12].

Sand bricks were produced on the basis of crushing sands with replacement of fine aggregate with dolomite aggregate in the amount of 25, 50, 75 and 100 % of aggregate weight [13]. Sand from dolomite crushing sands was used to produce autoclaved aerated concrete with improved performance [14].

It was found that the mobility of concrete decreases with the introduction of crushing screenings when the binder material is partially replaced as filler². The introduction of aggregate from dolomite crushing sands in the amount of 10 to 100 % reduces the mobility of concrete [15].

The influence of fine dolomite aggregate on the mobility of concrete is observed. When dolomite sand was introduced into the concrete composition in the amount from 25 to 100 %, the mobility of the concrete mixture of the control composition decreased from 105 to 70 mm [16].

The influence of aggregates on the strength properties of concrete used in conditions of elevated temperatures and low relative humidity is noted. When fine carbonate aggregate is introduced into concrete composition, despite its higher water consumption compared to quartz sand, higher strength of concrete is ensured. Increased strength is associated with higher water consumption and increased water absorption, lower actual water-cement ratio during curing and return of previously absorbed water to the cement stone, which increases the degree of cement hydration.

There is a positive effect of aggregates from crushing screenings on the deformation properties of self-compacting concrete³. Shrinkage deformations during drying of the compositions containing fine aggregate from dolomite in the amount from 7 to 28 % were smaller in comparison with the control compositions. The optimum content of fine dolomite aggregate is 7–14 % of the weight of all aggregates of self-compacting concrete mixture, which prevents the delamination of the mixture, increases the mobility and improves the mechanical properties of concrete. However, further increase of the content in the concrete composition contributed to the increase of shrinkage deformations.

Water consumption of granite crushed stone by mass fraction 5–20 mm is 3.25–3.4 %, river gravel with a limiting size of crushed stone 5–20 mm — 2.6–2.98 %, limestone crushed stone — 5.15–5.5 %, quartz construction sand — 7.1–8 %, river sand — 7.15–8.1 %, expanded clay of 0.14–20 mm fraction — 20–24.5 %, keramzite sand — 23.8–26.2 % [17].

Dolomite is widely used in the building industry and road construction, large and fine dolomite aggregates — in the production of carbonate concrete for road construction, which is due to their high active structure-forming role [6]. This influence is manifested in the strengthening of the contact zone between cement stone and carbonate aggregate, which occurs due to the high adhesive bond between them due to the high

² Barbhuiya S. Effects of fly ash and dolomite powder on the properties of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*. 2011; 25(8):3301–3305.

³ Rudžionis Ž., Ivanauskas E., Senkus M. The Analysis of secondary raw materials usage in self-compacting concrete production. *Mater. Sci. II*. 2005; 272–277.

¹ Guidelines for concrete works in dry hot climates. Moscow. Stroyizdat, 1977; 81.

porosity of the aggregate and the physical and chemical activity of limestone and dolomite.

Mortars on dolomite and limestone aggregates retain their strength at high temperatures up to 700 °C compared to conventional granite [18].

Coarse aggregate based on dolomite is used for the production of concrete with increased permeability for road surfaces [10], as well as for the production of asphalt concrete mixtures [9]. Dolomite is used in the production of wall stones as a substitute for quartz sand when it is introduced in the amount of 0, 25, 50, 75 and 100 % of the weight of fine aggregate [19], as well as in the production of autoclaved aerated concrete, which showed high performance indicators compared to conventional autoclaved aerated concrete [14].

Based on the above, it can be concluded that the determination of such indicators as water consumption, water absorption of dolomite-based aggregate is necessary and important due to its special structure.

MATERIALS AND METHODS

The following materials were used in this study:

- portland cement CEM I 52,5H “HeidelbergCement Rus”, in accordance with GOST 31108–2020, with specific surface area 377.3 m²/kg, mineralogical and chemical compositions presented in Tables 1, 2. The main properties of Portland cement: setting time — beginning and end of setting 195 and 235 min respectively, water content — 30.2 %; compressive strength at the age of 2 and 28 days — 29.9 and 62.6 MPa respectively;

- dolomite crushed stone of fraction 5–10 with particle size distribution shown in Fig. 1. Chemical composition of aggregate is presented in Table 3, phase composition — in Fig. 2;

- standard monofractional sand in accordance with GOST 6139–2020 “Sand for cement testing. Technical conditions”.

Table 1. Mineralogical composition of Portland cement CEM I 52.5H “HeidelbergCement Rus”

Mineralogical composition, %			
CS ₃	CS ₂	CA ₃	C ₄ AF
64	14	7	11

Table 2. Chemical composition of Portland cement CEM I 52.5H “HeidelbergCement Rus”

Chemical composition, %											
SiO ₂	AlO ₂₃	FeO ₂₃	CaO	MgO	SO ₃	KO ₂	NaO ₂	MnO	TiO ₂	PO ₂₅	n.p.s.
21.23	4.78	3.31	62.95	1.65	3.22	0.66	0.12	0.08	0.28	0.06	1.60

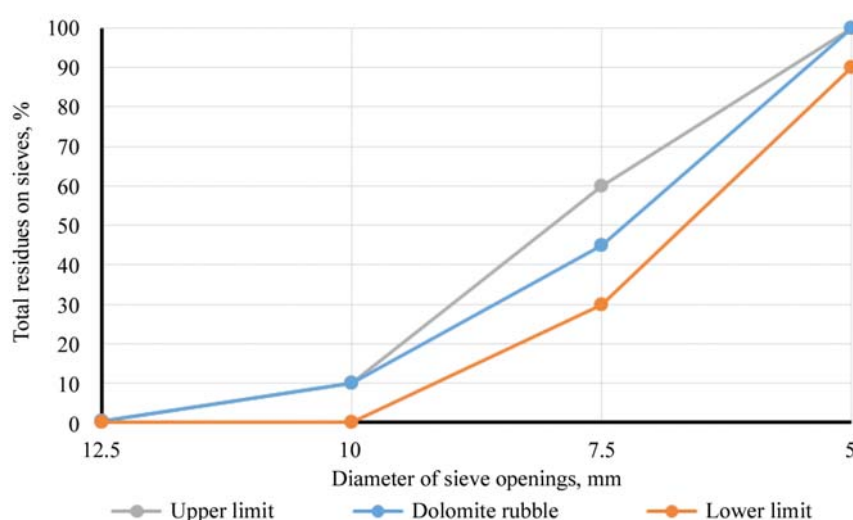


Fig. 1. Particle size distribution of dolomite coarse aggregate with size of 5–10 mm

Table 3. Chemical composition of dolomite coarse aggregate

Chemical composition, %											
SiO ₂	AlO ₂₃	FeO ₂₃	CaO	MgO	SO ₃	KO ₂	NaO ₂	MnO	TiO ₂	PO ₂₅	n.p.s.
2.12	0.69	0.32	35.56	17.38	0.15	0.19	0.08	0.01	0.03	0	45.16

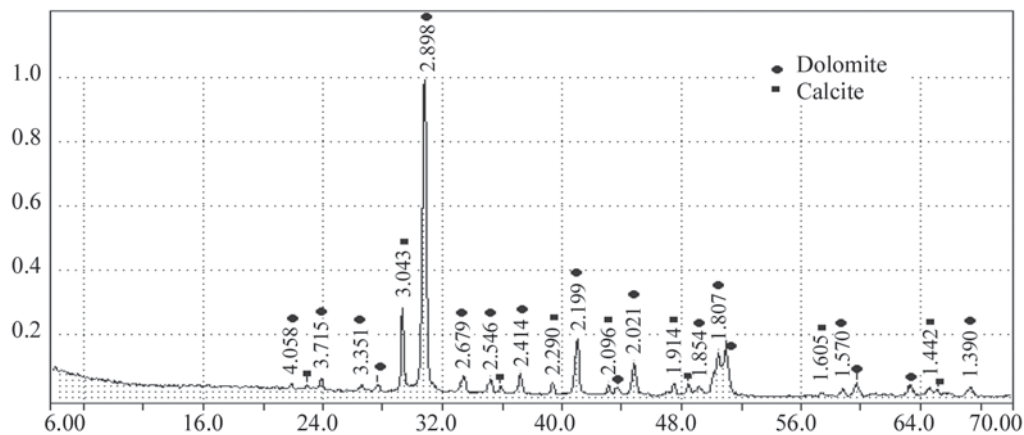


Fig. 2. X-ray diffractogram of dolomite crushing screenings

Chemical analysis of Portland cement and dolomite aggregate was studied on Bruker S4 Pioneer and Bruker S8 Tiger X-ray analyzer. Mineralogical composition of Portland cement was determined on Bruker D2 laser diffractometer.

The water content of coarse dolomite aggregate was determined by ultrasonic method [20].

The water content of fine aggregate was determined using an accelerated method on equal-size mixtures.

Average density in a piece in the cement test of carbonate crushed stone fraction 5–10 mm was detected in accordance with GOST 9758–2012 “Porous inorganic aggregates for construction works. Test methods”. A 3.5 litre specimen of carbonate crushed stone of 5–10 mm fraction was taken. Then 1.7 kg of cement and 3.4 kg of standard monofractional sand were mixed in a baking tray. The required amount of water was introduced into the resulting mixture to achieve a mixture consistency with a stiffness of 5–10 s (Fig. 3), which was evaluated on a Vebe instrument. The obtained mixture was kept for 15 min, then it was filled into a 5 litre vessel, in

which the mixture was further compacted on a vibrating platform for 30–60 s and weighed.

The average density of dolomite crushed stone grains in the piece was 2.5 g/cm³, determined in accordance with GOST 9758–2012 “Porous inorganic aggregates for construction works. Test methods”. Such important indicators of aggregate as hollowness and porosity of dolomite aggregate were established on the basis of data of average density in a piece and bulk density. The volume of intergranular voids of dolomite aggregate was 41.9 %, it was calculated according to the method presented in GOST 8735–88 “Sand for construction works. Test methods”.

Water demand was determined by the accelerated method proposed by Yu.M. Bazhenov on equal-moving mixtures. This method includes the use of a shaking cone Hagerman, it sets the diameter of the spreading of cement paste at $(W/C)_c$, corresponding to its normal density and equal to 170 mm. Then the mortar of composition 1:2 is made and the amount of water is selected. $(W/C)_m$ required to obtain a spreading diameter of 170 mm. The water requirement of consolidated sand



Fig. 3. Vebe consistometer for determining the stiffness of concrete mix

consisting of 50 % quartz sand and 50 % sand from dolomite crushing sands was 5.3 % and was calculated by the formula:

$$K_{ws} = \frac{(W/C)_m - (W/C)_c}{2} 100 \%. \quad (1)$$

The water absorption of dolomite crushed stone and the content of dust and clay particles in the aggregate were also determined, which were 2.6 and 2.95 %, respectively (Fig. 4).

RESULTS

The ultrasonic method for determining the water content of aggregate is as follows. The water content of the aggregate is determined directly in the concrete mix itself by comparing the structure formation period (SFP) of the concrete with the SFP of the cement stone prepared with the same cement. For this purpose, cement batter is made with different water-cement ratio, which is in the range of $0.876-1.65K_{nd}$ at which a cohesive coagulation structure of the cement paste is formed. The prepared paste is poured into a plastic mould with

a mesh size of $10 \times 10 \times 10$ cm (Fig. 5). Next, the rate of ultrasound passage through the cement paste is determined every 5 min.

The end of structure formation is characterized by a sharp increase in the ultrasound passage velocity (Fig. 6). Having determined the curing time of cement paste depending on different W/C , a graph is plotted (Fig. 7). Thus, a reference curve of W/C dependence on curing time for a given cement is obtained.

The methodology for determining the water content of aggregate differs from the existing ones and is carried out for a concrete mixture consisting of 650 kg of Portland cement and mass of aggregate calculated according to the formula:

$$M_{ag} = 0.5\rho_0^k, \quad (2)$$

where ρ_0^k — is the average density of aggregate in the lump, t/m^3 .

The concrete mixture is prepared by adding the necessary amount of water to achieve a mobility at which a cone settlement of 1–2 cm is achieved (Fig. 8). The ultrasonic velocity (UZ) is determined using plas-



Fig. 4. Determination of dust and clay particles content in dolomite aggregate

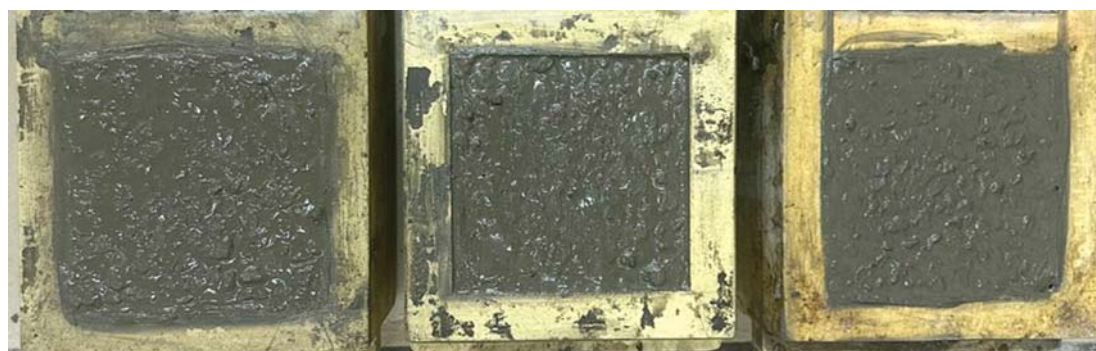


Fig. 5. Moulds with cell size $10 \times 10 \times 10 \times 10$ cm for determination of PFS of cement paste

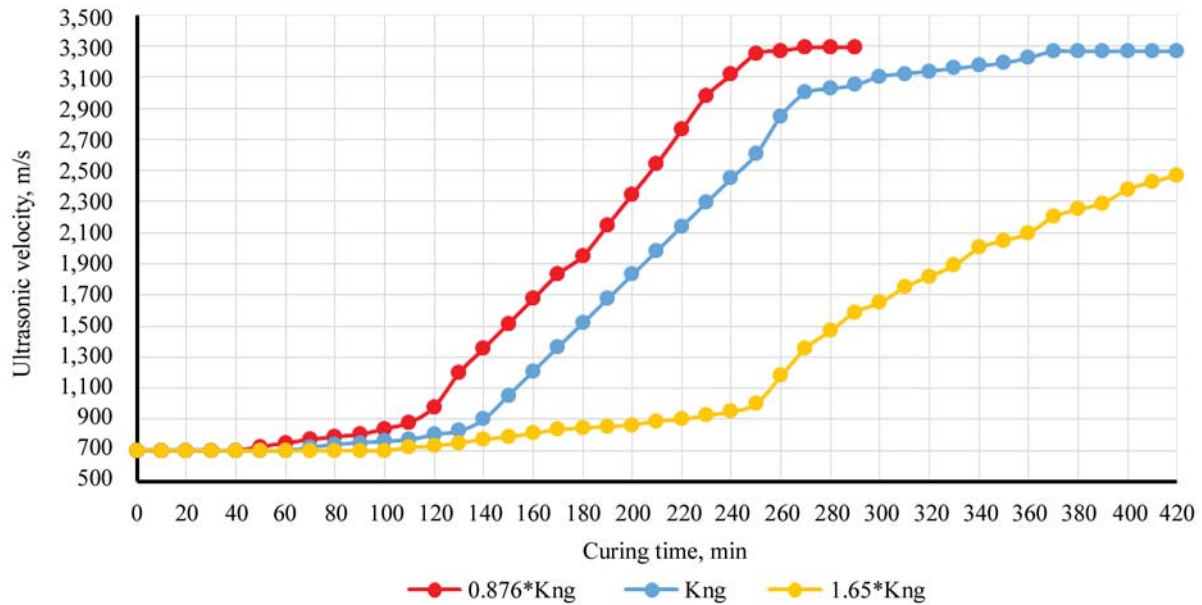


Fig. 6. The variation of ultrasonic velocity as a function of cement paste curing time

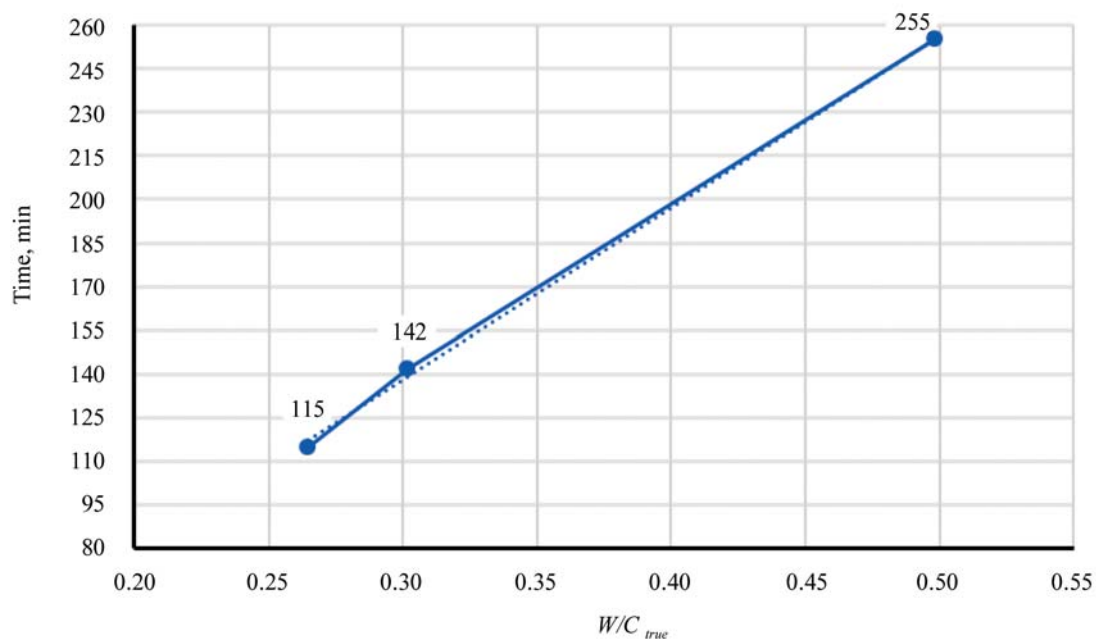


Fig. 7. Variation of cement paste curing time as a function of water-cement ratio

tic moulds in which the prepared concrete mixture is placed. The measurement of the ultrasonic velocity is performed every 20 min. Fig. 9 shows the data on the change of ultrasonic velocity with the curing time of the mixture from the beginning of its mixing.

Next, the PFS time of the concrete mixture with the tested aggregate is set according to Fig. 9. Then the amount of water diverted by the aggregate is de-

termined W_{ag} which is calculated according to the formula:

$$\begin{aligned} W_{ag} &= W_m - W_c; \\ W_c &= C \cdot \frac{W}{C_{true}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Table 4 shows the data obtained in determining the water content of aggregate in the concrete mix.



Fig. 8. Preparation of a reference concrete mix with dolomite aggregate

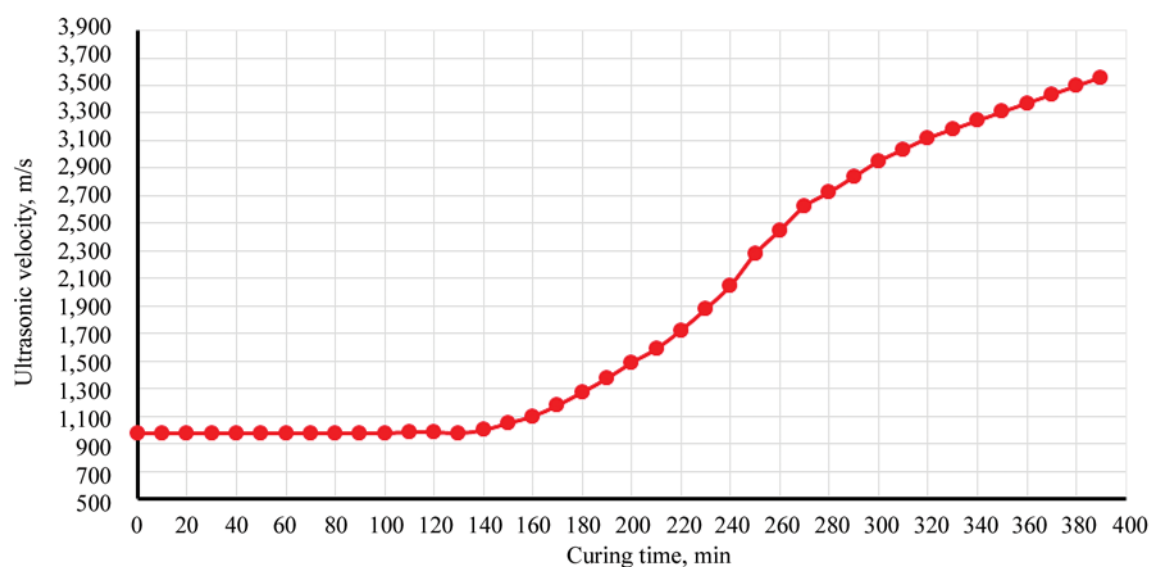


Fig. 9. The variation of ultrasonic velocity as a function of curing time of concrete mixture

Table 4. Determination of water content of aggregate in concrete mixture

$K_{ag}, \%$	$K_{ag} = W_{ag} / M_{ag}$	$W_{ag} = W_m - W_c$	$W_c = C \cdot \frac{W}{C_{tru}}$	PFS, min
5.4	0.054	67	195	140

CONCLUSION AND DISCUSSION

In conditions of high temperatures and low relative humidity, the use of dolomite aggregates is especially relevant. However, concrete mixtures with carbonate aggregates have increased water consumption, which is due to high water absorption, porous surface and different specific surface area of aggregates.

Water consumption of coarse dolomite aggregate of 5–10 mm fraction by ultrasonic method was determined; water consumption of fine aggregate by accelerated method, which is enlarged sand from dolomite crushed stone screening.

It was found that the average density of dolomite crushed stone grains in the lump determined in the cement test was 2.5 g/cm³.

The water absorption value of dolomite aggregate as well as the content of dust and clay particles was revealed.

The use of dolomite aggregate should be limited in concrete used at sub-zero temperatures. A set of studies on the effect of dolomite aggregate on the strength and durability of concrete in dry, hot climates is needed. In view of the increased water consumption, especially in conditions of high temperatures and low relative humidity, the study of the influence of dolomite aggregate on the storability of concrete mixtures is particularly relevant.

REFERENCES

1. Samchenko S.V., Larsen O.A., Alobaidi D.A.N., Naruts V.V., Bahrah A.M., Solodov A.A. Concretes based on carbonate raw materials for the dry hot climate. *Industrial and Civil Engineering*. 2022; 9:74-79. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.09.74-79. EDN JZTOJO. (rus.).
2. Samchenko S.V., Larsen O.A., Kozlova I.V., Alpackiy D.G., Alobaidi D.A.N. Concrete modification for hot weather using crushed dolomite stone. *Buildings*. 2023; 13(10):2462. DOI: 10.3390/buildings13102462
3. Soroka I., Ravina D. Hot weather concreting with admixtures. *Cement and Concrete Composites*. 1998; 20(2-3):129-136. DOI: 10.1016/S0958-9465(98)80005-X
4. Alimov L.A., Voronin V.V., Larsen O.A. Assessment of the influence of concrete components on the formation of its structure and properties. *Technique and Technology of Silicates*. 2020; 27(1):20-24. EDN KYFYIL. (rus.).
5. Larsen O.A., Voronin V.V., Samchenko S.V. Criteria for estimation the structural and technological characteristics of concrete. *Technique and Technology of Silicates*. 2023; 30(2):129-143. EDN QXSDZK. (rus.).
6. Mailyan R.L. *Concrete on carbonate aggregates*. Rostov on Don, Publishing House of Rostov. Un., 1967; 272. (rus.).
7. Obratsov I.V., Belov V.V. A software-computational method for selecting the grain composition of a filler. *II International seminar-competition of young scientists and graduate students working in the field of binders, concrete and dry mixes : collection of reports*. 2011; 88-91. (rus.).
8. Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Sibgatullin I.R., Gizzatullin A.R., Kharchenko I.Ya. Carbonate cements of low water demand — a green alternative to the cement industry in Russia. *Construction Materials*. 2014; 5:76-82. EDN SCZHZH. (rus.).
9. Sernas O., Vorobjovas V., Sneideraitienė L., Vaitkus A. Evaluation of asphalt mix with dolomite aggregates for wearing layer. *Transportation Research Procedia*. 2016; 14:732-737. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.340
10. Thorpe D., Zhuge Y. Advantages and disadvantages in using permeable concrete as a pavement construction material. *Proceedings of 26th annual ARCOM conference*. 2010; 1341-1350.
11. Cohen E., Peled A., Bar-Nes G. Dolomite-based quarry-dust as a substitute for fly-ash geopolymers and cement pastes. *Journal of Cleaner Production*. 2019; 235(3). DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.06.261
12. Balakrishnan S.D., Paulose K.C. Workability and strength characteristics of self-compacting concrete containing fly ash and dolomite powder. *AJER*. 2013; 24:43-47.
13. Isa N.F., Muhammad K., Yahya N., Ahmad M.M., Manaf A., Hisyam M.B. et al. Dolomite quarry waste as sand replacement in sand brick. *Materials Science Forum*. 2016; 857(5):319-322.
14. Selvan David A., Sutar Raajan V.C. An experimental study on autoclaved aerated concrete by replacing fine aggregate with dolomite. *Icon (Integrating Concepts)*. 2016; 1(1):10.
15. Abdel-Hay A.S. Properties of recycled concrete aggregate under different curing conditions. *HBRC Journal*. 2017; 13(3):271-276. DOI: 10.1016/j.hbrj.2015.07.001
16. Korjaks A., Gaidukovs S., Sahmenko G., Bajare D., Pizele D. Investigation of alternative dolomite filler properties and their application in concrete production. *Scientific Journal of Riga Technical University. Construction Science*. 2008; 2(9):64-71.
17. Alimov L.A. *Investigation of the influence of structural characteristics on the basic physical and mechanical properties of concrete : abstract of the dissertation ... candidate of technical sciences*. Moscow, 1970; 12. (rus.).
18. Netinger I., Miličević I., Guljas I. The effect of high temperatures on the mechanical properties of concrete made with different types of aggregates. *Fire Safety Journal*. 2011; 46(7):425-430. DOI: 10.1016/j.firesaf.2011.07.002
19. Donza H., Cabrera O., Irassar E.F. High-strength concrete with different fine aggregate. *Cement and Concrete Research*. 2002; 32(11):1755-1761. DOI: 10.1016/S0008-8846(02)00860-8
20. Bazhenov Yu.M., Gorchakov G.I., Alimov L.A., Voronin V.V. *Obtaining concretes of specified properties*. Moscow, Stroyizdat, 1978; 53. (rus.).

Received February 18, 2024.

Adopted in revised form on March 17, 2024.

Approved for publication on May 28, 2024.

B I O N O T E S: **Svetlana V. Samchenko** — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Materials and Products; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; samchenko@list.ru;

Oksana A. Larsen — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Materials and Products; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; larsen.oksana@mail.ru;

Dheyaa Abdulkadhim Naser Alobaidi — postgraduate student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; dheyaa.alobaidi@gmail.com.

*Contribution of the authors: all authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare no conflicts of interest.*

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗДАНИЙ. ПРОБЛЕМЫ ЖКК. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЯ

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ / REVIEW PAPER

УДК 69.05

DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.166-177

Методы управления жизненным циклом объектов капитального строительства с учетом влияния экологических и других видов рисков

Валерий Иванович Теличенко, Азарий Абрамович Лapidус,
Михаил Юрьевич Слесарев, Мозаффари Мохаммад Али

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Представлены методы экологической оптимизации воздействий, в том числе: графический метод создания области допустимых воздействий путем решения задач линейного программирования; модель идентификации опасных воздействий симплексным методом; метод формирования устойчивых систем управления экологической безопасностью строительства.

Материалы и методы. Методология экологического менеджмента и риск-менеджмента базируется в основном на международных стандартах менеджмента (Environmental management & Risk management). На простых численных примерах проиллюстрированы возможности математического моделирования нагрузок на окружающую среду на этапах жизненного цикла строительных объектов. Рассмотрены линейные уравнения действия с ограничениями и с двумя переменными факторами влияния. Если перейти к линейным зависимостям с тремя переменными факторами влияния, то они будут описывать плоскость в трехмерном пространстве воздействия; система линейных ограничений представляет собой многогранник как область допустимых воздействий в трехмерном пространстве воздействия.

Результаты. Исследования, проведенные графическим методом построения области допустимых воздействий при решении экологических задач линейного программирования, показали его эффективность и наглядность в сравнении с результатами, полученными расчетным путем. Наиболее эффективной является разработка систем управления экологической безопасностью строительства, связанных с источниками отходов, а также управления составом и обработкой потоков отходов с целью содействия предотвращению образования отходов, а также рекуперации и переработки отходов строительной отрасли.

Выводы. Важным направлением развития методов является повышение эффективности использования ресурсов и снижение затрат на строительство и эксплуатацию объектов. Для этого будут применяться новые технологии и материалы, а также оптимизироваться процессы строительства и эксплуатации объектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: углеродное воздействие, экологический менеджмент, экологический риск, риск-менеджмент, система экологического менеджмента, экологический аспект, чрезвычайная ситуация, объект капитального строительства

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Теличенко В.И., Лapidус А.А., Слесарев М.Ю., Али М.М. Методы управления жизненным циклом объектов капитального строительства с учетом влияния экологических и других видов рисков // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. Вып. 2. С. 166–177. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.166-177

Автор, ответственный за переписку: Михаил Юрьевич Слесарев, Slesarev@mgsu.ru.

Methods for managing the life cycle of capital construction objects considering the impact of environmental and other types of risks

Valeriy I. Telichenko, Azariy A. Lapidus, Mikhail Yu. Slesarev,
Mozaffari Mohammad Ali

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

ABSTRACT

Introduction. The methods of environmental impact optimization are presented, including: a graphical method for creating an area of acceptable impacts by solving linear programming problems; a model for the identification of hazardous impacts by the simplex method; a method of forming sustainable management systems of ecological safety of construction.

Materials and methods. The methodology of environmental and risk management is based mainly on international management standards (Environmental management & Risk management). Using simple numerical examples, the possibilities of mathematical modelling of environmental loads at the stages of the life cycle of construction facilities are illustrated. The paper considers linear equations of action with constraints and with two variable factors of influence. If we pass to linear dependencies with three variable factors of influence, then they will describe a plane in the three-dimensional space of influence. The system of linear constraints represents a polyhedron as the area of permissible impacts in the three-dimensional impact space.

Results. Studies conducted by the graphical method of constructing the area of permissible impacts when solving environmental problems of linear programming showed its effectiveness and clarity, compared to the results obtained by computational method. The most effective is the development of environmental safety management systems for construction related to waste sources, as well as the management of the composition and treatment of waste streams, in order to promote the prevention of waste generation, as well as the recovery and recycling of waste from the construction industry.

Conclusions. An important area of development of methods is to increase the efficiency of resource use and reduce the cost of construction and operation of facilities. For this purpose, new technologies and materials will be used, as well as the processes of construction and operation of facilities will be optimized.

KEYWORDS: carbon impact, environmental management, environmental risk, risk management, environmental management system, environmental aspect, emergency situation, capital construction facility

FOR CITATION: Telichenko V.I., Lapidus A.A., Slesarev M.Yu., Ali M.M. Methods for managing the life cycle of capital construction objects considering the impact of environmental and other types of risks. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2024; 14(2):166-177. URL: <http://ns-ojournal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.166-177

Corresponding author: Mikhail Yu. Slesarev, Slesarev@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Целью исследований по научным специальностям ВАК 2.10.2 «Экологическая безопасность (технические науки)» и 2.1.14. «Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)» является проведение экологической оценки углеродного и азотного следа техническими объектами в условиях страны. Могут ставиться задачи:

1. Формирование баз данных показателей объектов капитального строительства (ОКС) с географической привязкой к экосистемам.
2. Типизация ОКС по уровню воздействия выбросов на окружающую среду.
3. Экологическая оценка углеродного следа исследуемых ОКС.
4. Экологическая оценка азотного следа ОКС.
5. Экологическая оценка углеродного и азотного следа ОКС в условиях разных стран в особо охраняемых природных территориях.
6. Оценка соответствия ОКС «зеленым стандартам» по выбросам парниковых газов.

Цель настоящего исследования — обзор методов управления жизненным циклом (ЖЦ) ОКС с учетом влияния экологических и других видов рисков.

Главный вопрос, рассматриваемый в статье, как будут развиваться методы с учетом влияния экологических и других видов рисков.

Задачи исследования: 1) обзор международных и отечественных нормативных документов о методах; 2) анализ инновационных методов с учетом влияния экологических и других видов рисков в диссертациях по данному направлению.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методология экологического менеджмента и риск-менеджмента базируется в основном на международных стандартах менеджмента:

1. Environmental management:

- ISO 14001:2015. Environmental management systems — Requirements with guidance for use. (ИСО 14001:2015. Системы экологического менеджмента — Требования и руководство по применению). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14004. Environmental management systems — General guidelines on implementation. (ИСО 14004. Системы экологического менеджмента. Общие руководящие указания по внедрению). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14005. Environmental management systems — Guidelines for the phased implementation of an environmental management system, including the use of environmental performance evaluation. (ИСО 14005. Системы экологического менеджмента — Руководящие принципы поэтапного внедрения системы экологического менеджмента, включая использование оценки результативности экологической деятельности). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14006. Environmental management systems. Guidelines for incorporating ecodesign. (ИСО 14006. Системы экологического менеджмента. Рекомендации по внедрению экодизайна). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14020. Environmental labels and declarations. General principle. (ИСО 14020. Экологические этикетки и декларации. Общий принцип). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14021. Environmental labels and declarations — Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling). (ИСО 14021. Экологические этикетки и декларации — самопровозглашенные экологические требования (экологическая маркировка II типа)). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14024. Environmental labels and declarations — Type I environmental labelling — Principles and procedures. (ИСО 14024. Экологические этикетки и декларации — Экологическая маркировка типа I — Принципы и процедуры). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14025. Environmental labels and declarations — Type III environmental declarations — Principles and procedures. (ИСО 14025. Экологические этикетки и декларации — Экологические декларации типа III — Принципы и процедуры). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14031. Environmental management. Environmental performance evaluation. Guidelines. (ИСО 14031. Экологический менеджмент. Оценка экологической эффективности. Руководство). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14033. Environmental management. Quantitative environmental information. Guidelines and examples. (ИСО 14033. Экологический менеджмент. Количественные экологические данные. Руководство и примеры). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

2. Risk management:

- ISO 14040. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework. (ИСО 14040. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14044. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines. (ИСО 14044. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Требования и рекомендации). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14045. Environmental management. Eco-efficiency assessment of product systems. Principles, requirements and guidelines. (ИСО 14045. Экологический менеджмент. Оценка экологической эффективности продуктовых систем. Принципы, требования и руководящие указания). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14046. Environment management. Water footprint. Principles, requirements and guidelines. (ИСО 14046. Экологический менеджмент. Водный след. Принципы, требования и руководящие указания). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO/TR14062. Environmental management. Integrating environmental aspects into product design and development. (ИСО/TR 14062. Экологический менеджмент. Интегрирование экологических аспек-

тов в дизайн и разработку продукции). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14063. Environmental management. Environmental communication. Guidelines and examples. (ИСО 14063. Экологический менеджмент. Обмен экологической информацией. Рекомендации и примеры). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO/TS 14067. Greenhouse gases. Carbon footprint of products. Requirements and guidelines for quantification and communication. (ИСО/ТС 14067. Парниковые газы. Углеродный след продукции. Требования и руководящие принципы количественной оценки и коммуникации). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 19011. Guidelines for auditing management systems. (ИСО 19011. Руководящие указания по аудиту систем менеджмента). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 26000. Guidance on social responsibility. (ИСО 26000. Руководство по социальной ответственности). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 31000. Risk management. Principles and guidelines. (ИСО 31000. Управление рисками. Принципы и руководящие указания). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 50001. Energy management systems. Requirements with guidance for use. (ИСО 50001. Системы энергоменеджмента. Требования с руководством по использованию). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO Guide 73:2009. Risk management — Vocabulary — Guidelines for use in standards. (ИСО 73:2009. Менеджмент риска — Термины и определения). URL: <https://www.iso.org/home.html>.

Методы управления с учетом влияния экологических и других видов рисков могут базироваться на стандартах экологического менеджмента и риск-менеджмента, активно внедряемых в нашей стране более 25 лет. В перечень этих стандартов входят национальные стандарты России ГОСТ Р ИСО:

- ГОСТ Р ИСО 14001–2016. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению;

- ГОСТ Р ИСО 14002–2022. Системы экологического менеджмента. Руководство по применению ИСО 14001 для рассмотрения экологических аспектов и условий в рамках экологической тематической области. Часть 1. Общие положения;

- ГОСТ Р ИСО 14004–2017. Системы экологического менеджмента. Общие руководящие указания по внедрению;

- ГОСТ Р ИСО 14005–2019. Системы экологического менеджмента. Руководящие указания по применению гибкого подхода поэтапного внедрения системы экологического менеджмента;

- ГОСТ Р ИСО 14006–2013. Системы экологического менеджмента. Руководящие указания

по включению экологических норм при проектировании;

- ГОСТ Р ИСО 14007–2020. Экологический менеджмент. Руководящие указания по определению экологических затрат и выгод;

- ГОСТ Р ИСО 14008–2019. Денежная оценка воздействия на окружающую среду и соответствующих экологических аспектов;

- ГОСТ Р ИСО 14009–2021. Системы экологического менеджмента. Руководящие указания по учету движения материалов в процессах проектирования и разработки;

- ГОСТ Р ИСО 14010–98. Руководящие указания по экологическому аудиту. Основные принципы.

И другие стандарты экологического менеджмента и риск-менеджмента на всех стадиях, включая изыскания, проектирование, строительство, эксплуатацию, реновацию и утилизацию объекта. Перечисленные стандарты касаются нормирования следующих процедур управления на ЖЦ: «Разработка и внедрение систем экологического менеджмента», «Требования и руководство по применению систем экологического менеджмента», «Общие руководящие указания по внедрению систем экологического менеджмента», «Руководящие указания по применению гибкого подхода поэтапного внедрения системы экологического менеджмента», «Руководящие указания по включению экологических норм при проектировании», «Руководящие указания по учету движения материалов в процессах проектирования и разработки», «Руководящие указания по экологическому аудиту. Основные принципы» и другие нормы и правила [1].

Методы экологической оптимизации воздействий включают в том числе: графический метод создания области допустимых воздействий путем решения задач линейного программирования [2]; модель идентификации опасных воздействий симплексным методом [2]; метод формирования устойчивых систем управления экологической безопасностью строительства [2–5]. На простых численных примерах проиллюстрированы возможности математического моделирования нагрузок на окружающую среду на этапах ЖЦ строительных объектов. В указанных работах рассмотрены линейные уравнения действия с ограничениями и с двумя переменными факторами влияния. При переходе к линейным зависимостям с тремя переменными факторами влияния они будут описывать плоскость в трехмерном пространстве воздействия; система линейных ограничений представляет собой многогранник как область допустимых воздействий в трехмерном пространстве воздействия.

Наиболее эффективной является разработка систем управления экологической безопасностью ОКС, связанных с источниками, определениями и категориями отходов, а также составом и обработкой потоков отходов, с целью содействия предот-

вращению образования отходов, созданию и внедрению механизмов предотвращения образования и минимизации отходов, а также рекуперации и вторичной переработки системы утилизации отходов строительной промышленности.

Гипотеза обеспечиваемого инновациями экологически безопасного развития ОКС заключается в интерпретации изменения параметров окружающей среды под воздействием объекта в форме однородного дифференциального уравнения, описывающего траекторию «движения» системы «объект – среда» в многопараметрическом информационном пространстве среды жизнедеятельности [2].

В соответствии со Стратегией социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года [6] в диссертациях 2.1.14. «Управление жизненным циклом объектов строительства» и 2.10.2. «Экологическая безопасность» решаются различные исследовательские задачи, связанные с использованием моделирования и искусственного интеллекта.

Т.В. Майорова в кандидатской диссертации «Методический инструментальный оценки эффективности экологического менеджмента в условиях реализации концепции низкоуглеродного развития» [7] разработала соответствующую методику.

Г.Е. Артамонов в кандидатской диссертации «Экологическая оценка углеродного и азотного следа по выбросам газов объектов тепловой энергетики в условиях Российской Федерации» [8] применил иерархический кластерный анализ.

Автор А.Г. Терешин в докторской диссертации исследовал «Глобальные и региональные аспекты взаимосвязей в системе “энергетический комплекс — окружающая среда”» [9].

В кандидатской диссертации «Информационное моделирование жизненного цикла объекта капитального строительства» [10] А.В. Мищенко разработал информационную модель в строительной отрасли с применением информационной модели.

Елшами Мохамед Мостафа Махмуд в кандидатской диссертации «Управление жизненным циклом автомобильных дорог на этапе эксплуатации на основе моделей искусственных нейронных сетей» [11] разработал и на основе полученных экспериментальных данных провел обучение разработанных моделей искусственных нейронных сетей [11]. Выполнено обучение моделей искусственных нейронных сетей, разработанных с использованием программ: Neural Tools и MATLAB для прогнозирования эксплуатационных характеристик и интегрального уровня сохранности автомобильной дороги [11].

В кандидатской диссертации [12] А.О. Рыбакова разработала модель классификации модульных элементов максимальной готовности (МЭМГ).

А.А. Шашков в кандидатской диссертации «Формирование организационной структуры про-

екта при крупноблочном возведении АЭС» [13] предложил диаграмму распределения трудозатрат на возведение ЖБК реакторного здания АЭС в зависимости от доли применения армоблоков.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Метод формирования устойчивых систем управления на основе решений оптимизирующей экологической задачи показал теоретическую возможность формирования устойчивых систем строительства, однако требуется экспериментальное подтверждение достоверности этого вывода.

Информационное моделирование в строительной отрасли в условиях стохастических воздействий изменения климата, дефицита пресной воды, нехватки рабочей силы и санкционного разрыва многих логистических связей — это сложная и многогранная проблема, которая требует комплексного подхода и интеграции многих аспектов [14]. Одним из ключевых аспектов информационного моделирования ЖЦ цикла объекта является учет стохастических воздействий изменения климата [15]. Это может включать моделирование изменений температуры, осадков, ветра и других факторов, которые могут повлиять на строительство и эксплуатацию объекта. Другой важный аспект — учет дефицита пресной воды [16]. В условиях ограниченного доступа к водным ресурсам необходимо учитывать потребности объекта в воде и принимать меры по ее эффективному использованию и утилизации. Также важным аспектом служит учет нехватки рабочей силы. При ограниченном доступе к квалифицированным специалистам следует оптимизировать процессы строительства и эксплуатации объекта, а также использовать новые технологии и материалы, которые могут сократить потребность в рабочей силе [17]. Наконец, санкционный разрыв многих логистических связей может привести к проблемам с поставками материалов и оборудования. Поэтому важно учитывать этот фактор при планировании и управлении строительством объекта [18]. Все эти аспекты в условиях стохастических воздействий изменения климата, дефицита пресной воды, нехватки рабочей силы и санкционного разрыва многих логистических связей являются сложными и многогранными проблемами, которые требуют комплексного подхода и интеграции многих аспектов.

Один из ключевых аспектов оптимизации строительных проектов — учет экологических факторов [14]. Экологическая безопасность на ЖЦ строительных объектов определяется исходя из факторов, таких как выбор материалов, энергоэффективность здания, использование возобновляемых источников энергии, минимизация отходов и выбросов вредных веществ [15]. Для определения экологической безопасности на ЖЦ строительных объектов применяются различные методы и инструменты, такие

как экологическая оценка проектов, системы управления качеством и экологическим менеджментом, анализ рисков и т.д. [16]. Важным аспектом определения экологической безопасности на ЖЦ строительных объектов является учет изменений климата и других экологических факторов. Это позволяет принимать меры по адаптации объектов к изменяющимся условиям. Оптимизация строительных проектов и определение экологической безопасности на ЖЦ строительных объектов — сложные проблемы, которые требуют комплексного подхода и интеграции многих аспектов [17, 18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Из анализа следует, что одно из самых перспективных направлений в развитии исследований по научным специальностям ВАК 2.10.2 «Экологическая безопасность (технические науки)» и 2.1.14. «Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)» — разработка научно обоснованных организационно-технических решений, обеспечивающих эффективное управление ЖЦ для минимизации рисков менеджмента.

Сложность задачи оптимизации строительных проектов определяется их спецификой. Высокая ресурсоемкость, подвижность используемых ресурсов (персонал, техника и др.) значительно усложняют задачу оптимизации и требуют учета факторов пространственного и временного моделирования [18].

В рассмотренных исследованиях представлены методы экологической оптимизации воздействий: графический метод создания области допустимых воздействий путем решения задач линейного программирования; модель идентификации опасных воздействий симплексным методом; метод формирования устойчивых систем управления экологической безопасностью строительства. На численных примерах проиллюстрированы возможности математического моделирования нагрузок на окружающую среду на этапах ЖЦ строительных объектов [19].

Рассмотрены линейные уравнения действия с ограничениями и с двумя переменными факторами влияния. Если перейти к линейным зависимостям с тремя переменными факторами влияния, то они будут описывать плоскость в трехмерном пространстве воздействия; система линейных ограничений представляет собой многогранник как область допустимых воздействий в трехмерном пространстве воздействия, показана его эффективность и наглядность в сравнении с результатами, полученными расчетным путем [20].

Наиболее эффективной является разработка систем управления экологической безопасностью строительства, связанных с источниками отходов, а также управления составом и обработкой потоков отходов с целью предотвращения образования отходов строительной отрасли [21].

Методы влияния экологических и других видов рисков будут продолжать развиваться в будущем. В настоящее время существуют различные подходы к управлению ЖЦ объектов, включая методы управления проектами, системы управления качеством и экологическим менеджментом [22, 23]. Одним из ключевых направлений развития методов является интеграция экологических аспектов. Это позволит минимизировать воздействие на окружающую среду и снизить риски возникновения экологических катастроф. Кроме того, будут разрабатываться новые методы управления рисками, которые позволят более точно оцени-

вать возможные угрозы и принимать меры по их предотвращению [24]. Например, использование технологий искусственного интеллекта и анализа больших данных может помочь в определении наиболее вероятных рисков и выборе оптимальных стратегий управления ими [24]. Также важным направлением развития методов служит повышение эффективности использования ресурсов и снижение затрат на строительство и эксплуатацию объектов. Для этого будут применяться новые технологии и материалы, а также оптимизироваться процессы строительства и эксплуатации объектов [22, 23].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Slesarev M.Y., Telichenko V.I.* Prospects for the development of the regulatory framework of information systems for “green” standardization // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2020. Vol. 16. Issue 4. Pp. 92–102. DOI: 10.22337/2587-9618-2020-16-4-92-102
2. *Слесарев М.Ю.* Формирование систем экологической безопасности строительства. М. : МГСУ, 2012. 350 с.
3. *Slesarev M., Pankratov E., Fedorov V.* Mathematical model of innovative sustainability “green” construction object // *MATEC Web of Conferences*. 2016. Vol. 86. P. 01022. DOI: 10.1051/mateconf/20168601022
4. *Слесарев М.Ю.* Стохастическое прогнозирование динамики экологических процессов мегаполисов // *Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании* : сб. мат. Междунар. науч. конф. 2015. С. 270–272. EDN TSSLGR.
5. *Slesarev M.* Environmental graphic method for creating area of permissible impact // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 365. P. 022055. DOI: 10.1088/1757-899X/365/2/022055
6. *Суворова М.О.* Управление жизненным циклом объектов капитального строительства для достижения углеродной нейтральности строительного производства : дис. ... канд. техн. наук. Белгород, 2023. 165 с. EDN AVWPSS.
7. *Майорова Т.В.* Методический инструментарий оценки эффективности экологического менеджмента в условиях реализации концепции низкоуглеродного развития : дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2017. 171 с. EDN DYUPGZ.
8. *Артамонов Г.Е.* Экологическая оценка углеродного и азотного следа по выбросам газов объектов тепловой энергетики в условиях Российской Федерации : дис. ... канд. наук. М., 2023. 163 с.
9. *Терешин А.Г.* Глобальные и региональные аспекты взаимосвязей в системе «энергетический комплекс — окружающая среда» : дис. ... д-ра техн. наук. М., 2010. 306 с.
10. *Мищенко А.В.* Информационное моделирование жизненного цикла объекта капитального строительства : дис. ... канд. наук. Воронеж, 2023. 162 с. EDN HGAUQD.
11. *Елшамы Мохамед Мостафа Махмуд.* Управление жизненным циклом автомобильных дорог на этапе эксплуатации на основе моделей искусственных нейронных сетей : дис. ... канд. наук. Ростов н/Д, 2022. 150 с.
12. *Рыбакова А.О.* Использование информационных моделей модульных элементов на этапе архитектурно-строительного проектирования объектов капитального строительства : дис. ... канд. наук. М., 2023. 201 с. EDN DHJXLQ.
13. *Шашков А.А.* Формирование организационной структуры проекта при крупноблочном возведении АЭС : дис. ... канд. наук. М., 2023. 197 с.
14. *Zaehle S., Friend A.D., Friedlingstein P., Dentener F., Peylin P., Schulz M.* Carbon and nitrogen cycle dynamics in the O-CN land surface model: 2. Role of the nitrogen cycle in the historical terrestrial carbon balance // *Global Biogeochemical Cycles*. 2010. Vol. 24. Issue 1. DOI: 10.1029/2009gb003522
15. *Gregory J.M., Jones C.D., Cadule P., Friedlingstein P.* Quantifying carbon cycle feedbacks // *Journal of Climate*. 2009. Vol. 22. Issue 19. Pp. 5232–5250. DOI: 10.1175/2009jcli2949.1
16. *Feddema J., Oleson K., Bonan G., Mearns L., Washington W., Meehl G. et al.* A comparison of a GCM response to historical anthropogenic land cover change and model sensitivity to uncertainty in present-day land cover representations // *Climate Dynamics*. 2009. Vol. 25. Issue 6. Pp. 581–609. DOI: 10.1007/s00382-005-0038-z
17. *Gerber S., Hedin L.O., Oppenheimer M., Pacala S.W., Shevliakova E.* Nitrogen cycling and feedbacks in a global dynamic land model // *Glob-*

al Biogeochemical Cycles. 2010. Vol. 24. Issue 1. DOI: 10.1029/2008gb003336

18. Yang X., Wittig V., Jain A.K., Post W. Integration of nitrogen cycle dynamics into the Integrated Science Assessment Model for the study of terrestrial ecosystem responses to global change // Global Biogeochemical Cycles. 2009. Vol. 23. Issue 4. DOI: 10.1029/2009gb003474

19. Yokohata T., Webb M.J., Collins M., Williams K.D., Yoshimori M., Hargreaves J.C. et al. Structural similarities and-differences in climate responses to CO₂ increase between two perturbed physics ensembles // Journal of Climate. 2010. Vol. 23. Issue 6. Pp. 1392–1410. DOI: 10.1175/2009jcli2917.1

20. Yurova A.Yu., Volodin E.M., Agren G.I., Cher-tov O.G., Komarov A.S. Effects of variations in simulated changes in soil carbon contents and dynamics on future climate projections // Global Change Biology. 2010. Vol. 16. Issue 2. Pp. 823–835. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.01992.x

21. Bobrovnik A.B., Slesarev M.Yu., Shershneva M.V. Thermodynamic Foundations for the Use of

Gypsum and Magnesia Stone for the Neutralization of Heavy Metal Ions // Materials Science Forum. 2023. Vol. 1088. Pp. 79–87. DOI: 10.4028/p-e5cx04

22. Теличенко В.И., Слесарев М.Ю. Искусственный интеллект в технологии создания инноваций // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений : тез. докл. VIII-го Междунар. симпозиума. 2023. С. 104–106. EDN MWSNSP.

23. Теличенко В.И., Лapidус А.А., Слесарев М.Ю. Анализ и синтез образов экологически ориентированных инновационных технологий строительного производства // Вестник МГСУ. 2023. № 18 (8). С. 1298–1305. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1298-1305. EDN RNDACL.

24. Теличенко В.И., Лapidус А.А., Слесарев М.Ю. Риски интеграции технологий искусственного интеллекта в «зеленые» стандарты // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 8. С. 102–108. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.08.102-108. EDN ARDRBK.

Поступила в редакцию 25 декабря 2023 г.

Принята в доработанном виде 14 января 2024 г.

Одобрена для публикации 18 февраля 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: Валерий Иванович Теличенко — доктор технических наук, профессор, президент, заслуженный деятель науки Российской Федерации; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 5618-7033, President@mgsu.ru;

Азарий Абрамович Лapidус — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и организации строительного производства; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 8192-2653, Scopus: 57192378750, ResearcherID: B-4104-2016, ORCID: 0000-0001-7846-5770; Lapidusaa@mgsu.ru;

Михаил Юрьевич Слесарев — доктор технических наук, профессор кафедры технологии и организации строительного производства; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 6464-2922, Scopus: 657608631, ResearcherID: B-3423-2016, ORCID: 0000-0003-4528-2817; Slesarev@mgsu.ru;

Мозаффар Мохаммад Али — аспирант кафедры технологии и организации строительного производства; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; m.mozaffari2021@gmail.com.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

The purpose of research on scientific specialties HAC 2.10.2 “Environmental safety (technical sciences)” and 2.1.14. “Management of life cycle of construction objects (technical sciences)” is to carry out environmental assessment of carbon and nitrogen footprint by technical objects in the conditions of the country. Objectives may include:

1. Formation of databases of indicators of capital construction facilities (CCF) with geographical reference to ecosystems.

2. Typing of CCF by the level of environmental impact of emissions.

3. Ecological assessment of the carbon footprint of the investigated CCF.

4. Ecological assessment of the nitrogen footprint of CCF.

5. Ecological assessment of carbon and nitrogen footprint of CCF under different country conditions in specially protected areas.

6. Assessment of the CCF compliance with “green standards” on greenhouse gas emissions.

The purpose of this study is to review the methods of life cycle management (LC) of CCF taking into account the impact of environmental and other types of risks.

The main question addressed in the paper is how methods will evolve to take into account the impact of environmental and other types of risks.

Research objectives: 1) review of international and domestic regulatory documents on methods; 2) analysis of innovative methods taking into account the impact of environmental and other types of risks in dissertations in this area.

MATERIALS AND METHODS

Environmental management and risk management methodology is mainly based on international management standards:

1. Environmental management:

- ISO 14001:2015. Environmental management systems — Requirements with guidance for use. (ISO 14001:2015. Environmental management systems — Requirements and guidance for use). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14004. Environmental management systems — General guidelines on implementation. (ISO 14004. Environmental management systems. General guidelines on implementation). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14005. Environmental management systems — Guidelines for the phased implementation of an environmental management system, including the use of environmental performance evaluation. (ISO 14005. Environmental management systems — Guidelines for the phased implementation of an environmental management system, including the use of environmental performance evaluation). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14006. Environmental management systems. Guidelines for incorporating ecodesign. (ISO 14006. Environmental management systems. Guidelines for incorporating eco-design). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14020. Environmental labels and declarations. General principle. (ISO 14020. Environmental labels and declarations. General principle). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14021. Environmental labels and declarations — Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling). (ISO 14021. Environmental labels and declarations — Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling)). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14024. Environmental labels and declarations — Type I environmental labeling — Principles and procedures. (ISO 14024. Environmental labels and declarations — Type I environmental labeling — Principles and procedures). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14025. Environmental labels and declarations — Type III environmental declarations — Principles and procedures. (ISO 14025. Environmental labels and declarations — Type III environmental declarations — Principles and procedures). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14031. Environmental management. Environmental performance evaluation. Guidelines. (ISO 14031. Environmental management. Environmental performance evaluation. Guidelines). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14033. Environmental management. Quantitative environmental information. Guidelines and examples. (ISO 14033. Environmental management. Quantitative environmental data. Guidelines and examples). URL: <https://www.iso.org/home.html>

2. Risk management:

- ISO 14040. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework. (ISO 14040. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14044. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines. (ISO 14044. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14045. Environmental management. Eco-efficiency assessment of product systems. Principles, requirements and guidelines (ISO 14045. Environmental management. Eco-efficiency assessment of product systems. Principles, requirements and guidelines). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14046. Environmental management. Water footprint. Principles, requirements and guidelines. (ISO 14046. Environmental management. Water footprint. Principles, requirements and guidelines). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO/TR14062. Environmental management. Integrating environmental aspects into product design and development. (ISO/TR 14062. Environmental management. Integrating environmental aspects into product design and development). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14063. Environmental management. Environmental communication. Guidelines and examples. (ISO 14063. Environmental management. Environmental information exchange. Guidelines and examples). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO/TS 14067. Greenhouse gases. Carbon footprint of products. Requirements and guidelines for quantification and communication. (ISO/TS 14067.

Greenhouse gases. Carbon footprint of products. Requirements and guidelines for quantification and communication). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 19011. Guidelines for auditing management systems. (ISO 19011. Guidelines for auditing management systems). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 26000. Guidance on social responsibility. (ISO 26000. Guidance on social responsibility). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 31000. Risk management. Principles and guidelines. (ISO 31000. Risk management. Principles and guidelines). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 50001. Energy management systems. Requirements with guidance for use. (ISO 50001. Energy management systems. Requirements with guidance for use). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO Guide 73:2009. Risk management — Vocabulary — Guidelines for use in standards. (ISO 73:2009. Risk management — Terms and definitions). URL: <https://www.iso.org/home.html>.

Management methods taking into account the impact of environmental and other types of risks can be based on environmental management and risk management standards that have been actively implemented in our country for more than 25 years. The list of these standards includes national standards of Russia GOST R ISO:

- GOST R ISO 14001–2016. Environmental management systems. Requirements and guidelines for application;

- GOST R ISO 14002–2022. Environmental management systems. Guidance on the application of ISO 14001 for the consideration of environmental aspects and conditions within an environmental topic area. Part 1. General provisions;

- GOST R ISO 14004–2017. Environmental management systems. General guidelines for implementation;

- GOST R ISO 14005–2019. Environmental management systems. Guidelines for application of flexible approach of phased implementation of environmental management system;

- GOST R ISO 14006–2013. Environmental management systems. Guidelines for inclusion environmental standards in design;

- GOST R ISO 14007–2020. Environmental management. Guidelines for determining environmental costs and benefits;

- GOST R ISO 14008–2019. Monetary assessment of environmental impact and relevant environmental aspects;

- GOST R ISO 14009–2021. Environmental management systems. Guidelines for accounting of material flow in design and development processes;

- GOST R ISO 14010–98. Guidelines for environmental audit. Basic principles.

And other standards of environmental management and risk management at all stages, including survey, de-

sign, construction, operation, renovation and utilization of the facility. The listed standards refer to the standardization of the following management procedures in the life cycle: “Development and Implementation of Environmental Management Systems”, “Requirements and Guidelines for the Application of Environmental Management Systems”, “General Guidelines for the Implementation of Environmental Management Systems”, “Guidelines for the Application of a Flexible Approach for the Phased Implementation of an Environmental Management System”, “Guidelines for the Incorporation of Environmental Norms in Design”, “Guidelines for the Accounting of Material Flow in Processes”, “Guidelines for the Incorporation of Environmental Norms in Processes” and other norms and regulations. “Basic Principles” and other norms and regulations [1].

Methods of environmental impact optimization include, among others: a graphical method of creating the area of permissible impacts by solving linear programming problems [2]; a model of hazardous impact identification by simplex method [2]; a method of forming sustainable management systems for environmental safety of construction [2–5]. Simple numerical examples illustrate the possibilities of mathematical modelling of environmental loads at the stages of the life cycle of construction projects. In these works, linear action equations with constraints and with two variable influence factors are considered. When passing to linear relationships with three variable influence factors, they will describe a plane in the three-dimensional impact space; the system of linear constraints represents a polyhedron as a region of permissible impacts in the three-dimensional impact space.

The most effective is the development of environmental safety management systems for CCF related to sources, definitions and categories of waste, as well as the composition and treatment of waste streams, in order to promote waste prevention, the establishment and implementation of waste prevention and minimization mechanisms, and the recovery and recycling of the construction industry waste management system.

The hypothesis of ecologically safe development of CCF provided by innovations consists in the interpretation of changes in environmental parameters under the influence of the object in the form of a homogeneous differential equation describing the trajectory of “movement” of the system “object – environment” in the multi-parameter information space of the living environment [2].

In accordance with the Strategy for Low Greenhouse Gas Emissions Socio-Economic Development of Russia until 2050 [6], various research problems related to the use of modelling and artificial intelligence are addressed in theses 2.1.14. “Construction Project Life Cycle Management” and 2.10.2. “Environmental Safety”.

T.V. Mayorova in her PhD thesis “Methodological tools for assessing the effectiveness of environmental management in the implementation of the concept of

low-carbon development” [7] developed the relevant methodology.

G.E. Artamonov in his PhD thesis “Ecological assessment of carbon and nitrogen footprint of gas emissions from thermal power facilities in the conditions of the Russian Federation” [8] applied hierarchical cluster analysis [8].

The author A.G. Tereshin in his doctoral thesis investigated “Global and regional aspects of interrelations in the system «energy complex – environment»” [9].

In his Ph.D. thesis, “Information modelling of the life cycle of the capital construction object” [10] A.V. Mishchenko developed an information model in the construction industry with the application of information model.

Elshami Mohamed Mostafa Mahmoud in his PhD thesis “Life cycle management of motorways at the operational stage on the basis of artificial neural network models” [11] developed and trained the developed artificial neural network models on the basis of experimental data [11]. Training of artificial neural network models developed using the following programmes: Neural Tools and MATLAB for predicting the operational characteristics and integral level of road safety [11].

In her PhD thesis [12], A.O. Rybakova developed a classification model for modular elements of maximum availability (MEMG).

A.A. Shashkov in his Ph.D. thesis “Formation of the project organizational structure for large-block construction of NPP” [13] proposed a diagram of labour cost distribution for the NPP reactor building reinforced concrete construction depending on the share of reinforced blocks used.

RESEARCH RESULTS

The method of formation of sustainable management systems on the basis of solutions to the optimizing environmental problem has shown the theoretical possibility of forming sustainable building systems, but experimental confirmation of the validity of this conclusion is required.

Information modelling in the construction industry under the conditions of stochastic impacts of climate change, fresh water scarcity, labour shortage and sanctions breakdown of many logistic links is a complex and multifaceted problem that requires a comprehensive approach and integration of many aspects [14]. One of the key aspects of information modelling of the facility life cycle is to take into account the stochastic impacts of climate change [15]. This may include modelling changes in temperature, precipitation, wind and other factors that may affect the construction and operation of a facility. Another important aspect is to consider freshwater scarcity [16]. With limited access to water resources, it is necessary to consider the water requirements of the facility and take measures for its efficient utilization and disposal. Consideration of la-

bour shortage is also an important aspect. With limited access to skilled labour, the construction and operation processes of the facility should be optimized, and new technologies and materials that can reduce the need for labour should be used [17]. Finally, the sanctions breakdown of many logistical links can lead to problems with the supply of materials and equipment. Therefore, it is important to take this factor into account when planning and managing the construction of the facility [18]. All these aspects under the stochastic impacts of climate change, fresh water scarcity, labour shortages and sanctions breakdown of many logistic linkages are complex and multifaceted problems that require a comprehensive approach and integration of many aspects.

One of the key aspects of optimizing construction projects is the consideration of environmental factors [14]. Environmental safety in the life cycle of construction projects is determined based on factors such as material selection, energy efficiency of the building, use of renewable energy sources, minimization of waste and emissions of harmful substances [15]. Various methods and tools such as environmental assessment of projects, quality and environmental management systems, risk analysis, etc. are used to determine the environmental safety in the life cycle of construction projects [16]. An important aspect of determining environmental safety in the life cycle of construction projects is the consideration of climate change and other environmental factors. This allows taking measures to adapt objects to changing conditions. Optimization of construction projects and determination of environmental safety in the life cycle of construction projects are complex problems that require a comprehensive approach and integration of many aspects [17, 18].

CONCLUSION AND DISCUSSION

It follows from the analysis that one of the most promising directions in the development of research in the scientific specialties of HAC 2.10.2 “Environmental safety (technical sciences)” and 2.1.14. “Management of the life cycle of construction objects (technical sciences)” is the development of scientifically sound organizational and technical solutions that ensure effective management of the life cycle to minimize management risks.

The complexity of the task of optimization of construction projects is determined by their specificity. High resource intensity, mobility of used resources (personnel, machinery, etc.) significantly complicate the optimization problem and require consideration of spatial and temporal modelling factors [18].

The reviewed studies present methods of environmental impact optimization: a graphical method of creating the area of permissible impacts by solving linear programming problems; a model of hazardous impact identification by simplex method; a method of forming sustainable management systems for environmental

safety of construction. Numerical examples illustrate the possibilities of mathematical modelling of environmental loads at the stages of the life cycle of construction projects [19].

Linear action equations with constraints and with two variable influence factors are considered. If we pass to linear dependencies with three variable influence factors, they will describe a plane in the three-dimensional action space; the system of linear constraints represents a polyhedron as a region of permissible influences in the three-dimensional action space, its efficiency and clarity in comparison with the results obtained by calculation are shown [20].

The most effective is the development of construction environmental safety management systems related to waste sources, as well as the management of the composition and treatment of waste streams in order to prevent the formation of construction industry waste [21].

Methods for influencing environmental and other types of risks will continue to evolve in the future. Cur-

rently, there are various approaches to managing the life cycle of facilities, including project management methods, quality management systems, and environmental management [22, 23]. One of the key areas of method development is the integration of environmental aspects. This will minimize the environmental impact and reduce the risks of environmental disasters. In addition, new methods of risk management will be developed, which will make it possible to assess possible threats more accurately and take measures to prevent them [24]. For example, the use of artificial intelligence technologies and big data analysis can help in identifying the most probable risks and selecting optimal strategies to manage them [24]. In addition, an important direction in the development of methods is to improve the efficiency of resource utilization and reduce the cost of construction and operation of facilities. For this purpose, new technologies and materials will be used, as well as the processes of construction and operation of facilities will be optimized [22, 23].

REFERENCES

1. Slesarev M.Y., Telichenko V.I. Prospects for the development of the regulatory framework of information systems for “green” standardization. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2020; 16(4):92-102. DOI: 10.22337/2587-9618-2020-16-4-92-102
2. Slesarev M.Yu. *Formation of systems of ecological safety of construction*. Moscow, MGSU, 2012; 350. (rus.).
3. Slesarev M., Pankratov E., Fedorov V. Mathematical model of innovative sustainability “green” construction object. *MATEC Web of Conferences*. 2016; 86:01022. DOI: 10.1051/mateconf/20168601022
4. Slesarev M.Yu. Stochastic forecasting of dynamics of ecological processes of the megalopolises. *Integration, partnership and innovation in construction science and education : collection of materials from the International Scientific Conference*. 2015; 270-272. EDN TSSLGR. (rus.).
5. Slesarev M. Environmental graphic method for creating area of permissible impact. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 365:022055. DOI: 10.1088/1757-899X/365/2/022055
6. Suvorova M.O. *Life cycle management of capital construction facilities to achieve carbon neutrality of construction production : dissertation of the candidate of technical sciences*. Belgorod, 2023; 165. EDN AVWPSS. (rus.).
7. Mayorova T.V. *Methodological tools for evaluating the effectiveness of environmental management in the context of the implementation of the concept of low carbon development : dissertation of the candidate of technical sciences*. Ekaterinburg, 2017; 171. EDN DYUPGZ. (rus.).
8. Artamonov G.E. *Ecological assessment of the carbon and nitrogen footprint of gas emissions from thermal energy facilities in the conditions of the Russian Federation : dissertation of the candidate of sciences*. Moscow, 2023; 163. (rus.).
9. Tereshin A.G. *Global and regional aspects of interconnections in the energy complex — environment system : dissertation of the doctor of technical sciences*. Moscow, 2010; 306. (rus.).
10. Mishchenko A.V. *Information modeling of the life cycle of a capital construction facility : dissertation of the candidate of sciences*. Voronezh, 2023; 162. EDN HGAUQD. (rus.).
11. Elshami Mohamed Mostafa Mahmoud. *Management of the life cycle of highways at the operational stage based on models of artificial neural networks : dissertation of the candidate of sciences*. Rostov-on-Don, 2022; 150. (rus.).
12. Rybakova A.O. *The use of information models of modular elements at the stage of architectural and construction design of capital construction facilities : dissertation of the candidate of sciences*. Moscow, 2023; 201. EDN DHJXLQ. (rus.).
13. Shashkov A.A. *Formation of the organizational structure of the project during large-block construction of nuclear power plants : dissertation of the candidate of sciences*. Moscow, 2023; 197. (rus.).
14. Zaehle S., Friend A.D., Friedlingstein P., Dentener F., Peylin P., Schulz M. Carbon and nitrogen cycle dynamics in the O-CN land surface model: 2. Role of the nitrogen cycle in the historical terrestrial carbon

balance. *Global Biogeochemical Cycles*. 2010; 24(1). DOI: 10.1029/2009gb003522

15. Gregory J.M., Jones C.D., Cadule P., Friedlingstein P. Quantifying carbon cycle feedbacks. *Journal of Climate*. 2009; 22(19):5232-5250. DOI: 10.1175/2009jcli2949.1

16. Feddema J., Oleson K., Bonan G., Mearns L., Washington W., Meehl G. et al. A comparison of a GCM response to historical anthropogenic land cover change and model sensitivity to uncertainty in present-day land cover representations. *Climate Dynamics*. 2009; 25(6):581-609. DOI: 10.1007/s00382-005-0038-z

17. Gerber S., Hedin L.O., Oppenheimer M., Pacala S.W., Shevliakova E. Nitrogen cycling and feedbacks in a global dynamic land model. *Global Biogeochemical Cycles*. 2010; 24(1). DOI: 10.1029/2008gb003336

18. Yang X., Wittig V., Jain A.K., Post W. Integration of nitrogen cycle dynamics into the integrated science assessment model for the study of terrestrial ecosystem responses to global change. *Global Biogeochemical Cycles*. 2009; 23(4). DOI: 10.1029/2009gb003474

19. Yokohata T., Webb M.J., Collins M., Williams K.D., Yoshimori M., Hargreaves J.C. et al. Structural similarities and-differences in climate responses to CO₂ increase between two perturbed physics ensembles. *Journal of Climate*. 2010; 23(6):1392-1410. DOI: 10.1175/2009jcli2917.1

20. Yurova A.Yu., Volodin E.M., Agren G.I., Chertov O.G., Komarov A.S. Effects of variations in simulated changes in soil carbon contents and dynamics on future climate projections. *Global Change Biology*. 2010; 16(2):823-835. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.01992.x

21. Bobrovnik A.B., Slesarev M.Yu., Shersheva M.V. Thermodynamic foundations for the use of gypsum and magnesia stone for the neutralization of heavy metal ions. *Materials Science Forum*. 2023; 1088:79-87. DOI: 10.4028/p-e5cx04

22. Telichenko V.I., Slesarev M.Yu. Artificial intelligence in the technology of creating innovations. *Actual problems of computer modeling of structures and structures : abstracts of the VIII-th International Symposium*. 2023; 104-106. EDN MWSNSP. (rus.).

23. Telichenko V.I., Lapidus A.A., Slesarev M.Yu. Analysis and synthesis of images of environmentally oriented innovative technologies of construction production. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2023; 18(8):1298-1305. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1298-1305. EDN RNDACL. (rus.).

24. Telichenko V.I., Lapidus A.A., Slesarev M.Yu. Risks of integrating artificial intelligence technologies into “green” standards. *Industrial and Civil Engineering*. 2023; 8:102-108. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.08.102-108. EDN ARDRBK. (rus.).

Received December 25, 2023.

Adopted in revised form on January 14, 2024.

Approved for publication on February 18, 2024.

BIONOTES: **Valery I. Telichenko** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Science of the Russian Federation, President; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 5618-7033; President@mgsu.ru;

Azariy A. Lapidus — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technology and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 8192-2653, Scopus: 57192378750, ResearcherID: B-4104-2016; ORCID: 0000-0001-7846-5770; Lapidusaa@mgsu.ru;

Mikhail Yu. Slesarev — Doctor of Technical Sciences, Professor, Laureate of the Government of the Russian Federation Education Prize, Professor of the Department of Technology and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 6464-2922, Scopus: 657608631, ResearcherID: B-3423-2016, ORCID: 0000-0003-4528-2817; Slesarev@mgsu.ru;

Mozaffari Mohammad Ali — postgraduate student of the Department of Technology and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; m.mozaffari2021@gmail.com.

Contribution of the authors: all authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that they have no conflicts of interest.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЛОГИСТИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 338.4

DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.178-194

Применение метода канбан для анализа потока проектов в крупной подрядной организации строительного сектора

Александра Евгеньевна Лебедева, Ирина Викторовна Каракозова

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Крупные подрядные организации строительного сектора характеризуются наличием значительного количества одновременно реализуемых проектов, что усложняет работу компаний и повышает требования к организации слаженной работы всех ее подразделений. В связи с чем целесообразно использовать различные инструменты управления производственными процессами, основанными на применении наглядных инструментов анализа полученных данных. Метод канбан, изначально разработанный для управления производством, приобрел популярность в IT-индустрии, однако его применение в строительной отрасли, в том числе в менеджменте, остается малоизученным и не получило отражение в научной литературе.

Материалы и методы. Проведен анализ потока проектов крупной подрядной организации, специализирующейся на строительстве инженерных сетей, с применением метода канбан.

Результаты. Произведен расчет основных метрик канбан-системы, построены диаграммы на основе данных о выполненных этапах реализации проектов в рассматриваемой компании.

Выводы. Рассматриваются преимущества и ограничения использования метода канбан для управления потоком строительных проектов в крупной подрядной организации. По итогам проведенного исследования подготовлены предложения по оптимизации процессов и улучшению согласованности работ в условиях постоянно растущего числа проектов в крупных подрядных организациях строительного сектора.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бережливое строительство, канбан-анализ, канбан-система, крупная подрядная организация, накопительная диаграмма потока

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Лебедева А.Е., Каракозова И.В. Применение метода канбан для анализа потока проектов в крупной подрядной организации строительного сектора // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. Вып. 2. С. 178–194. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.178-194

Автор, ответственный за переписку: Александра Евгеньевна Лебедева, uncea@yandex.ru.

Application of the kanban method to the analysis of project flow in a large contracting organization of the construction sector

Alexandra E. Lebedeva, Irina V. Karakozova

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

ABSTRACT

Introduction. Large contracting organizations in the construction sector are characterized by the presence of a significant number of simultaneously implemented projects, which complicates the work of companies and increases the requirements for the organization of well-coordinated work of all its departments. In this regard, it is advisable to use various production process management tools, as well as visual data analysis tools. The kanban method, originally developed for production management, has gained popularity in the IT industry, but its application in the construction industry remains poorly described in the scientific literature.

Materials and methods. A project flow analysis of a large contracting organization specializing in the construction of utility networks was carried out using the kanban method.

Results. The main metrics of the kanban system were calculated and diagrams were built based on data on the completed stages of project implementation in the company under consideration.

Conclusions. The advantages and limitations of using the kanban method to manage the flow of construction projects in a large contracting organization are considered. Based on the results of the study, proposals for optimizing processes and improving the consistency of work in the context of an ever-increasing number of projects in large contractors in the construction sector are prepared.

KEYWORDS: lean construction, kanban analysis, kanban system, large contracting organization, cumulative flow diagram

FOR CITATION: Lebedeva A.E., Karakozova I.V. Application of the kanban method to the analysis of project flow in a large contracting organization of the construction sector. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2024; 14(2):178-194. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.178-194

Corresponding author: Alexandra E. Lebedeva, uncea@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Традиционно строительное производство рассматривается как совокупность работ, реализация которых направлена на достижение целей проекта. Этот взгляд на процесс строительного производства присутствует как в традиционных методах организации строительства, так и в современных, однако такой подход имеет ряд недостатков [1]. Альтернативой традиционному подходу выступает рассмотрение строительного производства как совокупности потоковых процессов по созданию ценностей и связанных с этим издержек.

Реализация строительного проекта включает два основных процесса:

- подготовительный, представляющий собой поэтапное уточнение технических условий, где потребности и желания заказчика преобразуются в требования, а затем в подробные проекты. Одновременно он является процессом выявления проблем и рисков, связанных с реализацией проекта, а также выработки путей их решения;
- процесс реализации проекта, состоящий из нескольких типов потоков: поставки и обработки материалов, рабочих процессов строительных бригад, других, связанных с контролем и поддержанием основных процессов (авторский и технадзор, управление проектом и др.).

Перечисленные этапы характеризуются их стоимостью, качеством и продолжительностью, которые необходимо измерять и контролировать.

Рост подрядной строительной компании сопряжен с увеличением числа проектов, работы на которых происходят одновременно, что влечет за собой большой поток информации внутри подрядной компании, которую необходимо обрабатывать. На практике часто возникают проблемы с обменом информацией между подразделениями компании, а также большим числом различных табличных форм для хранения и систематизации информации о процессах, так как большой объем информации становится сложным для обработки и восприятия сотрудниками. Для облегчения обмена информацией существует достаточное количество программных продуктов, однако их внедрение и применение в такой консервативной области как строительное производство остается на низком уровне, особенно в части управления проектами и контроля стоимости¹ [2–14].

¹ Сервис АвтоБОП. URL: <https://pik.digital/blog/120>

Достижение баланса между производственными мощностями и заказами, а также равномерной загрузки сотрудников является сложной практической задачей. Таким образом, возникает потребность в создании единой и визуализированной системы управления потоком проектов в подрядной организации, что подтверждает актуальность темы исследования.

В данной статье рассматривается организация работы по реализации проектов в крупной подрядной организации (КПО) как поточной системы, элементами которой служат объекты строительства. Исследование проведено с целью оценки применения канбан-системы для организации потока работы в КПО строительного сектора.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Метод канбан, разработанный японской компанией Toyota в 1950-х гг. и ставший одним из ключевых элементов системы бережливого строительства Lean [14], представляет собой системный подход к управлению производством. Этот метод призван оптимизировать производственные и бизнес-процессы, устраняя избыточные ресурсы и повышая эффективность.

Метод канбан, согласно работе [14], — это метод для определения, управления и совершенствования процессов, он широко применяется с целью создания поточных систем и их управления. В соответствии с исследованиями, проведенными в Agile-организациях [14], канбан используется как самостоятельно, так и в совокупности с другими системами, например с системой Scrum.

Канбан, как информационная система, позволяет объединить в единое целое все подразделения компании, установить между ними связи, а также связи между различными процессами, после чего координировать поток создания ценности в соответствии с имеющимся спросом [14].

В переводе с японского канбан означает «запись» или «табличка». Компания Toyota создала и внедрила в практическую деятельность специальную карточку, выступающую в роли сигнала, информирующего о потребности в производстве дополнительного количества деталей [14]. Метод, разработанный компанией Toyota, получил название Lean и нашел широкое применение в производстве, а затем был адаптирован для строительства, таким образом, появился термин Lean construction или «бережливое строительство».

В научной литературе выделяют четыре основные концепции Lean как бережливого строительства: «точно в срок», создание непрерывного потока, постоянное улучшение и организация системы «вытягивающего производства» [14].

Первый принцип «точно в срок» означает работу без запасов: процесс производства должен быть обеспечен ресурсами в необходимом количестве и тогда, когда это необходимо — точно в срок без создания складов [14].

Принцип непрерывного потока означает, что производственные потоки не должны останавливаться. Его непрерывность должна быть гарантирована посредством систематического краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного планирования, в ходе которого определяется объем работ, который должен быть произведен.

Система «вытягивающего производства» представляет собой схему организации производства, при которой объем работ и сроки на каждом производственном этапе устанавливаются потребностями последующих этапов, а в конечном итоге — потребностями заказчика. Так предотвращается накопление запасов или задач для подразделения, что приводит к оптимизации работы компании [1].

Принцип постоянного совершенствования — это стремление к совершенству, является ценным инструментом для контроля и улучшения процессов, в который должны быть вовлечены все сотрудники компании.

Особое внимание в концепции бережливого производства уделяется измерениям и мониторингу, поскольку постоянные измерения дают возможность обеспечить процесс совершенствования путем выявления потенциала для улучшения [1].

Стоит отметить, что концепция Lean также имеет особый подход к измерениям, который направлен на сокращение потерь [2, 3] времени и ресурсов, а также на оптимизацию процессов и сокращение времени на каждый процесс производственного потока. Данные измерений необходимы для нескольких целей: стимулирования внутреннего улучшения организации и сравнения проектов, а также определения целей в КПО.

Метод канбан предусматривает и внедрение циклов обратной связи для координации поставки и улучшения предоставления сервиса. Наиболее часто используемые инструменты для циклов обратной связи — регулярные встречи и обсуждения, которые называются каденциями.

Визуализация рабочих процессов. Метод канбан базируется на визуализации нематериальной деятельности в целях организации правильной работы системы, а также для достижения баланса между производственными возможностями компании и заказами с помощью использования визуальных сигналов.

В зависимости от масштаба применения метода канбан-система может применяться по отношению к одному процессу или охватывать работу различных подразделений с разными уровнями детализации процессов и связей между ними.

Для визуализации работы при внедрении канбан-системы в компаниях используют карточки, которые размещают на канбан-доске (рис. 1). По мере завершения процессов карточка перемещается по столбцам в канбан-доске слева направо до завершения работ по карточке. Визуализация процесса может быть реализована как на физической доске, так и в цифровом формате с применением специального программного обеспечения.



Рис. 1. Пример физической канбан-доски

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В КПО, выбранной для анализа, используется информационная система для планирования и контроля выполнения ключевых событий проектов. На основе получаемых сведений о запланированных и выполненных событиях проведем анализ длительности этапов реализации проектов с визуализацией посредством построения диаграмм.

В качестве исходных данных, по которым проводился анализ и которые относятся к основным метрикам системы канбан, выступают следующие процессы:

- определение среднего времени производства (Lead Time — LT);
- установление времени ожидания заказчика (Customer Lead Time), период от заключения договора до сдачи объекта;
- определение скорости поставки;
- построение диаграммы рассеивания по времени завершения работ;
- построение накопительной диаграммы потока.

По результатам проведения анализа формулируются рекомендации по улучшению работы КПО.

Применительно к организации потока проектов в КПО карточками являются объекты строительства, которые проходят этапы от получения запроса от заказчика, его обработки и реализации, а затем сдачи объекта.

Внедрение метода канбан в работу КПО включает отдельные этапы, перечень и описание которых приведены в табл. 1.

Поскольку процесс строительного производства по своей сути является поточным, рассмотрим применение метода канбан для КПО, которая специализируется на строительстве инженерных сетей. Для реализации поставленной цели проанализируем подходы к организации работы в КПО.

Подрядные компании выполняют строительно-монтажные работы (СМР) и оказывают другие специализированные услуги по договору с заказчиком. Работу над проектом в КПО можно разделить на следующие последовательные этапы или вехи проекта, приведенные в табл. 2.

В зависимости от требуемой степени детализации можно выделить больше или меньше вех проекта, а также установить несколько уровней детализации и разработать цепочку процессов второго уровня для каждого из событий первого уровня. Таким образом, канбан-доска для КПО может выглядеть, как показано на рис. 2. Числа, указанные в скобках, означают лимит незавершенной работы для данного процесса.

В данной статье анализируется деятельность КПО, которая входит в состав группы компаний ПИК — крупнейшего застройщика в России. Для планирования и контроля выполнения ключевых событий в процессе строительства проекта — вех

Табл. 1. Этапы внедрения канбан-системы

Этап	Название	Описание
1	Исследование текущего состояния	Изучение текущего состояния бизнес-процессов в компании включает анализ существующих рабочих процессов, выявление узких мест и определение областей, где метод канбан может быть наиболее полезным
2	Визуализация процессов	Следующим шагом является визуализация бизнес-процессов с помощью канбан-досок. Каждый этап проекта или бизнес-процесса представляется в виде отдельной колонки на доске, а задачи обозначаются карточками. Этот способ позволяет всем участникам процесса видеть текущее состояние производимых работ и определять приоритеты
3	Управление потоком работы	Использование метода канбан дает возможность гибко управлять потоком работы. Когда новые задачи появляются, их можно добавить на доску, и команда начнет работу над ними, при этом учитывая приоритеты и доступные ресурсы. В канбан работу в процессе ограничивают, чтобы сбалансировать использование ресурсов и при этом обеспечивать поток работы
4	Мониторинг и оптимизация	Метод канбан также предоставляет инструменты для мониторинга производительности и оптимизации бизнес-процессов. Путем анализа времени выполнения задач и обработки данных с доски можно выявить узкие места и внести улучшения

Табл. 2. Этапы реализации проекта

Название этапа	Состав работ при реализации этапа
Подготовительный этап	• получение проектной документации; • расчет объемов работ; • определение цен на материалы (сбор коммерческих предложений от поставщиков) и составление лимитно-заборных карт (ЛЗК); • составление и согласование сметного расчета; • участие в тендере; • заключение договора с заказчиком; • подготовка бюджета проекта
Реализация проекта	• передача площадки строительства; • начало СМР; • окончание СМР; • сдача объекта и получение справок о соответствии и разрешений на ввод в эксплуатацию



Рис. 2. Пример канбан-доски для КПО

проекта в группе компаний разработан цифровой сервис «АвтоБОП» [14].

Система наглядно отображает процессы по каждому проекту с указанием сроков и ответственных сотрудников (рис. 3), что позволяет осуществлять планирование строительства объектов, создавать связанные цепочки событий объектов,

а также дает возможность загрузки документации по событиям и ее согласование (табл. 3).

Проанализируем вехи проектов методом канбан, используя данные о планируемых и выполненных событиях из системы «АвтоБОП» по объектам КПО, реализация которых осуществлялась в 2022 г. (табл. 4).

№	Название	Объект	Процесс	Статус	Дни	Причина
#18067	Окончание отделочных работ	Регионы г. Санкт-Петербург, 3-я улица Строителей, Дом 11	ПВК-Отделка Лукашин Е. М.	98	01.01.19	Прогноз 02.04.19
#18385	Окончание отделочных работ	Регионы г. Санкт-Петербург, 3-я улица Строителей, Дом 12	ПВК-Отделка Лукашин Е. М.	98	01.01.19	Факт 02.04.19
#18623	Окончание отделочных работ	Регионы г. Санкт-Петербург, 3-я улица Строителей, Дом 13	ПВК-Отделка Лукашин Е. М.	98	01.01.19	Прогноз 02.04.19
#87346	Окончание работ по внутренней инженерии	Регионы г. Санкт-Петербург, 3-я улица Строителей, Дом 14	ПВК-Отделка Лукашин Е. М.	98	01.01.19	Прогноз 02.04.19
#87348	Окончание работ по внутренней инженерии	Регионы г. Санкт-Петербург, 3-я улица Строителей, Дом 15	ПВК-Отделка Лукашин Е. М.	98	01.01.19	Прогноз 02.04.19

Рис. 3. Система «АвтоБОП»

Табл. 3. Реестр событий (вех проекта)

Объект	Передача рабочей документации (РД)	Расчет объема работ	Формирование ЛЗК	Подготовка бюджета проекта	Составление сметного расчета	Подписание договора	Начало СМР	Окончание СМР	Справки для заключения о соответствии разрешения на ввод
1	27.07.2022	29.07.2022	18.08.2022	22.09.2022	24.09.2022	24.09.2022	06.10.2022	20.07.2023	11.08.2022
2	10.05.2022	15.05.2022	17.05.2022	15.07.2022	29.06.2022	25.10.2022	30.06.2022	18.09.2023	—
3	14.03.2022	22.03.2022	29.03.2022	21.09.2022	26.05.2022	28.11.2022	27.05.2022	03.03.2023	04.09.2023
...									
85	22.06.2022	24.06.2022	27.06.2022	12.11.2022	10.11.2022	12.11.2022	17.11.2022	15.06.2023	—

Табл. 4. Количество выполненных событий
в рассматриваемой КПО в 2022 г.

Наименование события	Количество выполненных вех
Передача проектной документации	105
Расчет объема работ	104
Формирование ЛЗК	100
Подписание договора с заказчиком	90
Подготовка бюджета проекта	95
Подготовка и согласование сметного расчета	99
Начало СМР	85
Окончание СМР	58
Сдача объекта и получение справок	27

Как видно из табл. 4, за рассматриваемый период КПО было получено проектной документации для 105 новых объектов строительства, начато строительство 85, завершено 58, а заключение о соответствии выполненных работ в органах государственного строительного надзора получено в рассматриваемый период только для 27 из них.

В табл. 4 приведена информация о датах выполнения этих событий, которые представляют собой поточную систему реализации проекта в рассматриваемой КПО.

Работа над проектом проходит различные этапы от получения проектной документации до сдачи объекта. Для того чтобы данная поточная система стала канбан-системой, в ней должны быть определены:

- сигналы, определяющие лимит незавершенной работы (WiP);
- точка принятия обязательств и точка поставки.

В нашем случае точкой принятия обязательств является заключение договора подряда с заказчиком, а точкой поставки — сдача объекта строительства. В соответствии с методом канбан перед точкой

принятия обязательств формируется ряд запросов в очереди, которые компания может принять в работу или отказаться от реализации. В строительстве этот этап, в зависимости от форм собственности КПО, называют тендерной работой или подготовительным этапом реализации инвестиционно-строительного проекта.

Период времени, который элемент системы проводит в процессе между точкой принятия обязательств и точкой поставки, называют временем производства (Lead Time — LT) или временем в канбан-системе. При этом время ожидания заказчика (Customer Lead Time) — период, в течение которого заказчик ожидает поставки элемента [14].

В статье за время производства принято время от начала производства СМР до их окончания, временем ожидания заказчика считается период от даты заключения договора подряда до сдачи объекта. Период нахождения объекта строительства в канбан-системе — от получения запроса и проектной документации от заказчика до сдачи объекта в эксплуатацию.

Для наглядного изображения результатов расчета времени ожидания заказчика строится диаграмма рассеивания (рис. 4).

Время от момента заключения договора до сдачи объекта составляет от 0,2 до 17,8 месяцев, среднее значение времени ожидания — 8,5 мес. Однако время производства работ находится в пределах 0,2–14,8 мес. (рис. 5). В среднем производство СМР занимает 6,7 мес., а подготовительного периода 7,6 мес. Общее время в канбан-системе объекта строительства составляет до 23 мес.

Диаграммы рассеивания наглядно иллюстрируют информацию о фактических сроках, которая может использоваться для планирования и определения целей компании. В рассматриваемом случае, исходя из данных, приведенных на рис. 5, можно сделать вывод о том, что компании необходимо провести оптимизацию длительности подготовительного периода, так как между этапом составления смет и началом работ по объекту имеет место

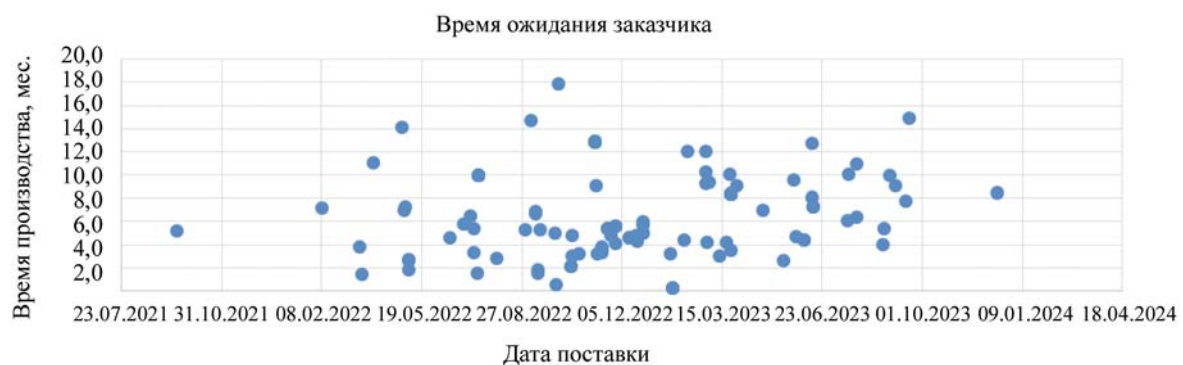


Рис. 4. Диаграмма рассеивания времени ожидания заказчика от даты заключения договора подряда до сдачи объекта

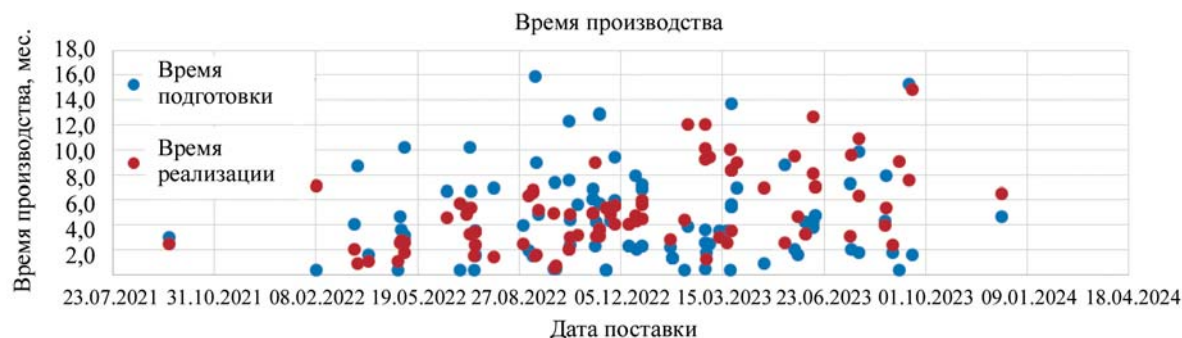


Рис. 5. Диаграмма рассеивания времени производства СМР и длительности подготовительного периода

значительный промежуток времени по одним объектам, в то время как для других он занимает несколько дней.

Набор элементов, которые в каждый момент времени находятся в канбан-системе, а также количество таких элементов называют незавершенной работой (WiP). Установка лимитов на количество проектов для каждого этапа работы позволяет избежать перегрузки подразделений и оптимизировать работу системы в целом.

Скорость, с которой выполняются вехи проекта, называют скоростью поставки. Она рассчитывается как обратная величина ко времени между двумя последними событиями, а среднюю скорость поставки за определенный период можно рассчитать как результат деления количества поставок на длительность временного периода.

На основе данных о датах закрытия вех проектов (табл. 4) построим накопительную диаграмму потока (Cumulative Flow Diagram — CFD) (рис. 6).

По вертикальной оси откладывается количество выполненных событий накопительным итогом, горизонтальная ось на графике — это шкала времени, каждый объект работ проходит все виды активности с течением времени до момента завершения всех работ по объекту строительства. Диаграмма служит для наглядного изображения работы системы, а также дает возможность быстро оценить текущее состояние системы и ее основные метрики. Анализируя накопительную диаграмму потока, можно выявить проблемы и слабые места, с которыми может столкнуться КПО, что является одним из главных преимуществ использования метода канбан.

При обеспечении равномерной загрузки ширина областей на диаграмме будет оставаться одинаковой, это идеальный сценарий работы компании, к которому должно стремиться руководство, тем самым обеспечивая сбалансированную работу всей системы и равномерное распределение работы между подразделениями, в то время как неравномерная ширина какой-либо области является сигналом о возникшей проблеме в этом процессе.

На приведенной диаграмме (рис. 6) можно заметить неравномерность в ширине областей, что указывает на недостатки в организации работы системы, зеленая область, показывающая количество сметных расчетов, расширяется в первой трети диаграммы, а затем динамику повторяет линия начала СМР, при этом линия завершения работ остается равномерной. Таким образом, имеет место перегрузка производственных мощностей из-за одновременной реализации большого числа новых проектов, что привело к увеличению нагрузки на оставшийся прежним штат сотрудников. Одной из возможных причин может являться фактор сезонности, который присутствует в работе подрядных организаций и формирует предпосылки для неравномерной загрузки отдела строительного производства в весенне-летний период.

В поточной системе, в которой все элементы поставлены (работы по карточкам завершены), наблюдается простая зависимость между средними значениями показателей за определенный период. Эта зависимость известна как закон Литтла [12, 13]:

$$\text{Скорость завершения} = \frac{\text{WiP}}{\text{LT}} = \frac{27}{9,93} = 3,16 \frac{\text{проектов}}{\text{месяц}}, \quad (1)$$

где Скорость завершения — среднее количество отработанных элементов в канбан-системе на единицу времени, применительно к КПО — скорость завершения проектов; WiP — количество элементов в работе за период; LT — среднее время производства, в течение которого элемент проходит от точки принятия обязательств к точке поставки.

Используя закон Литтла, проанализируем показатели по составляющим канбан-системы с применением данных о времени в процессе (TiP). Под временем в процессе понимается период, в течение которого элемент находится в рассматриваемом процессе [14], например требуемое время для расчета объемов работ по полученной проектной документации. Зная показатели времени в процессе, можно определить «пропускную способность» для

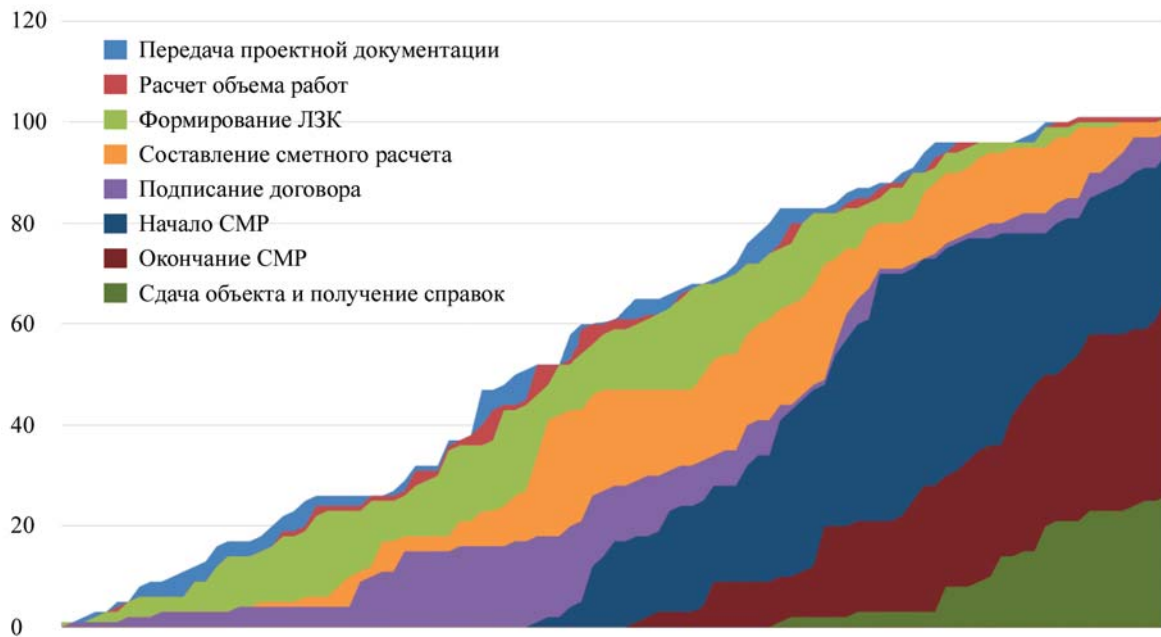


Рис. 6. Накопительная диаграмма потока (Cumulative Flow Diagram)

элементов канбан-системы. Количество рабочих элементов как завершенных, так и отброшенных выходящих из системы на единицу времени формирует пропускную способность системы, которая измеряется в количестве рабочих элементов на единицу времени:

$$\text{Пропускная способность} = \frac{\overline{\text{WiP}}}{\overline{\text{TiP}}}. \quad (2)$$

где Пропускная способность — среднее количество рабочих элементов, выходящих из процесса системы на единицу времени; WiP — среднее количество элементов в работе в рассматриваемом процессе; TiP — среднее время в процессе.

Поскольку в строительстве срок выполнения СМР зависит от объема работ, который отличается для каждого проекта, проанализируем скорость поставки и пропускную способность для подготовительного периода в рассматриваемой КПО (табл. 5), который включает только интеллектуальный труд и состоит из этапов, описанных выше.

Табл. 5. Расчет скорости поставки и пропускной способности системы

Процесс	Пропускная способность (проектов в месяц)
Расчет объема работ	6,0
Формирование ЛЗК	16,9
Подготовка бюджета проекта	18,4
Составление сметного расчета	4,9
Подписание договора	2,9

Таким образом, получив значения скорости в процессе и пропускной способности для каждого процесса, возможно установить лимиты незавершенной работы. Введение и соблюдение WiP-лимитов позволяет заменить систему «проталкивания» производства на системы «вытягивающего производства» [14, 15]. Перегрузка системы чрезмерным количеством частично завершенных проектов увеличивает общее время производства работ по проектам и не дает возможность организации оперативно откликаться на потребности заказчиков и реагировать на возникающие риски. Путем наблюдения необходимо ограничивать и оптимизировать объем незавершенной работы, что впоследствии приведет к сокращению времени производства, повышению качества и увеличению скорости поставки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В последние десятилетия метод канбан нашел широкое применение не только в производстве, но и в других отраслях [16–18], включая строительство.

Метод канбан позволяет сформировать понимание того, какие процессы проходят в компании, установить взаимосвязи между ними, а также определить, с каким объемом задач могут справиться сотрудники за единицу времени и какой объем работ может быть сдан заказчиком. По достижении такого понимания можно переходить к совершенствованию задач и процессов для более равномерного распределения задач и планирования результатов. В ходе совершенствования процессов усиливает-

ся взаимодействие между сотрудниками, а вместе с ним повышается качество.

Применение метода канбан в крупных подрядных организациях строительного сектора может значительно улучшить как управление потоком проектов, так и бизнес-процессами, повысить эффективность использования ресурсов и улучшить коммуникацию с заказчиками. Этот метод предоставляет инструменты для визуализации, управления и оптимизации рабочих процессов.

К преимуществам внедрения канбан в качестве информационной системы в деятельности КПО следует отнести:

- визуализацию процесса управления проектами: метод канбан обеспечивает наглядное представление текущих задач и этапов выполнения проектов, что способствует прозрачности и пониманию статуса работ;
- оптимизацию процессов: путем анализа данных канбан-системы компании могут выявить узкие места, избыточные этапы и другие факторы, мешающие эффективной реализации проектов [19];
- гибкость и адаптивность: канбан позволяет легко вносить изменения в приоритеты и распределение ресурсов в ответ на новые требования или проблемы, что особенно важно в строительстве, исходя из его динамичной природы;
- контроль над рабочими потоками: метод канбан дает возможность более эффективно управлять рабочими потоками, предотвращая перегрузку со-

трудников и обеспечивая равномерное распределение задач;

- постоянное улучшение процессов управления: анализ метрик канбан и систематическое изучение процессов поощряют поиск возможностей для постоянного улучшения эффективности и качества управления проектами в строительстве;
- инструментарий для аналитической работы: накопительная диаграмма потока является полезным инструментом для наглядного и быстрого анализа потока проектов, отслеживая изменения во времени, диаграмма позволяет распознать сигналы для вмешательства, для того чтобы разобраться в возникающих проблемах и препятствиях в потоке работы. Она не только помогает найти проблему, но и в динамике показывает, насколько успешно она решается. На основе диаграммы также можно установить, для каких задач следует увеличить производственные мощности;
- возможность оптимизации сроков реализации отдельных процессов: продолжительность процессов можно анализировать аналогично стоимости, оптимизация времени в процессе снижает издержки строительного производства.

Таким образом, на основе полученных результатов определены необходимые условия для внедрения системы канбан с целью планирования и контроля потока проектов в КПО. Подготовка этапов планирования и контроля при реализации проектов в строительстве является первым шагом на пути к достижению эффективной работы компании.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Koskela L.* Application of the new production philosophy to construction. Stanford : Stanford University, 1992.
2. Производство без потерь для рабочих. Издательство ИКСИ, 2007. 136 с.
3. *Джордж М.* Бережливое производство плюс шесть сигм в сфере услуг. Как скорость бережливого производства и качество шесть сигм помогают совершенствованию бизнеса / пер. с англ. Т. Гутман. М. : Манн, Иванов и Фербер, 2011. 464 с.
4. *Каракозова И.В., Лебедева А.Е.* Проблемы цифровизации контроля за реализацией инвестиционно-строительных проектов в современных условиях // Экономические и управленческие технологии XXI века: теория и практика, подготовка специалистов : мат. Всерос. метод. и науч.-практ. конф. имени доктора экономических наук. 2022. С. 3–7. EDN BESKYA.
5. *Womack J.P., Jones D.T.* Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation. Free Press, 2003.
6. *Андерсон Д.Дж., Кармайкл Э.* Канбан: краткое руководство. Lean-Kanban University, 2015. 102 с.
7. *Anderson D.J.* Kanban: successful evolutionary change for your technology business. Blue Hole Press, 2010.
8. *Рыбьянцева М.С., Моисеенко А.С., Хорольская Т.Е.* Методические рекомендации по внедрению карточек (Канбан) в учетную практику строительных организаций // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 107. С. 1601–1617. EDN TPWEEP.
9. *Шонбергер Р.* Японские методы управления производством. Девять простых уроков. Сокр. пер. с англ. / науч. ред. авт. предисл. Л.А. Конарева. М. : Экономика, 1988. 251 с.
10. *Arbulu R., Ballard G., Harper N.* Kanban in construction // Proceedings of IGLC-11. 2003. Pp. 16–17.
11. *Shingo S., Dillon A.P.* A study of the Toyota production system: From an Industrial Engineering Viewpoint. Routledge, 2019.

12. *Little J.D.C.* OR FORUM — Little's Law as Viewed on Its 50th Anniversary // *Operations Research*. 2011. Vol. 59. Issue 3. Pp. 536–549. DOI: 10.1287/opre.1110.0940

13. *Medonos M., Jurová M.* Implementing lean production — application of little's law // *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2016. Vol. 64. Issue 3. Pp. 1013–1019. DOI: 10.11118/actaun201664031013

14. *Liker J.K.* The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. McGraw-Hill, 2004.

15. *Reinertsen D.G.* The principles of product development flow: second generation lean product development. Celeritas Publishing, 2009.

16. *Тюлькина К.Л., Шеин А.В., Данилова С.Ю.* Применение метода Канбан на предприятии // *Качество в производственных и социально-экономи-*

ческих системах : сб. науч. тр. 9-й Междунар. науч.-техн. конф. 2021. С. 241–245. EDN NRMMTL.

17. *Романцов Р.С., Черноситова Е.С.* Применение метода канбан для повышения эффективности машиностроительного производства // *Современные материалы, техника и технология* : сб. науч. ст. 7-й Междунар. науч.-практ. конф. 2017. С. 315–318. EDN YNXPZH.

18. *Ахмадуллин А.Р.* Применение методов сокращения времени цикла производства just-in-time, канбан при производстве металлочерепицы // *Экономика и бизнес: теория и практика*. 2023. № 5–1 (99). С. 34–37. DOI: 10.24412/2411-0450-2023-5-1-34-37. EDN MMKWUM.

19. *Хоббс Д.П.* Внедрение бережливого производства: практическое руководство по оптимизации бизнеса. Минск : Гревцов Паблишер, 2007. С. 24–28.

Поступила в редакцию 29 декабря 2023 г.

Принята в доработанном виде 13 февраля 2024 г.

Одобрена для публикации 18 февраля 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: **Александра Евгеньевна Лебедева** — аспирант кафедры менеджмента и инноваций; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 3373-1543, ORCID: 0009-0007-0843-9703; uncea@yandex.ru;

Ирина Викторовна Каракозова — кандидат технических наук, доцент кафедры менеджмента и инноваций; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 4750-3869, ORCID: 0000-0002-7913-919X; KarakozovaIV@mgsu.ru.

Вклад авторов:

Лебедева А.Е. — концепция исследования, сбор и обработка материала, написание статьи.

Каракозова И.В. — доработка текста, итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

Traditionally, construction production is considered as a set of works, the realization of which is aimed at achieving the project objectives. This view of the construction production process is present both in traditional methods of construction organization and in modern methods, but this approach has a number of disadvantages [1]. The alternative to the traditional approach is the consideration of construction production as a set of flow processes of value creation and associated costs.

The realization of a construction project involves two main processes:

- preparatory, which is a step-by-step refinement of specifications, where the customer's needs and desires are transformed into requirements and then into detailed designs. At the same time, it is a process of

identifying problems and risks associated with project implementation and developing ways to address them;

- project implementation process consisting of several types of flows: delivery and processing of materials, work processes of construction teams, others related to control and maintenance of the main processes (author's and technical supervision, project management, etc.).

The steps listed are characterized by their cost, quality and duration, which need to be measured and monitored.

The growth of a contracting construction company is associated with an increase in the number of projects where work is taking place simultaneously, which entails a large flow of information within the contracting company that needs to be processed. In practice, there are often problems with the exchange of information between the company's divisions, as well as a large number of different tabular forms for storing and sys-

tematizing information about processes, as a large amount of information becomes difficult to process and perceive by employees. There is a sufficient number of software products to facilitate information exchange, but their introduction and application in such a conservative area as construction production remains at a low level, especially in terms of project management and cost control¹ [2–14].

Achieving a balance between production capacities and orders, as well as even loading of employees is a complex practical task. Thus, there is a need to create a unified and visualized system of project flow management in a contracting organization, which confirms the relevance of the research topic.

This paper examines the organization of project workflow in a large contracting organization (LCO) as a flow system with construction projects as its elements. The study was conducted to evaluate the application of kanban system to organize workflow in LCO of the construction sector.

MATERIALS AND METHODS

The kanban method, developed by the Japanese company Toyota in the 1950s and which became one of the key elements of the Lean construction system [14], is a systematic approach to production management. This method is designed to optimize production and business processes, eliminating redundant resources and increasing efficiency.

The kanban method, according to [14], is a method for defining, managing and improving processes and is widely used for the purpose of creating and managing flow systems. According to research conducted in Agile-organizations [14], kanban is used both independently and in conjunction with other systems such as Scrum.

Kanban, as an information system, makes it possible to bring together all the company's departments, establish links between them, as well as links between different processes, and then coordinate the flow of value creation according to the available demand [14].

In Japanese, kanban means “record” or “plate”. Toyota created and implemented a special card that acts as a signal informing about the need to produce an additional number of parts [14]. The method developed by Toyota was called Lean and found wide application in production, and then it was adapted for construction, thus the term Lean construction or “lean construction” appeared.

The scientific literature identifies four main concepts of Lean as lean construction: “just-in-time”, creating a continuous flow, continuous improvement and organising a “pull production” system [14].

The first just-in-time principle means working without inventories: the production process should be

provided with resources in the right quantity and when needed just-in-time without creating warehouses [14].

The principle of continuous flow means that production flows must not stop. Its continuity must be guaranteed through systematic short-, medium- and long-term planning, which determines the amount of work to be produced.

The system of “pull production” is a scheme of production organization in which the scope of work and deadlines at each production stage are set by the needs of subsequent stages, and ultimately by the needs of the customer. In this way, the accumulation of inventories or tasks for a unit is prevented, which leads to optimization of the company's performance [1].

The principle of continuous improvement is the pursuit of excellence and is a valuable tool for controlling and improving processes, in which all employees of the company should be involved.

Measurement and monitoring are emphasized in the concept of lean manufacturing because continuous measurement enables the process of improvement by identifying potential for improvement [1].

It is worth noting that the Lean concept also has a specific approach to measurement, which aims to reduce wasted [2, 3] time and resources, as well as to optimize processes and reduce the time per process of the production flow. Measurement data is needed for several purposes: to stimulate internal organizational improvement and project comparison, as well as to define goals in LCO.

The kanban method involves the implementation of feedback loops to coordinate delivery and improve service delivery. The most commonly used tools for feedback loops are regular meetings and discussions called cadences.

Visualization of work processes. The kanban method is based on the visualization of intangible activities in order to organize the correct operation of the system, and to achieve a balance between the company's production capabilities and orders using visual cues.

Depending on the scale of application of the method, the kanban system can be applied to a single process or cover the work of different departments with different levels of detail of processes and links between them.

To visualize the work when implementing a kanban system, companies use cards that are placed on a kanban board (Fig. 1). As processes are completed, the card is moved along the columns in the kanban board from left to right until the work on the card is completed. Process visualization can be implemented either on a physical board or digitally using special software.

RESEARCH RESULTS

The LCO selected for the analysis uses an information system to plan and control the execution of key project events. Based on the information received on

¹ AutoBOP service. URL: <https://pik.digital/blog/120>



Fig. 1. Example of a physical kanban board

planned and executed events, we will analyze the duration of the project implementation phases and visualize it through the construction of diagrams.

The following processes serve as the inputs for which the analysis was conducted and which relate to the main metrics of the kanban system:

- determination of the average production time (Lead Time — LT);
- establishment of Customer Lead Time, the period from the conclusion of the contract to the delivery of the facility;

- determining the speed of delivery;
- construction of a scatter diagram by time of work completion;

- construction of an accumulative flow diagram.

Based on the results of the analysis, recommendations are formulated to improve LCO performance.

In the case of project flow organization in LCO, the cards are construction projects that go from receiving a request from the customer, to processing and implementing it, and then delivering the project.

Implementation of the kanban method in LCO includes separate stages, the list and description of which are given in Table 1.

Since the construction process is inherently flow-based, let us consider the application of the kanban method to LCO that specializes in the construction of utilities. In order to realize this objective, we will analyze the approaches to work organization in LCO.

Contractors perform construction and installation works (CIW) and other specialized services under contract with the client. Project work in LCO can be divided into the following sequential stages or project milestones shown in Table 2.

Depending on the level of detail required, more or fewer project milestones can be identified, and multiple

Table 1. Stages of kanban system implementation

Stage	Title	Description
1	Current status survey	Examining the current state of business processes in the company includes analyzing existing workflows, identifying bottlenecks and determining areas where the kanban method can be most useful
2	Process visualization	The next step is to visualize business processes using kanban boards. Each stage of a project or business process is represented as a separate column on the board, and tasks are labelled with cards. This method allows all process participants to see the current state of the work being done and to prioritize tasks
3	Workflow management	Using the kanban method gives you the flexibility to manage the flow of work. When new tasks appear, they can be added to the board and the team will start working on them, while taking into account priorities and available resources. In kanban, work in process is constrained to balance the use of resources while still ensuring the flow of work
4	Monitoring and optimization	The kanban method also provides tools to monitor performance and optimize business processes. By analyzing task times and processing data from the board, bottlenecks can be identified and improvements can be made

Table 2. Stages of project implementation

Stage name	Scope of work during the implementation of the stage
Preparatory phase	• obtaining project documentation; • calculation of the scope of work; • determination of prices for materials (collection of commercial proposals from suppliers) and drawing up limit and intake cards (hereinafter referred to as LIC); • preparation and approval of estimates; • participation in the tender; • conclusion of a contract with the customer; • preparation of the project budget
Project implementation	• transfer of the construction site; • the beginning of construction and installation work (hereinafter referred to as CIW); • completion of construction and installation works; • commissioning of the facility and obtaining certificates of compliance and commissioning permits

levels of detail can be established and a second level process chain can be developed for each of the first level events. Thus, a kanban board for LCO may look like the one shown in Fig. 2. The numbers in brackets denote the work-in-progress limit for the process.

This paper analyzes the activities of LCO, which is part of the PIK Group of companies — the largest property developer in Russia. To plan and control the fulfilment of key events in the project construction

process — project milestones, the group of companies has developed a digital service “AutoBOP” [14].

The system visually displays the processes for each project with indication of deadlines and responsible employees (Fig. 3), which allows planning the construction of objects, creating linked chains of events of objects, as well as provides the ability to download documentation on events and its coordination (Table 3).

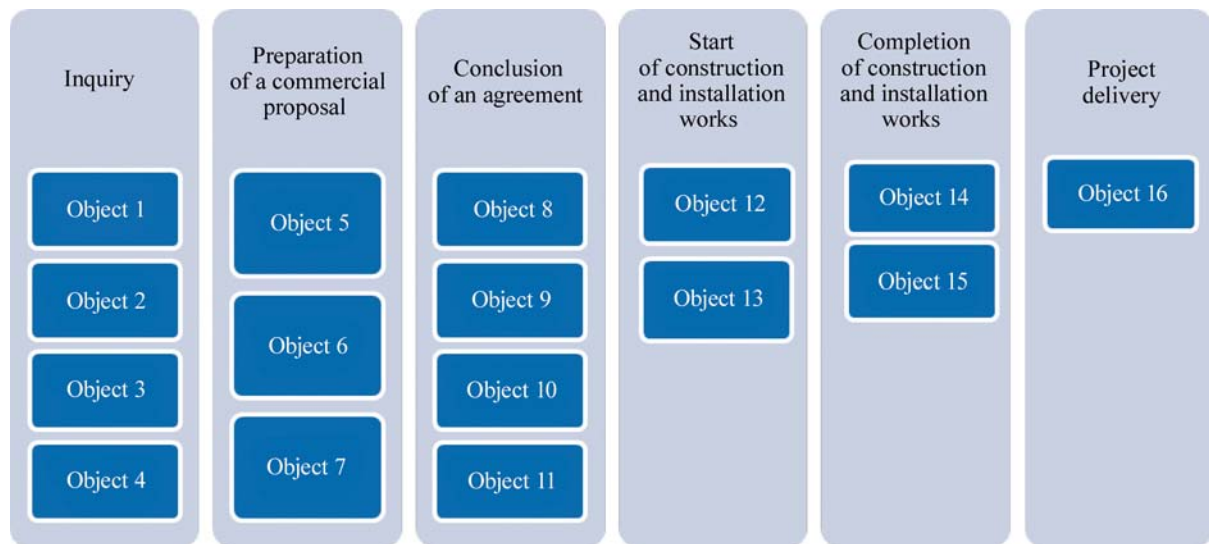


Fig. 2. Example of a kanban board for LCO

Fig. 3. AutoBOP system

Table 3. Register of events (project milestones)

Object	Transfer of working documentation (WD)	Calculation of the scope of work	Drawing up limit and intake cards	Preparation of the project budget	Preparation of estimates	Signing of the contract	Start of construction and installation works	Completion of construction and installation works	Enquiries to conclude on the compliance of the commissioning permit
1	27.07.2022	29.07.2022	18.08.2022	22.09.2022	24.09.2022	24.09.2022	06.10.2022	20.07.2023	11.08.2022
2	10.05.2022	15.05.2022	17.05.2022	15.07.2022	29.06.2022	25.10.2022	30.06.2022	18.09.2023	—
3	14.03.2022	22.03.2022	29.03.2022	21.09.2022	26.05.2022	28.11.2022	27.05.2022	03.03.2023	04.09.2023
...									
85	22.06.2022	24.06.2022	27.06.2022	12.11.2022	10.11.2022	12.11.2022	17.11.2022	15.06.2023	—

Let us analyze the project milestones by kanban method, using data on planned and executed events from the AutoBOP system for LCO facilities implemented in 2022 (Table 4).

Table 4. Number of executed events in the considered LCO in 2022

Event name	Number of milestones completed
Obtaining design documentation	105
Calculation of the scope of work	104
Drawing up limit and intake cards	100
Signing the contract with the customer	90
Preparation of the project budget	95
Preparation and approval of estimates	99
Start of construction and installation works	85
Completion of construction and installation works	58
Handing over the object and obtaining certificates	27

As can be seen from Table 4, during the period under review LCO received design documentation for 105 new construction projects, started construction of 85, completed 58, while the conclusion on compliance of the performed works with the state construction supervision authorities was received during the period under review only for 27 of them.

Table 4 summarizes the dates of these events, which represent the flow system of project implementation in the LCO under consideration.

The project work goes through various stages from receiving the project documentation to the delivery of the project. In order for this flow system to become a kanban system, it must define:

- signals defining the work in progress (WiP) limit;
- the point of commitment and the point of delivery.

In our case, the commitment point is the conclusion of the contract with the customer, and the delivery point is the delivery of the construction project. In accordance with the kanban method, a number of

queued requests are formed before the commitment point, which the company can accept into work or refuse to realize. In construction, this stage, depending on the forms of LCO ownership, is called tender work or preparatory stage of investment and construction project realization.

The period of time that an element of the system spends in the process between the commitment point and the delivery point is called Lead Time (LT) or kanban time. At the same time, Customer Lead Time is the period of time during which the customer waits for the delivery of an item [14].

In the article, the time from the start of construction and erection works to their completion is taken as the production time, the waiting time of the customer is the period from the date of the contract conclusion to the commissioning of the object. The period of the construction object being in the kanban system is from the receipt of the request and project documentation from the customer to the commissioning of the object.

To visualize the results of the customer waiting time calculation, a scatter diagram is constructed (Fig. 4).

The time from the moment of contract conclusion to the object delivery ranges from 0.2 to 17.8 months, the average waiting time is 8.5 months. However, the time of works production is within 0.2–14.8 months (Fig. 5). On average, the production of construction and erection works takes 6.7 months and the preparation period takes 7.6 months. The total time in the kanban system of the construction object is up to 23 months.

Scatter diagrams clearly illustrate information about actual timelines that can be used for planning and setting company goals. In the case under consideration, based on the data shown in Fig. 5, it can be concluded that the company needs to optimize the length of the preparation period, because between the stage of preparation of estimates and the start of work on the object there is a significant time lag for some objects, while for others it takes a few days.

The set of elements that are in the kanban system at any given time, as well as the number of such elements is called work in progress (WiP). Setting limits on the number of projects for each stage of work allows you to avoid overloading departments and optimize the work of the system as a whole.

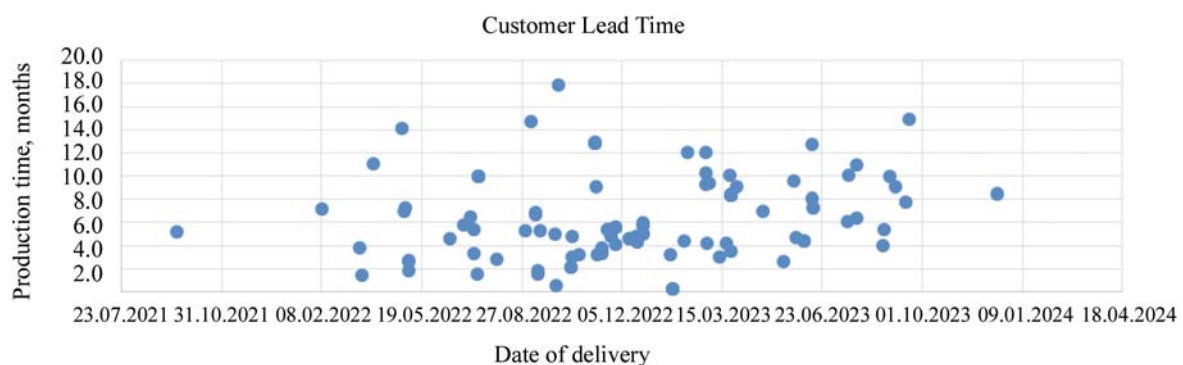


Fig. 4. Scatter diagram of the customer's waiting time from the date of the contract conclusion to the delivery of the object

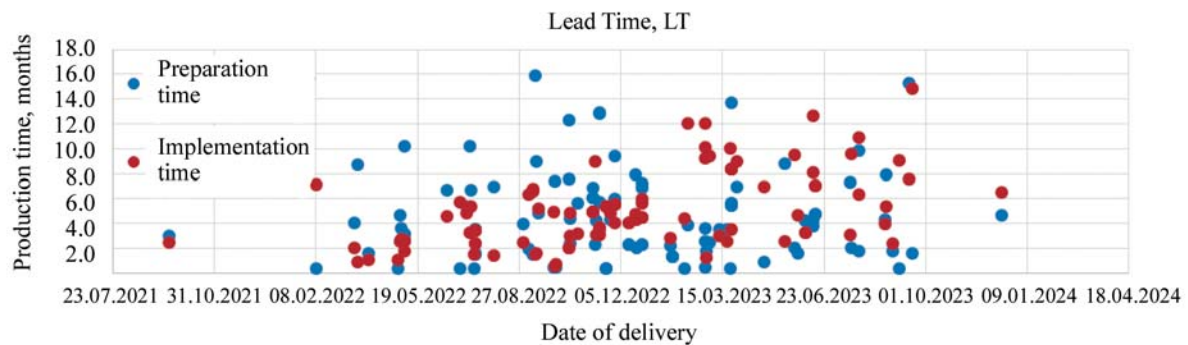


Fig. 5. Scatter diagram of the time of construction and installation works production and duration of the preparatory period

The rate at which project milestones are met is called the delivery rate. It is calculated as the inverse of the time between the last two events, and the average delivery rate for a given period can be calculated as the result of dividing the number of deliveries by the length of the time period.

Based on the data on the closing dates of all projects (Table 4), let us build a Cumulative Flow Diagram (CFD) (Fig. 6).

The vertical axis shows the number of completed events by cumulative total, the horizontal axis on the chart is the time scale, each work item undergoes all types of activity over time until all work on the construction project is completed. The diagram serves as a visual representation of the system's operation and also provides a quick assessment of the current state of the system and its key metrics. By analyzing the cumulative flow diagram, it is possible to identify problems and weaknesses that LCO may face, which is one of the main advantages of using the kanban method.

While ensuring an even workload, the width of the areas on the diagram will remain the same, this is

the ideal scenario of the company to which the management should strive, thereby ensuring smooth functioning of the entire system and even distribution of work among the departments, while an uneven width of any area is a signal that there is a problem in the process.

In the diagram above (Fig. 6), one can notice an unevenness in the width of the areas, which indicates deficiencies in the organization of the system's work; the green area, showing the number of estimates, expands in the first third of the diagram, and then the dynamics is repeated by the line of the beginning of the construction and assembly works, while the line of work completion remains uniform. Thus, there is an overload of production capacity due to the simultaneous implementation of a large number of new projects, which has increased the load on the remaining staff. One of the possible reasons may be the seasonality factor, which is present in the work of contracting organizations and forms the prerequisites for uneven loading of the construction production department in the spring and summer period.

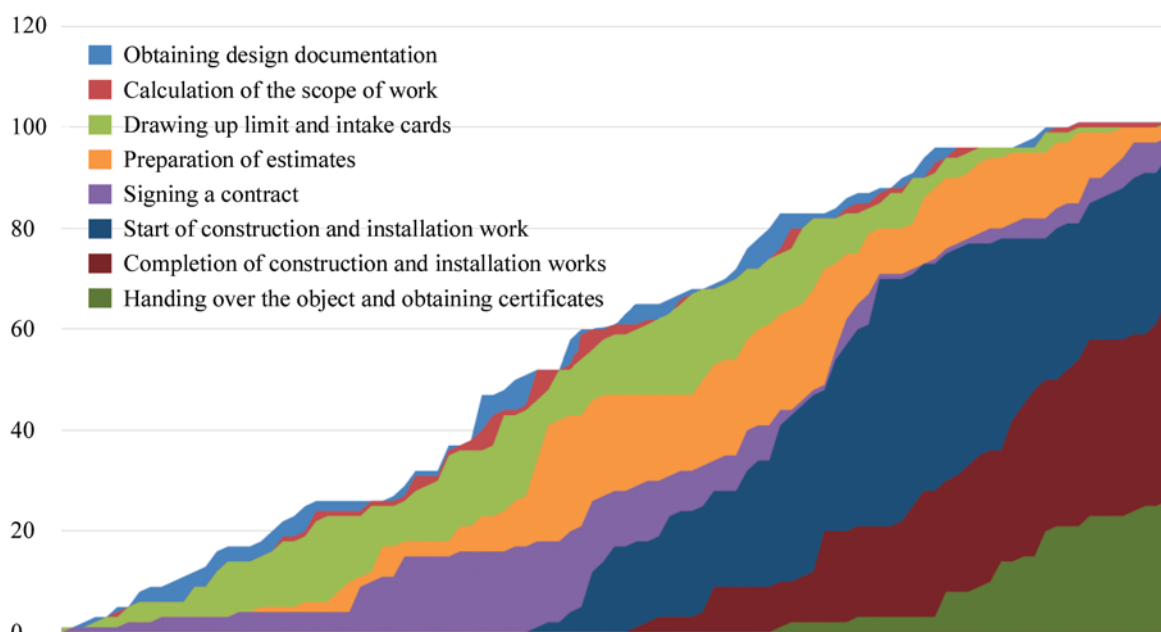


Fig. 6. Cumulative Flow Diagram

In a flow system, in which all elements are supplied (card work is completed), there is a simple dependence between the average values of indicators for a certain period. This dependence is known as Little's law [12, 13]:

$$\text{Completion rate} = \frac{\overline{\text{WiP}}}{\overline{\text{LT}}} = \frac{27}{9.93} = 3.16 \frac{\text{projects}}{\text{month}}, \quad (1)$$

where Completion rate is the average number of items worked in the kanban system per unit of time, for LCO it is the project completion rate; WiP — number of elements in operation per period; LT — average production time during which an element passes from the point of commitment to the point of delivery.

Using Little's law, let us analyze the indicators for the components of the kanban system using time-in-process (TiP) data. Time in process means the period during which an element is in the process under consideration [14], for example, the time required to calculate the amount of work on the received design documentation. Knowing the indicators of time in process, it is possible to determine the “throughput” for the elements of the kanban system. The number of work items both completed and discarded leaving the system per unit of time forms the throughput of the system, which is measured in the number of work items per unit of time:

$$\text{Throughput} = \frac{\overline{\text{WiP}}}{\overline{\text{TiP}}}, \quad (2)$$

where Throughput is the average number of work items leaving the system process per unit time; WiP is the average number of work items in operation in the process under consideration; TiP is the average time in the process.

Since in construction the lead time depends on the scope of work, which is different for each project, let us analyze the delivery rate and throughput for the preparatory period in the considered LCO (Table 5), which includes only intellectual labour and consists of the stages described above.

Thus, by obtaining the values of speed in process and throughput for each process, it is possible to set limits for work in progress. Introducing and enforcing WiP limits allows replacing the “push production” system with “pull production” systems [14, 15]. Overloading the system with an excessive number of partially completed projects increases the overall project production time and prevents the organization from being able to respond quickly to customer needs and react to emerging risks. Through observation, it is necessary to limit and optimize the amount of work in progress, which will subsequently lead to reduced production time, improved quality and increased speed of delivery.

CONCLUSION AND DISCUSSION

In recent decades, the kanban method has found wide application not only in manufacturing but also in other industries [16–18], including construction.

The kanban method helps to develop an understanding of what processes are going on in the company, to establish interrelationships between them, and to determine how many tasks employees can handle per

Table 5. Calculation of delivery rate and system capacity

Process	Throughput (projects per month)
Calculation of the scope of work	6.0
Drawing up limit and intake cards	16.9
Preparation of the project budget	18.4
Preparation of estimates	4.9
Signing the contract	2.9

unit of time and how much work can be delivered to customers. Once this understanding is achieved, you can move on to improving tasks and processes to more evenly distribute tasks and plan for results. As processes are improved, communication between employees increases and with it quality.

The application of the kanban method in large contracting organizations in the construction sector can significantly improve both project flow and business process management, increase resource efficiency and improve communication with customers. This method provides tools to visualize, manage and optimize work processes.

The advantages of implementing kanban as an information system in LCO operations include:

- visualization of the project management process: the kanban method provides a visual representation of current tasks and project milestones, which facilitates transparency and understanding of the status of work;
- process optimization: by analyzing kanban system data, companies can identify bottlenecks, redundant steps and other factors that hinder the effective implementation of projects [19];
- flexibility and adaptability: kanban allows for easy changes in priorities and resource allocation in response to new requirements or challenges, which is particularly important in the construction industry due to its dynamic nature;
- workflow control: kanban enables more efficient workflow management, preventing employee overload and ensuring an even distribution of tasks;
- continuous improvement of management processes: kanban metrics analyzes and systematic process studies encourage the search for opportunities to continuously improve the efficiency and quality of construction project management;
- analytical tools: the accumulative flow chart is a useful tool for visually and quickly analyzing the flow of projects by tracking changes over time, the chart allows you to recognize signals for intervention in order to understand emerging problems and obstacles in the flow of work. It not only helps to find the problem, but also dynamically shows how well the problem is being solved. The diagram can also be used to identify for which tasks the production capacity should be increased;
- the possibility of optimizing the timing of individual processes: the duration of processes can be analyzed

in a similar way to cost, optimizing the time in the process reduces the costs of construction production.

Thus, based on the results obtained, the necessary conditions for the implementation of a kanban system to

plan and control the flow of projects in LCO were identified. Preparation of planning and control stages in the implementation of projects in construction is the first step towards achieving efficient operation of the company.

REFERENCES

1. Koskela L. *Application of the new production philosophy to construction*. Stanford, Stanford University, 1992.
2. *Production without losses for workers*. ICSI Publishing House, 2007; 136. (rus.).
3. George M. *Lean plus six sigma in the service sector. How lean manufacturing speed and Six Sigma quality help improve business* / trans. from English T. Gutman. Moscow, Mann, Ivanov and Ferber, 2011; 464. (rus.).
4. Karakozova I.V., Lebedeva A.E. Problems of digitalization of control over the implementation of investment and construction projects in modern conditions. *Economic and management technologies of the 21st century: theory and practice, training of specialists : materials of the All-Russian methodological and scientific-practical conference named after Doctor of Economic Sciences*. 2022; 3-7. EDN BESKYA. (rus.).
5. Womack J.P., Jones D.T. *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. Free Press, 2003.
6. Anderson D.J., Carmichael A. *Kanban: a quick guide*. Lean-Kanban University, 2015; 102.
7. Anderson D.J. *Kanban: successful evolutionary change for your technology business*. Blue Hole Press, 2010.
8. Ribiantseva M.S., Moiseenko A.S., Khorolskaya T.E. Methodological recommendations for the card's implementation to accounting practice of construction organizations. *Scientific Journal of KubSAU*. 2015; 107:1601-1617. EDN TPWEEP. (rus.).
9. Schonberger R. *Japanese methods of production management. Nine simple lessons. Abbreviated translation from English* / Scientific editor, author's preface by L.A. Konarev. Moscow, Economics, 1988; 251. (rus.).
10. Arbulu R., Ballard G., Harper N. Kanban in construction. *Proceedings of IGLC-11*. 2003; 16-17.
11. Shingo S., Dillon A.P. *A study of the Toyota production system: From an Industrial Engineering Viewpoint*. Routledge, 2019.
12. Little J.D.C. OR FORUM — Little's Law as Viewed on Its 50th Anniversary. *Operations Research*. 2011; 59(3):536-549. DOI: 10.1287/opre.1110.0940
13. Medonos M., Jurová M. Implementing lean production — application of little's law. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2016; 64(3):1013-1019. DOI: 10.11118/actaun201664031013
14. Liker J.K. *The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill, 2004.
15. Reinertsen D.G. *The principles of product development flow: second generation lean product development*. Celeritas Publishing, 2009.
16. Tyulkina K.L., Shein A.V., Danilova S.Yu. Application of the Kanban method in an enterprise. *Quality in production and socio-economic systems : collection of scientific papers of the 9th International Scientific and Technical Conference*. 2021; 241-245. EDN NRMMTL. (rus.).
17. Romantsov R.S., Chernositova E.S. Application of the kanban method to increase the efficiency of machine-building production. *Modern Materials, Technology and Technology*. 2017; 315-318. EDN YNXPZH. (rus.).
18. Akhmadullin A.R. Application of methods to reduce the production cycle time just-in-time, kanban in the production of metal tiles. *Economics and Business: Theory and Practice*. 2023; 5-1(99):34-37. DOI: 10.24412/2411-0450-2023-5-1-34-37. EDN MMKWUM. (rus.).
19. Hobbs D.P. *Implementation of lean manufacturing: a practical guide to business optimization*. Minsk, Grevtsov Publisher, 2007; 24-28. (rus.).

Received December 29, 2023.

Adopted in revised form on February 13, 2024.

Approved for publication on February 18, 2024.

B I O N O T E S: **Aleksandra E. Lebedeva** — postgraduate student of the Department of Management and Innovation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 3373-1543, ORCID: 0009-0007-0843-9703; uncea@yandex.ru;

Irina V. Karakozova — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Management and Innovation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 4750-3869, ORCID: 0000-0002-7913-919X; KarakozovaIV@mgsu.ru.

Contribution of the authors:

Aleksandra E. Lebedeva — concept of the study, collection and processing of material, writing the article.

Irina V. Karakozova — revision of the text, final conclusions.

The authors declare no conflict of interest.