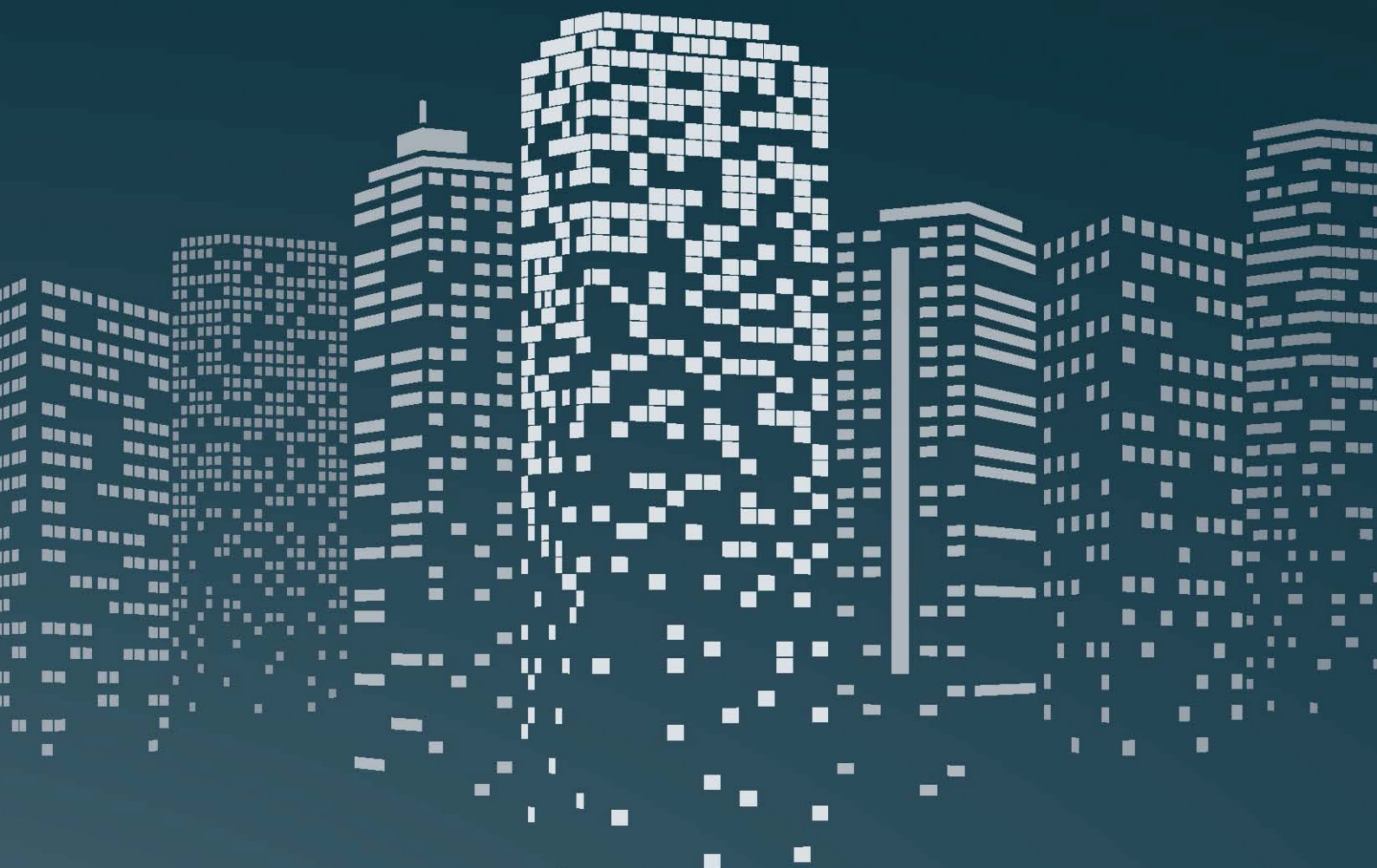




СТРОИТЕЛЬСТВО: НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ

CONSTRUCTION: SCIENCE AND EDUCATION

ТОМ 13. ВЫПУСК 3 (49)



НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

2023

СТРОИТЕЛЬСТВО: НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ

Construction: Science and Education

DOI: 10.22227/2305-5502

том **13** выпуск **3** (49)

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, А.Ю. Байкова
переводчик *О.В. Юденкова*

EDITORIAL OFFICE MAILING ADDRESS:

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

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

EDITORIAL STAFF:

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

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

Подписано в свет 29.09.2023.
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 18,94.

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

Отпечатано в типографии Издательства МИСИ – МГСУ.

129337, Москва, Ярославское шоссе, 26

www.mgsu.ru, ric@mgsu.ru. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2023

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, доц., и.о. зав. каф. металлических и деревянных конструкций, НИУ МГСУ, Москва, Россия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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, Associate Professor, Acting Head of the Department of Metal and Timber Structures, MGSU, Moscow, Russian Federation

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

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

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

Vladimir I. Andreev, Advisor of RAACS, 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 RAACS, DSc in engineering, Professor, Chief Research Associate; Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russian Federation

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

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

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

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

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

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Теличенко Валерий Иванович, председатель, академик РААСН, первый вице-президент РААСН, д-р техн. наук, проф., проф. каф. строительства объектов тепловой и атомной энергетики, почетный президент, 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., декан архитектурно-строительного факультета, зав. каф. строительных материалов и технологий, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск, 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 инсти-

тут строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, Москва, Россия

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

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

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

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

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

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 RAACS, First Vice-President of RAACS, DSc in engineering, Professor, Professor of the Department of Construction of Thermal and Nuclear Power Facilities, Honorary President, MGSU, Moscow, Russian Federation

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СТРОИТЕЛЬСТВО: НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ

Том 13 Выпуск 3 (49)

Москва

НИУ МГСУ

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ	
Юсеф Радуан Хамати, А.Р. Туснин Работа рамных стальных каркасов с учетом погрешностей монтажа и изготовления 6	
АРХИТЕКТУРА. РЕКОНСТРУКЦИЯ. РЕСТАВРАЦИЯ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ. АРХИТЕКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ. ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ГРАДОРЕГУЛИРОВАНИЕ	
А.В. Манько, В.А. Виноградова, М.И. Ворopaева, А.А. Ганьшина, О.С. Матюхова Концепция реновации микрорайона 29	
ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗДАНИЙ. ПРОБЛЕМЫ ЖКК. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЯ	
Д.О. Хлопицын, А.Г. Рымаров Комбинация рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством для использования в механических вентиляционных системах 49	
Ю.А. Рылтцева Обзор новых конструктивных решений водозаборных сооружений 60	
ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ. ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ И ПЕРЕПОДГОТОВКА КАДРОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ	
Н.А. Самойлова, Ю.В. Алексеев Модель взаимосвязи участников профессиональной деятельности в градостроительстве 77	
Е.П. Плавельский, Д.Ю. Густов, В.И. Скуль, А.М. Агарков О новой подготовке специалистов-механиков для строительной отрасли 108	
И.В. Кущенко, В.П. Королёв Традиции и инновации в образовательном процессе и университетской науке для развития компетенций в сфере строительства 130	
А.В. Загорская, А.А. Лapidys Опыт формирования научного аппарата и структуры кандидатской диссертации 147	

CONTENT

BUILDING STRUCTURES. SOILS AND FOUNDATIONS. TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION. DESIGNING OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS. ENGINEERING SURVEY AND INSPECTION OF BUILDINGS	
Youssef Radwan Hamaty, Alexander R. Tusnin Operation of steel frame structure taking into account installation and fabrication imperfections 6	
ARCHITECTURE. RECONSTRUCTION. RESTORATION. CREATIVE CONCEPTS OF ARCHITECTURAL ACTIVITY. ARCHITECTURAL DESIGN. URBAN DEVELOPMENT. URBAN MANAGEMENT	
Arthur V. Manko, Valeria A. Vinogradova, Maria I. Voropaeva, Alina A. Ganshina, Olga S. Matyukhova Neighbourhood renovation concept 29	
ENGINEERING SYSTEMS. EXPLOITATION OF BUILDINGS. PROBLEMS OF HOUSING AND COMMUNAL COMPLEX. ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING. SAFETY OF BUILDINGS AND STRUCTURES. ECOLOGY	
Dmitrii O. Khlopitsyn, Andrey G. Rymarov Combination of recuperator with exhaust air intake unit for use in mechanical ventilation systems 49	
Yuliya A. Ryltseva Review of new design solutions for water intake structures 60	
ORGANIZATION OF HIGHER EDUCATION IN THE FIELD OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE. ADDITIONAL EDUCATION AND RETRAINING OF PERSONNEL IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY	
Nadezhda A. Samoylova, Yuri V. Alekseev Model of the interrelation of participants of professional activity in urban planning 77	
Evgeny P. Plavelsky, Dmitrii Yu. Gustov, Vladimir I. Skel, Alexander M. Agarkov New training of mechanical specialists for the construction industry 108	
Igor V. Kushchenko, Vladimir P. Korolov Traditions and innovations in the educational process and university science for development of competences in the construction sector 130	
Angelina V. Zagorskaya, Azariy A. Lapidys Experience in forming the scientific apparatus and structure of PhD thesis 147	

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

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 624.014.2:69.025.22

DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.1

Работа рамных стальных каркасов с учетом погрешностей монтажа и изготовления

Юсеф Радуан Хамати, Александр Романович Туснин

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

АННОТАЦИЯ

Введение. На напряженно-деформированное состояние каркаса многоэтажного здания оказывают влияние дефекты и отклонения от проектного решения. Качество строительного объекта зависит не только от качества проектирования и изготовления, но и от качества строительно-монтажных работ. При монтаже строительных конструкций основной целью является обеспечение требуемого по проекту пространственного положения элементов строительных конструкций. Для рамного каркаса с жесткими сопряжениями элементов отклонения от проектного положения ведут к росту изгибающих моментов, что может вызвать более раннее истощение несущей способности. Актуальность исследования заключается в разработке методики проектирования рамных стальных каркасов многоэтажных зданий с учетом погрешностей изготовления и монтажа.

Материалы и методы. Оценка влияния начальных несовершенств была выполнена на примере рамного каркаса 10-этажного жилого здания. Для расчета использован вычислительный комплекс ЛИРА-САПР 2021. Начальные несовершенства каркаса приняты в соответствии с действующими российскими нормами. Кроме прямого учета искаженной геометрии проводились расчеты с дополнительными распределенными горизонтальными нагрузками, прикладываемыми на каждом этаже по методике Еврокода 1993-1-1. Полученные разными способами перемещения и усилия характерных точек и сечений каркаса сравнивались друг с другом. Расчет выполнен на сочетание постоянной, снеговой, полезной и ветровой нагрузок.

Результаты. Учет погрешностей сборки и изготовления в геометрии каркаса позволяет более точно учесть влияние погрешностей по сравнению с методикой Еврокода. Перемещения и усилия, полученные линейным расчетом рамного каркаса, мало отличаются от результатов нелинейного расчета.

Выводы. Установлено, что прямой учет погрешностей изготовления и сборки каркаса в геометрии расчетной схемы дает возможность более точно оценить работу каркаса. Использование методики Еврокода с дополнительными горизонтальными нагрузками на уровне каждого этажа ведет к получению завышенных перемещений и усилий по сравнению с фактическими.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: многоэтажные здания, погрешность монтажа и изготовления, рамный каркас, стальные конструкции, линейный расчет, нелинейный расчет, геометрические несовершенства, многоэтажные здания

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Юсеф Радуан Хамати, Туснин А.Р. Работа рамных стальных каркасов с учетом погрешностей монтажа и изготовления // Строительство: наука и образование. 2023. Т. 13. Вып. 3. Ст. 1. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.1

Автор, ответственный за переписку: Юсеф Радуан Хамати, YoussefHamaty@outlook.com.

Operation of steel frame structure taking into account installation and fabrication imperfections

Youssef Radwan Hamaty, Alexander R. Tusnin

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

ABSTRACT

Introduction. In cities, a large number of buildings are multi-storey. Multi-storey buildings can be public, industrial and residential. Buildings with a height of more than 75 m are called high-rise, with a height of more than 100 m — unique.

The frames of multi-storey buildings consist of columns, ties and ceilings. The bearing capacity and rigidity of the building frame is determined by the interaction of all the elements of the frame. The overlaps transfer the load to vertical load-bearing structures, form horizontal hard disks that combine columns with vertical connections, affect horizontal movements and vibrations of the frame. The stress-strain state of the frame is affected by defects and deviations from the design solution. The quality of a construction object depends not only on the quality of design and manufacturing, but also on the quality of construction and installation work. During the installation of building structures, the main objectives are to ensure the spatial position of building elements required by the project, the mutual connection of structures with each other, ensuring the safety of installation work. Installation of building structures is a complex process of assembling buildings from separate, pre-made elements. Increasing the efficiency of installation work is based on the use of progressive methods of work production, increasing the level of automation and mechanization of work. Geometric dimensional tolerances in construction are divided into functional and technological. For a frame structure with rigid interfaces of elements, deviations from the design position lead to the appearance of additional, primarily bending moments, which may cause earlier exhaustion of the bearing capacity. The relevance of the work is to develop a design methodology for steel frames of multi-storey buildings, taking into account fabrication and installation errors.

Materials and methods. The calculation of steel frames can be performed in linear and nonlinear formulation. The linear calculation does not take into account the deformation of the system under the action of the load and the forces accumulated in the frame elements. With the nonlinear approach, the calculation is performed by several methods: Elastic analysis of the second order-Plastic analysis of the second order. The assessment of the impact of initial imperfections was carried out on the example of a frame structure of a 10-storey residential building. When performing the calculation, the finite element model of the core frame is taken into account. The work of a separate flat frame is considered, which takes into account the design features of the frame. LIRA-SAPR 2021 computing complex was used for the calculation. Initial imperfections of the frame were taken in accordance with the current Russian standards. In addition to direct consideration of the distorted geometry, calculations were performed with additional distributed horizontal loads applied on each floor according to Eurocode 1993-1-1. The movements and forces of characteristic points and sections of the frame obtained by different methods were compared with each other. The influence of imperfections on movements and efforts from individual loads was studied. The cross sections of the frame elements were initially selected so that its bearing capacity was ensured under the action of combinations of combinations of design loads. The calculated combination of loads includes constant load, snow load, payload, wind load.

Results. When analyzing the results, it is necessary to take into account that direct accounting of assembly and manufacturing errors in the geometry of the frame is more correct, but requires the formation of more complex calculation schemes that take into account the errors of the geometry of the frame. The displacements and forces obtained by linear calculation of the frame structure differ little from the results of nonlinear calculation, which allows us to recommend a linear calculation method for the frame structure.

Conclusions. Based on calculations of the stress-strain state of the frame of a multi-storey building, it was found that direct accounting of manufacturing and assembly errors in the geometry of the frame allows for a more accurate assessment of the work of the frame. The use of Eurocode technique with additional horizontal loads at the level of each floor using a frame structure leads to excessive movements and efforts compared to the actual ones.

KEYWORDS: multi-storey buildings, assembly and fabrication error, frame structure, steel structures, linear calculation, nonlinear calculation, geometric imperfections, multi-storey buildings

FOR CITATION: Youssef Radwan Hamaty, Tusnin A.R. Operation of steel frame structure taking into account installation and fabrication imperfections. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2023; 13(3):1. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.1

Corresponding author: Youssef Radwan Hamaty, YoussefHamaty@outlook.com.

ВВЕДЕНИЕ

В городах большое число многоэтажных зданий. Они могут быть общественными, промышленными и жилыми. Здания высотой более 75 м называются высотными, более 100 м — уникальными [1, 2]. Многоэтажные здания характеризуются тем, что на относительно небольшом пятне застройки возводится большое по высоте здание.

Объем использования стали в несущих каркасах многоэтажных зданий можно увеличить за счет применения типовых конструкций. Использование типовых конструкций и узлов сокращает время и стоимость проектирования и строительства. Типовые конструкции имеют высокую надежность, доступны, технологии их изготовления и монтажа отработаны. Особенность типовых конструкций заключается в модульности и широком диапазоне размеров. Типовые каркасы монтируются из повторяющихся несущих элементов (колонн, ригелей

и связей) с помощью отработанных узлов, возможно применение готовых несущих объемных модулей [3, 4]. Важным при разработке типовых конструкций, для которых характерно массовое использование в большом числе зданий, а также для конструкций, используемых в ответственных зданиях и сооружениях, является изучение всех особенностей работы таких конструкций, в том числе влияние на несущую способность и жесткость погрешностей изготовления и монтажа.

Каркасы многоэтажных зданий состоят из колонн, связей и перекрытий. Несущая способность и жесткость каркаса здания определяется взаимодействием всех элементов каркаса. Перекрытия передают нагрузку на вертикальные несущие конструкции, образуют горизонтальные жесткие диски, объединяющие колонны с вертикальными связями, влияют на горизонтальные перемещения и колебания каркаса.

Проектирование многоэтажных зданий связано с решением комплекса задач, учитывающих объемно-планировочное решение, работу несущего каркаса, особенности изготовления и монтажа его конструктивных элементов. Многоэтажные здания из металла могут быть только каркасными. Стальные каркасы рационально применять в производственных зданиях с большими нагрузками, а также в гражданских большепролетных и многоэтажных зданиях. Это объясняется несколькими причинами:

- стальной каркас вследствие высокой несущей способности материала обладает существенно меньшим собственным весом по сравнению с железобетонным;
- возможно применение больших пролетов несущих конструкций перекрытий, т.е. увеличение шага колонн;
- при возведении стального каркаса используются элементы полной заводской готовности.

Работа каркасов многоэтажных зданий связана со значительными вертикальными нагрузками на колонны и с большими горизонтальными нагрузками от ветрового воздействия. Проектирование многоэтажного здания напрямую связано с его объемно-планировочным решением, выбором конструктивной схемы, материалов для несущих конструкций, способов их изготовления и монтажа, а также обслуживанием здания в процессе эксплуатации [5, 6].

На напряженно-деформированное состояние (НДС) каркаса оказывают влияние дефекты и отклонения от проектного решения. Дефекты зданий можно классифицировать по следующим признакам: по характеру, причине и времени, значимости.

1. По характеру:

- скрытые;
- явные.

2. По причине и времени:

- ошибки и просчеты при изысканиях и проектировании;
- ошибки и просчеты в процессе изготовления и строительства.

3. По значимости:

- 1-я группа: угрожающие разрушением, ослабляющие конструкции и могущие привести к авариям;
- 2-я группа: не угрожающие целостности, но ослабляющие конструкции;
- 3-я группа: не приводящие к разрушению, но требующие дополнительных затрат в процессе эксплуатации.

Основные дефекты стальных конструкций при их изготовлении:

- неэквивалентная замена материалов при изготовлении элементов конструкций (замена марки стали, типа электродов, уменьшение сечения элементов);

- изменение проектных размеров конструкции в целом и ее отдельных элементов;

- смещение осей элементов от проектных геометрических центров узлов сопряжений нескольких элементов;

- непрямолинейность элементов;
- отсутствие требуемых зазоров между стыкуемыми элементами;

- уменьшение длины сечения сварных швов, низкое качество сварки, окрашивание швов с неотбитым шлаком;

- подрезки металла несущих элементов при сварке;

- недостаточное стягивание пакетов при болтовых соединениях;

- покрытие металла грунтовкой без очистки от ржавчины;

- дефекты соединений элементов (головок заклепок, болтовых соединений, сварных швов);

- дефекты противокоррозионных покрытий (недостаточная толщина, участки с отсутствием покрытия и т.д.);

- отправка стальных изделий на стройку без огрунтовки.

К распространенным дефектам монтажа стальных конструкций можно отнести:

- нарушение правильной последовательности монтажа;

- неточную подгонку и неправильное соединение элементов в монтажных узлах;

- смещение конструкций с проектных отметок и осей;

- отсутствие элемента конструкции или соединения;

- повреждение элементов конструкций при монтаже (искривление, коробление, вмятины и т.п.) [7].

Процесс производства стальных строительных конструкций, как правило, происходит на специализированных заводах металлоконструкций (ЗМК), состоящих из цехов основного и вспомогательного производства.

Технологичность, т.е. простота и удобство их изготовления в заводских условиях, одно из отличительных достоинств строительных стальных конструкций. Чем технологичнее конструкция, тем ниже трудоемкость ее изготовления, а значит и конечная стоимость. Автоматизация операций по изготовлению обеспечивает снижение себестоимости готовой конструкции [8–10].

Качество строительного объекта зависит не только от качества проектирования и изготовления, но и от качества строительно-монтажных работ. При монтаже строительных конструкций основными целями являются обеспечение требуемого по проекту пространственного положения элементов строительных конструкций, взаимное соединение конструкций между собой, обеспечение безопасности проведения монтажных работ.

В настоящее время существует большое количество видов и способ монтажа, поэтому монтаж строительных конструкций выделяют в отдельную отрасль строительного производства.

Монтаж строительных конструкций — это комплексный процесс сборки зданий из отдельных, заранее изготовленных элементов. Процессы, из которых состоит монтаж, делятся на транспортные, подготовительные и собственно монтажные. Для выполнения всех этих процессов в комплексе используются монтажные, такелажные и транспортные средства.

К монтажным процессам относятся захват конструкций грузоподъемным механизмом, подъем или перемещение на место установки, установка на опоры, выверка правильности пространственного положения, временное и постоянное закрепление.

Строящиеся объекты с каждым годом становятся все сложнее, объем монтажных работ в строительстве увеличивается.

Повышение эффективности монтажных работ основано на применении прогрессивных методов производства, повышении уровня автоматизации и механизации.

При монтаже возможно появление погрешностей при установке конструкций в проектное положение как по горизонтали, так и по вертикали. Погрешности, которые укладываются в допускаемые нормы, называются допусками. Допуски геометрических размеров в строительстве разделяют на функциональные и технологические.

Назначение допусков требуется для обеспечения точной сборки конструкций из независимо изготовленных элементов в соответствии с предъявляемыми требованиями в стадии эксплуатации.

Функциональные допуски назначают с учетом требований к конструкциям по прочности, изоляционным свойствам или по эстетическим соображениям. Функциональные допуски устанавливают требования по точности геометрических параметров в узлах соединения конструкций, точности их взаимного расположения.

Технологические допуски определяют точность при изготовлении и установке элементов. К технологическим допускам изготовления относятся допуски линейных размеров элементов, формы и взаимного положения поверхностей. Допуски линейных размеров регламентируют точность их изготовления по длине, ширине, высоте, толщине, а также точность наносимых на элементы ориентиров [11].

Актуальность настоящей работы заключается в разработке методики проектирования рамных стальных каркасов многоэтажных зданий с учетом погрешностей изготовления и монтажа. Для рамного каркаса (рис. 1) с жесткими сопряжениями элементов отклонения от проектного положения ведут к появлению дополнительных, прежде всего изгибающих, моментов, что может вызвать более раннее исчерпание несущей способности.

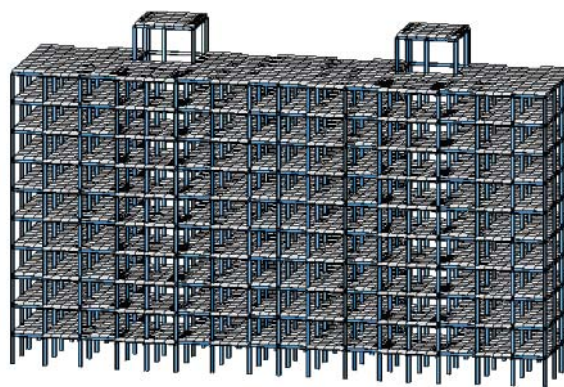


Рис. 1. Многоэтажное здание на несущем рамном каркасе

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Расчет стальных каркасов может выполняться в линейной и нелинейной постановке. Линейный расчет не учитывает деформирование системы при действии нагрузки и накопленные в элементах каркаса усилия. При нелинейном подходе расчет выполняется несколькими методами (рис. 2).

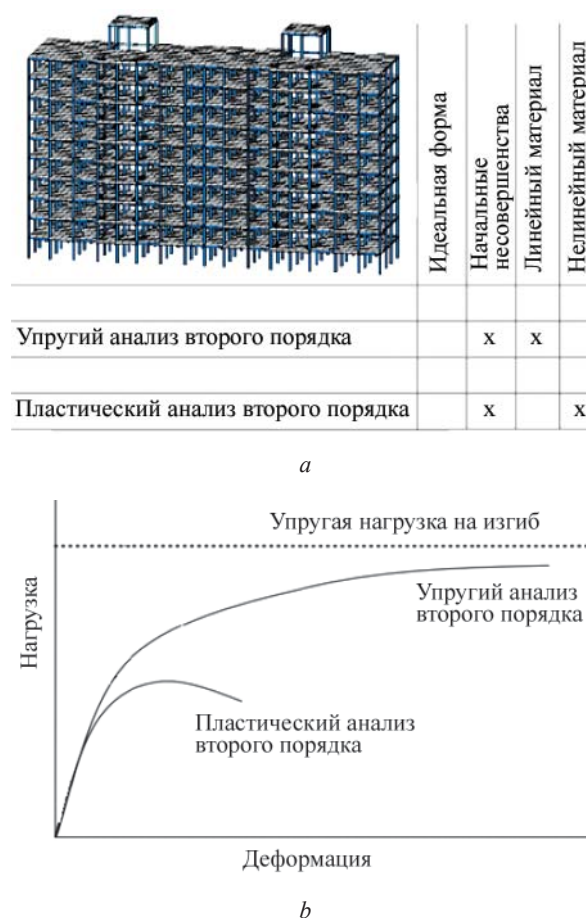


Рис. 2. Общая характеристика методов расчета стальных каркасов [12, 13]: а — методы расчета; б — кривая нагрузка–деформация для разных типов расчета

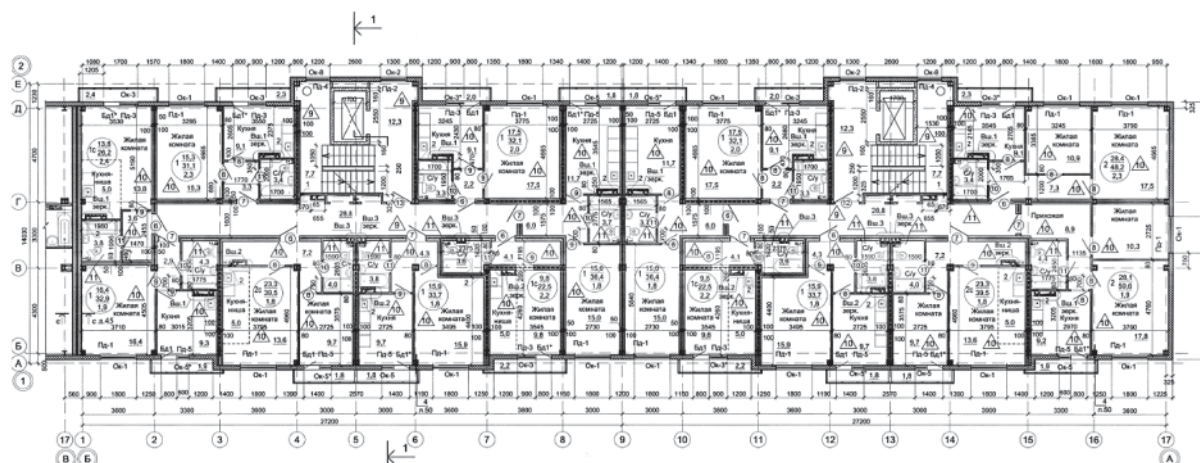


Рис. 3. План типового этажа

1. *Упругий анализ второго порядка* — это анализ с учетом геометрической нелинейности. Такой расчет позволяет выявить потерю общей устойчивости системы в упругой стадии работы, но с учетом изменения геометрии конструкции и накопленных в элементах каркаса с ростом нагрузки усилий. Наличие начальных несовершенств каркаса многоэтажного здания способствует при загрузке более быстрому отклонению положения элементов каркаса от проектного и более раннему достижению предельной нагрузки.

2. *Пластический анализ второго порядка* — анализ, который учитывает не только деформированную схему, но и характер (диаграмму) деформирования материала. Уравнения равновесия записаны для деформированной формы, при этом учитывается как физическая, так и геометрическая нелинейность.

Этот тип анализа лучше всего подходит для моделирования реального поведения конструкции и расчета предела неупругой устойчивости, т.е. при развитии пластических деформаций в материале конструкции при загрузке.

Проведенные ранее исследования показывают, что анализ, основанный на расчете идеализированной многоэтажной стальной каркасной конструкции без учета несовершенств, часто не обеспечивает несущую способность здания и не отвечает эксплуатационным требованиям по допустимым перемещениям каркасов [14].

Оценка влияния начальных несовершенств выполнена на примере рамного каркаса 10-этажного жилого здания, расположенного в IV снеговом и IV ветровом районе. Здание имеет прямоугольный план, размеры в плане 54,4 × 12,3 м. Высота этажа равна 2,95 м. Здание без подвала. Шаг поперечных рам переменный в продольном направлении 3,0; 3,3; 3,6; 3,8 и 3,9 м. В поперечном направлении шаг колонн 4,3; 3,3 и 4,7 м. На рис. 3 показан план здания, на рис. 4 — разрез.

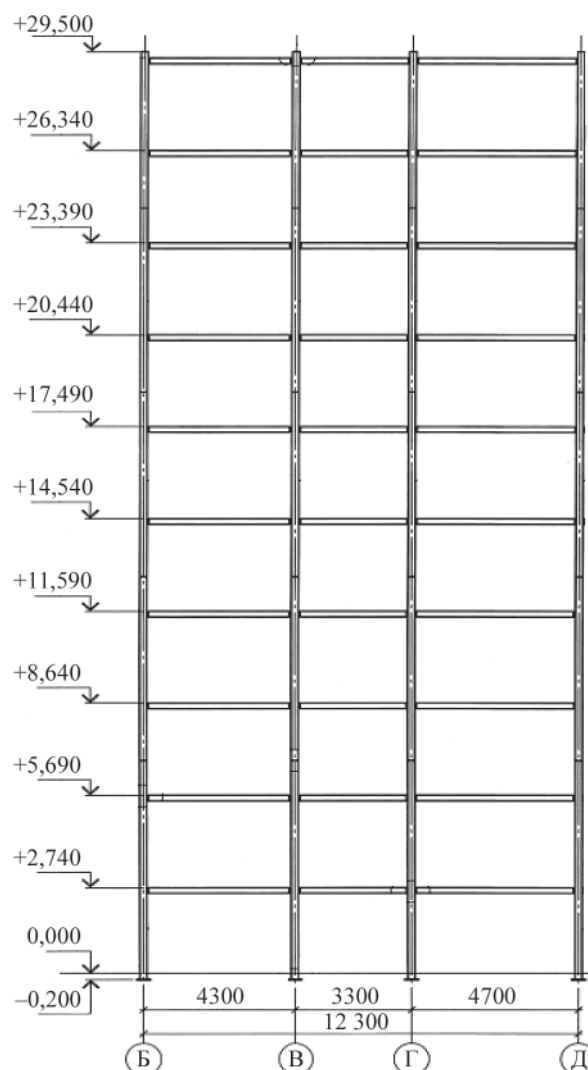


Рис. 4. Разрез каркаса

Рамный каркас представляет собой несущую стержневую систему, в которой колонны и балки жестко соединены друг с другом, а колонны жестко прикреплены к фундаменту. За счет жесткого кре-

пления элементов каркаса друг к другу обеспечивается пространственная устойчивость и жесткость.

Перекрытия здания выполняются в виде монолитной железобетонной плиты по профилированному настилу.

Стены здания каркасно-обшивные. В проекте расчета каркаса вес стен учтен приближенно и принят равным 1 кПа.

Устойчивость и жесткость рамного каркаса в плоскости поперечной рамы обеспечивается жестким сопряжением ригелей с колоннами и колонн с фундаментом. Из плоскости поперечной рамы устойчивость обеспечивается системой вертикальных связей. Вертикальные несущие конструкции каркаса — колонны располагаются на пересечениях осей. Колонны и балки перекрытия выполняются из прокатных двутавров по ГОСТ Р 57837–2017¹. Сталь колонн и балок С345.

Вес стального каркаса учитывается вычислительным комплексом по сечениям элементов. При выявлении нагрузки от собственного веса каркаса учитывается коэффициент надежности по нагрузке, равный 1,05, и строительный коэффициент 1,2, учитывающий наличие ребер, накладок, фасонки и опорных пластин. Нагрузка на стальные ригели перекрытия определена с учетом ширины грузовой площади, равной шагу поперечных рам.

Для IV снегового района нормативная снеговая нагрузка равна 2,0 кПа, расчетная — 2,8 кПа. Для IV ветрового района нормативное ветровое давление составляет 0,48 кПа, расчетная нагрузка — 0,672 кПа.

При проведении расчета учтено следующее. Конечно-элементная модель (КЭМ) каркаса стержневая. Рассмотрена работа отдельной плоской рамы, что учитывает особенности конструкции каркаса. Для расчета использован вычислительный комплекс ЛИРА-САПР 2021. В табл. 1 представлены типы жесткостей и сечения элементов каркаса [15].

Табл. 1. Типы жесткостей элементов рамного каркаса

Тип жесткости	Наименование элемента	Сечение
1	Колонны	35К2
2	Балки	30Б2

Нагрузка² прикладывалась к расчетной схеме в виде пяти загрузок:

- 1) вес несущих конструкций;
- 2) постоянная нагрузка — вес ограждающих конструкций;
- 3) полезная нагрузка;

¹ ГОСТ Р 57837–2017. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия.

² СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*.

4) снеговая нагрузка;

5) ветровая нагрузка.

Начальные несовершенства каркаса приняты в соответствии с действующими российскими нормами³. Колонны в здании приняты двухэтажными длиной 5900 мм. Рассмотрено отклонение верха колонны по вертикали на этом участке в плоскости поперечной рамы. Величина этого отклонения составляет 15 мм. Кроме отклонения от вертикали учтена и начальная погиб колонны в плоскости поперечной рамы со стрелой 0,0015 длины или 8,85 мм. Указанные отклонения от проектной геометрии учтены в геометрии КЭМ. Для этого колонна была разделена на десять равных частей, координаты узлов определялись с учетом принятых отклонений в виде смещения верха колонны на 15 мм и стрелы погиби 8,85 мм. В запас несущей способности принятые отклонения колонны накапливались до верха здания. Суммарное отклонение колонны на верху здания равно 75 мм [16]. К расчетной схеме с искаженной геометрией прикладывались указанные выше нагрузки и выполнялся расчет усилий и перемещений. Этот способ расчета наиболее достоверно отражает работу каркаса, однако его применение сопряжено с достаточно трудоемкой процедурой формирования геометрии каркаса с учетом погрешностей изготовления и монтажа.

Кроме прямого учета искаженной геометрии проводились расчеты с дополнительными распределенными горизонтальными нагрузками, прикладываемыми на каждом этаже, по методике Еврокода 1993-1-1⁴ [17–20]. По методике Еврокода отклонение от проектного положения учитывается дополнительной горизонтальной нагрузкой, которая прикладывается к недеформированной конструкции на уровне перекрытия каждого из этажей. Горизонтальная нагрузка определяется только от вертикальных нагрузок на каркас. Дополнительные горизонтальные нагрузки рассчитаны на то, чтобы дать тот же момент в колоннах, что и прямой учет начальных дефектов в геометрии конструкции. В европейских нормах начальные несовершенства учитываются для каждого нагружения с вертикальными нагрузками дополнительными горизонтальными нагрузками: сосредоточенными силами на уровне каждого перекрытия и распределенными по длине колонн нагрузками.

1. Начальные несовершенства в виде отклонений от вертикали (поперечных отклонений) учитываются сосредоточенными горизонтальными силами на уровне каждого перекрытия:

$N = \varphi G$ — горизонтальная нагрузка от вертикальной нагрузки на перекрытие, где G — суммар-

³ СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01–87.

⁴ EN 1993-1-1:2005. Проектирование стальных конструкций. Общие правила.

ная вертикальная нагрузка на перекрытие этажа от соответствующего загрузения.

$$\varphi = \varphi_0 \alpha_h \alpha_m,$$

где $\varphi_0 = 1/2000$, $\alpha_h = 2/\sqrt{h}$, но $2/3 \leq \alpha_h \leq 1,0$ — понижающий коэффициент с учетом высоты колонны h — высота здания;

$\alpha_m = \sqrt{0,5(1+1/m)}$ — понижающий коэффициент с учетом количества колонн в ряду; m — количество колонн в ряду.

С учетом высоты колонны 29,5 м и четырех колонн в ряду коэффициент $\varphi = 0,005 \cdot 1 \cdot 0,79 = 0,004$.

2. Относительные начальные местные изгибные несовершенства элементов при плоской форме потери устойчивости учитываются распределенными по длине колонны горизонтальными нагрузками:

$q = 4Ge_0/L$, где G — суммарная вертикальная нагрузка на перекрытие этажа от соответствующего загрузения; $e_0/L = 1/350 \sim 1/100$ — эквивалентное начальное местное искривление; L — фактическая длина элемента.

При проведении расчета принято $e_0/L = 1/300$, тогда $q = G/75$.

В дальнейшем рассматривалось два способа расчета каркаса с отклонениями:

1. Расчет каркаса с измененной геометрией.
2. Расчет идеального каркаса с учетом дополнительных горизонтальных нагрузок по методике Еврокода.

Кроме расчетов по первому и второму варианту учета несовершенств выполнен расчет идеального каркаса, имеющего проектную геометрию, и без учета дополнительных горизонтальных воздействий. Полученные разными способами перемеще-

ния и усилия характерных точек и сечений каркаса сравнивались друг с другом. Изучалось влияние несовершенств на перемещения и усилия от отдельных загрузений.

Все расчеты осуществлялись при упругой работе стали. Расчеты выполнялись в геометрически линейной и нелинейной постановках.

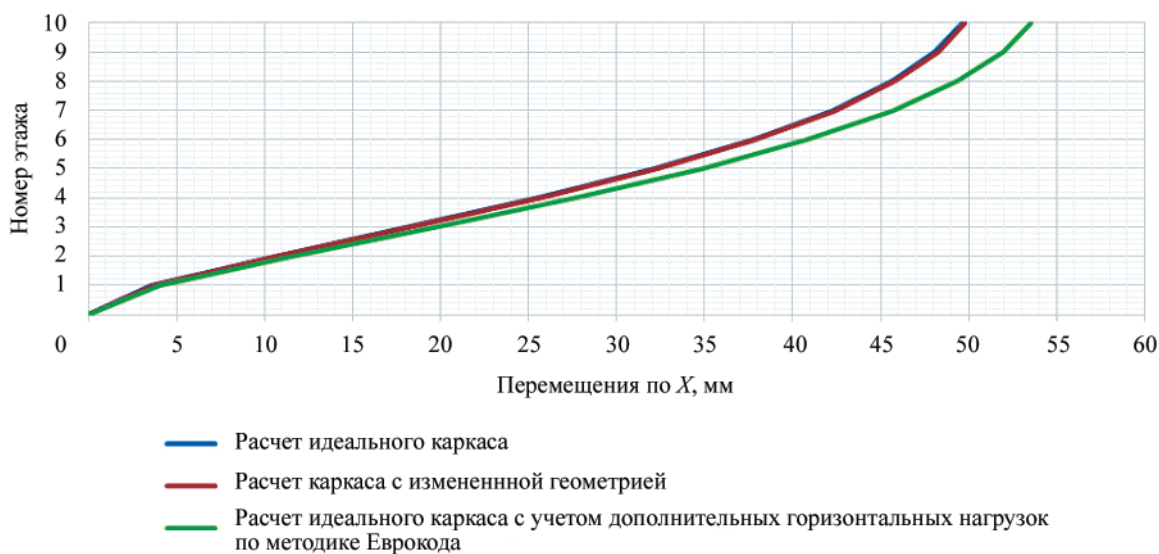
Сечения элементов рамы первоначально подобраны так, чтобы была обеспечена несущая способность при действии сочетаний расчетных нагрузок. В расчетное сочетание нагрузок включены постоянная, снеговая, полезная, ветровая. Постоянная и полезная нагрузки взяты с коэффициентом сочетания 1, ветровая с коэффициентом сочетания 0,9, снеговая с коэффициентом сочетания 0,7.

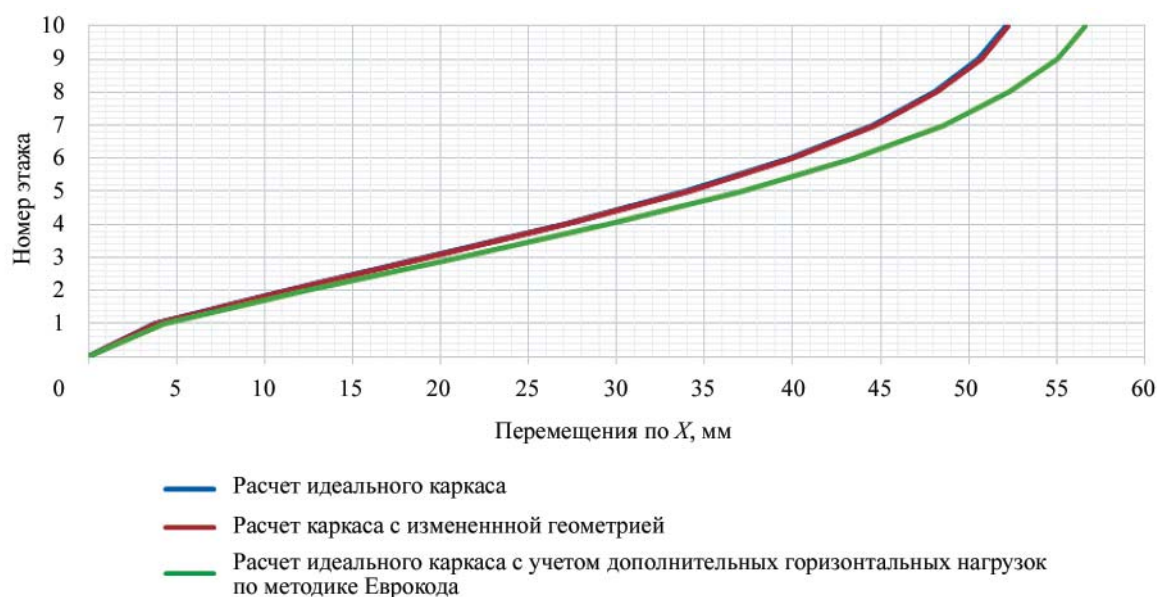
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведен анализ результатов расчета каркаса, позволивший выявить влияние разных способов учета несовершенств геометрии на перемещения и усилия. Сопоставлены перемещения и усилия, полученные линейным и нелинейным расчетом.

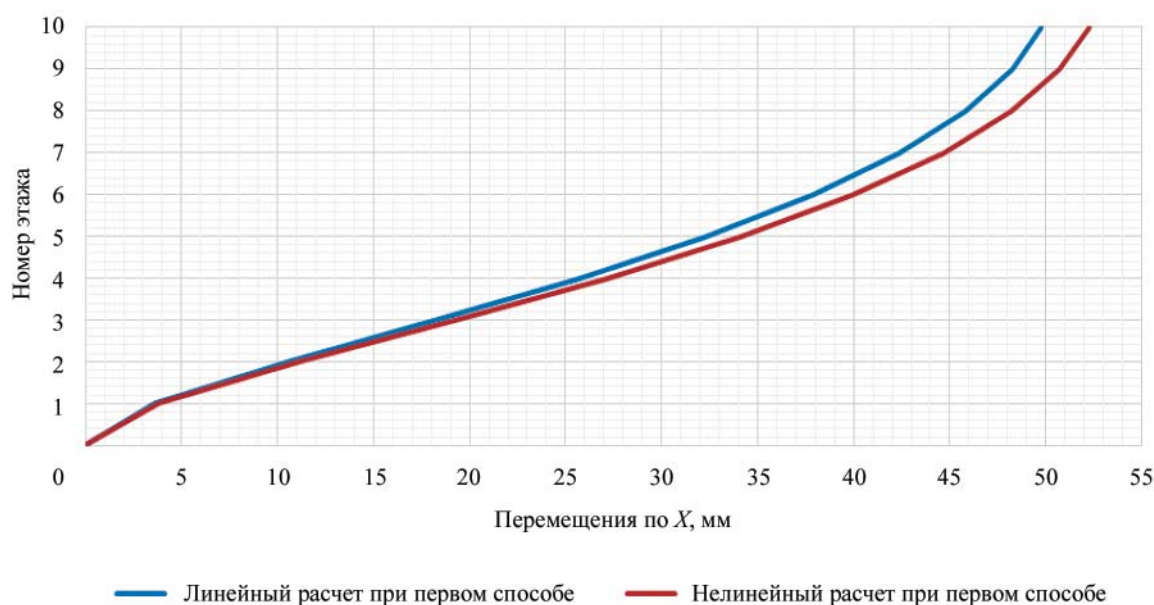
На рис. 5 представлены перемещения каркаса, полученные расчетом разными способами, от расчетного сочетания нагрузок.

Горизонтальные перемещения верха здания при учете несовершенств каркаса первым способом превышают перемещения идеального каркаса на 0,33 %. Необходимо отметить, что использование методики Еврокода по сравнению с прямым учетом несовершенств в геометрии расчетной схемы ведет к перемещениям, большим на 7,6 %. Учет нелинейной работы каркаса ведет к росту перемещений на 5 %.





b



c

Рис. 5. Горизонтальные перемещения каркаса многоэтажного здания от расчетного сочетания нагрузок, мм: а — линейные; б — нелинейные; в — сопоставление линейного и нелинейного расчетов при первом способе расчета

На рис. 6 приведено изменение продольных усилий в средней колонне по высоте здания для линейного и нелинейного расчетов. Наибольшее отличие в величинах продольных усилий наблюдается у колонн нижних этажей, поэтому на графике представлена зависимость продольных усилий для колонн 1–5 этажей.

В табл. 2 представлен анализ продольных усилий для колонн 1–5 этажей для средних колонн.

Анализ влияния несовершенств каркаса на продольные усилия в колоннах показал, что по сравнению с идеальным каркасом первый способ расчета дает продольные усилия больше на 0,13 %. При

использовании методики Еврокода продольные усилия по сравнению с первым способом учета несовершенств на 0,6 % больше. Нелинейный расчет увеличивает продольные усилия по сравнению с линейным на 0,4 %. В крайних колоннах продольные усилия при прямом учете несовершенств геометрии больше, чем в идеальном каркасе на 0,25 %.

На рис. 7 представлено изменение изгибающих моментов в средней колонне по высоте здания для линейного и нелинейного расчетов.

В табл. 3 приведен анализ изгибающих моментов для колонн 1–5 этажей для средних колонн.



Рис. 6. Продольные усилия в средней колонне для 1–5 этажей при первом способе расчета от расчетного сочетания нагрузок усилий

Табл. 2. Анализ продольных усилий в средних колоннах 1–5 этажей от расчетного сочетания нагрузок

Линейный расчет				Нелинейный расчет			
Номер этажа	Идеальный	1-й способ	2-й способ	Номер этажа	Идеальный	1-й способ	2-й способ
1	-1280,58	-1281,89	-1289,44	1	-1285,37	-1286,73	-1295,53
2	-1128,83	-1130,27	-1136,38	2	-1132,92	-1134,38	-1141,51
3	-992,83	-993,64	-998,84	3	-995,93	-996,74	-1002,71
4	-857,75	-858,55	-862,14	4	-859,88	-860,68	-864,76
5	-724,94	-725,22	-728,02	5	-726,26	-726,54	-729,64

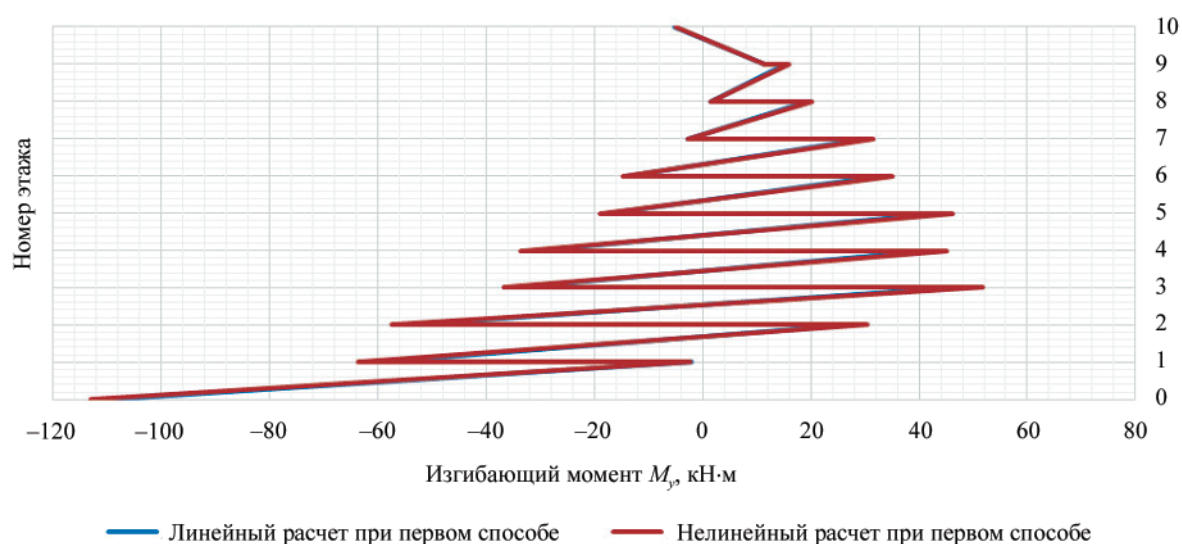


Рис. 7. Изгибающие моменты в средней колонне при первом способе расчета от расчетного сочетания нагрузок

Табл. 3. Анализ изгибающих моментов в средних колоннах 1–5 этажей от расчетного сочетания нагрузок

Линейный расчет				Нелинейный расчет			
Номер этажа	Идеальный	1-й способ	2-й способ	Номер этажа	Идеальный	1-й способ	2-й способ
1 низ	–97,40	–109,00	–123,00	1 низ	–102,00	–113,00	–130,00
1 верх	–3,58	–2,03	2,38	1 верх	–3,67	–2,26	2,93
2 низ	–58,80	–59,20	–61,40	2 низ	–63,40	–63,70	–66,60
2 верх	33,50	28,00	26,40	2 верх	36,00	30,50	29,10
3 низ	–46,10	–53,90	–63,10	3 низ	–49,70	–57,50	–68,10
3 верх	45,30	48,10	55,40	3 верх	48,80	51,70	60,50
4 низ	–34,70	–34,30	–35,00	4 низ	–37,20	–36,80	–37,60
4 верх	45,00	41,50	41,50	4 верх	48,50	45,00	45,60
5 низ	–26,50	–31,90	–38,50	5 низ	–28,10	–33,60	–40,90
5 верх	40,90	43,30	49,30	5 верх	43,90	46,30	53,30

Анализ влияния несовершенств каркаса на изгибающие моменты в колоннах 1–5 этажей показал, что по сравнению с идеальным каркасом первый способ расчета дает изгибающие моменты больше на 12,0 %. При использовании второго способа расчета изгибающие моменты в колоннах 1–5 этажей по сравнению с идеальным каркасом больше на 26 %. Использование методики Еврокода дает изгибающие моменты в колоннах по сравнению с первым способом на 13,0 % больше. Нелинейный расчет увеличивает изгибающие моменты в колоннах по сравнению с линейным на 7,6 %.

В табл. 4 представлен анализ изгибающих моментов для колонн 6–10 этажей от расчетного сочетания нагрузок.

Анализ влияния несовершенств каркаса на изгибающие моменты в колоннах 6–10 этажей показал, что по сравнению с идеальным каркасом первый способ расчета дает изгибающие моменты больше на 23,78 %. Использование методики Еврокода дает изгибающие моменты в колоннах по сравнению с идеальным каркасом на 7,1 % больше. Нелинейный расчет увеличивает изгибающие моменты в колоннах по сравнению с линейным на 7,0 %.

На рис. 8 представлено изменение изгибающих моментов в балках перекрытий первого этажа для идеального каркаса и первого способа учета отклонений от расчетного сочетания нагрузок.

В табл. 5 представлен анализ изгибающих моментов балок перекрытий 1-го, 5-го и 10-го этажей.

Анализ влияния несовершенств каркаса на изгибающие моменты в балках перекрытия показал, что наиболее значительное влияние отклонения каркаса оказали на моменты в балках 1-го этажа. По сравнению с идеальным каркасом первый способ расчета дает изгибающие моменты больше на 1,5 %. Использование методики Еврокода дает изгибающие моменты в балках перекрытия по сравнению с первым способом на 5,2 % больше.

При анализе результатов необходимо учесть, что прямой учет погрешностей сборки и изготовления в геометрии каркаса является более правильным, но требует формирования более сложных расчетных схем, учитывающих погрешности геометрии каркаса. Перемещения и усилия, полученные линейным расчетом рамного каркаса, мало отличаются от результатов нелинейного расчета, что позволяет для рамного каркаса рекомендовать линейный метод расчета.

Табл. 4. Анализ изгибающих моментов в средних колоннах 6–10 этажей от расчетного сочетания нагрузок

Линейный расчет				Нелинейный расчет			
Номер этажа	Идеальный	1-й способ	2-й способ	Номер этажа	Идеальный	1-й способ	2-й способ
6 низ	35,00	32,80	33,00	6 низ	37,30	35,10	35,80
6 верх	–10,90	–14,30	–18,60	6 верх	–11,40	–14,80	–19,30
7 низ	28,30	30,00	34,20	7 низ	30,00	31,60	36,40
7 верх	–3,15	–2,61	–2,28	7 верх	–3,32	–2,77	–2,36
8 низ	20,30	19,20	19,50	8 низ	21,30	20,20	20,70
8 верх	3,09	1,53	0,43	8 верх	3,10	1,57	–0,43
9 низ	14,50	15,40	17,60	9 низ	15,10	16,00	18,40
9 верх	11,10	11,60	12,20	9 верх	11,20	11,60	12,30
10 низ	–5,08	–5,18	–4,96	10 низ	–4,82	–4,92	–4,66

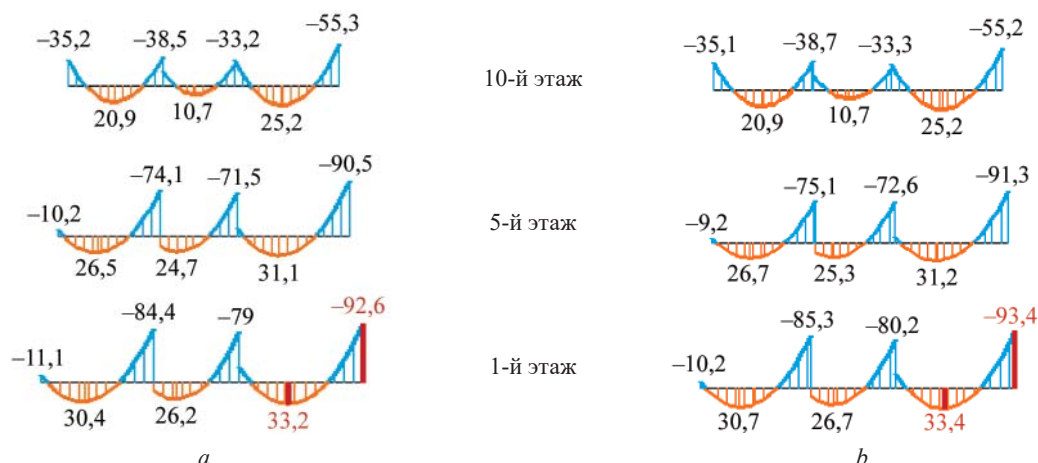


Рис. 8. Изгибающие моменты балок перекрытий первого этажа для идеального каркаса и первого способа учета отклонений от расчетного сочетания нагрузок: *a* — идеальный каркас (балки перекрытий 1-го, 5-го и 10-го этажей); *b* — первый способ учета отклонения (балки перекрытий 1-го, 5-го и 10-го этажей)

Табл. 5. Изгибающие моменты в балках перекрытий 1-го, 5-го и 10-го этажей от расчетного сочетания нагрузок

Изгибающие моменты, кН·м									
Номер этажа	Идеальный								
	Б1			Б2			Б3		
	Ось Б	Пролет	Ось В	Ось В	Пролет	Ось Г	Ось Г	Пролет	Ось Д
1	11,10	-30,40	84,40	-12,00	-26,20	79,00	23,80	-33,20	92,60
5	10,20	-26,50	74,10	-15,10	-24,70	71,50	12,00	-31,10	90,50
10	35,20	-20,90	38,50	18,80	-10,70	28,20	33,20	-25,20	55,30
Номер этажа	1-й способ								
	Б1			Б2			Б3		
	Ось Б	Пролет	Ось В	Ось В	Пролет	Ось Г	Ось Г	Пролет	Ось Д
1	10,20	-30,70	85,30	-13,20	-26,70	80,20	23,00	-33,40	93,40
5	9,20	-26,70	75,10	-16,20	-25,30	72,60	11,30	-31,20	91,30
10	35,10	-20,90	38,70	18,80	-10,70	28,10	33,30	-25,20	55,20
Номер этажа	2-й способ								
	Б1			Б2			Б3		
	Ось Б	Пролет	Ось В	Ось В	Пролет	Ось Г	Ось Г	Пролет	Ось Д
1	6,51	-31,80	88,90	-17,70	-28,90	84,60	19,70	-33,90	96,90
5	5,94	-27,70	78,20	-20,10	-27,40	76,40	8,30	-31,90	94,30
10	34,90	-20,90	38,90	18,80	-10,70	28,20	33,10	-25,20	55,50

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании расчетов НДС каркаса многоэтажного здания установлено, что прямой учет погрешностей изготовления и сборки в геометрии каркаса дает возможность более точно оценить работу каркаса. Использование методики Еврокода с дополнительными горизонтальными нагрузками на уровне каждого этажа с использованием рамного каркаса ведет к получению завышенных перемещений и усилий по сравнению с фактическими. Опре-

делено, что погрешности изготовления и монтажа рамного каркаса:

- мало влияют на горизонтальные перемещения, которые увеличиваются до 0,33 % и на продольные усилия в колоннах, увеличивающиеся до 0,13 %;
- значительно влияют на изгибающие моменты в колоннах 1–5 этажей, которые увеличиваются до 12,0 %, и в колоннах 6–10 этажей до 23,78 %;
- при проведении практических расчетов для учета влияния отклонений каркаса от проектной геометрии возможен расчет идеализированной

расчетной схемы с умножением результатов на поправочные коэффициенты: для изгибающих моментов в колоннах 1–5 этажей $\gamma_{cm} = 1,12$ и в колоннах 6–10 этажей $\gamma_{cm} = 1,24$. Перемещения и продольные усилия в колоннах, полученные расчетом идеализированного каркаса, допускается использовать при проектировании фактического каркаса без поправочных коэффициентов;

- изменениями изгибающих моментов в балках перекрытий, полученными фактическим расчетом, можно пренебречь.

Для уменьшения отклонений каркаса от проектной геометрии необходимо соблюдать технологические мероприятия, компенсирующие погрешности изготовления и монтажа.

Результаты, полученные для основного исследования, можно считать действительными только для рассмотренной конструкции каркаса. Для разработки нормативных рекомендаций требуется провести теоретические, экспериментальные и численные исследования широкой группы многоэтажных каркасов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кудишин Ю.И., Беленя Е.И., Игнатьева В.С. Металлические конструкции : учебник для студ. высш. учеб. заведений. М. : Академия, 2008. 688 с.
2. Турьева А.В. Стальной каркас многоэтажного здания: преимущества и обеспечение жесткости // Севергеоэкотех-2013 : мат. XIV Междунар. молодежной науч. конф. : в 5-ти частях. (Ухта, 20–22 марта 2013 г.). Ухта, 2013.
3. Farrell T.Dzh., Pinon Dzh.P., Shein K.D. Construction of building fencing for modular construction // 3rd Conference on design and construction of residential buildings (March 2–3, 2016). State College, Pennsylvania. 2016. Pp. 12–28.
4. Ganiron Jr. T.U., Al'marve M. Prefabricated technology in modular housing construction // International Journal of Advanced Science and Technology. 2014. Vol. 73. Pp. 51–74. DOI: 10.14257/ijast.2014.73.04
5. Лебедь Е.В., Ибрагимов А.М. Проектирование металлического каркаса многоэтажного здания : учеб.-метод. пособие. М. : МИСИ – МГСУ, 2020.
6. Туснин А.Р., Рыбаков В.А., Назмеева Т.В. Проектирование металлических конструкций. Часть 2: Металлические конструкции. Специальный курс : учебник. М. : Перо, 2020. 436 с.
7. Васильев А.А., Дзирко С.В., Михасев В.А. Дефекты изготовления, монтажа, возведения элементов и конструкций зданий и сооружений : учеб.-метод. пособие. Гомель : БелГУТ, 2010. 147 с.
8. Крохалев В.Г., Чебыкин А.А. Технология изготовления металлических конструкций. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. 180 с.
9. Металлические конструкции : в 3 т. Т. 3. Специальные конструкции и сооружения / под ред. В.В. Горева. М. : Высшая школа, 2002. 544 с.
10. Металлические конструкции / под ред. Ю.И. Кудишина. М. : Академия, 2011. 688 с.
11. Стаценко А.С. Монтаж стальных и железобетонных конструкций : учебник. Минск : Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. 468 с.
12. Dhiman S., Nauman M., Islam N. Behaviour of multistory steel structure with different types of bracing systems // International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES). 2015. Vol. 4. Issue 1. Pp. 70–82.
13. Новоселов А.А. Влияние типа связей на деформативность каркаса многоэтажного здания со стальным каркасом // Вопросы строительства и инженерного оборудования объектов железнодорожного транспорта : мат. науч.-практ. конф. (г. Новосибирск, 22 марта 2017 г.). Новосибирск, 2017. С. 27–34. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32171892>
14. Ведяков И.И., Конин Д.В., Одесский П.Д. Стальные конструкции высотных зданий. М. : Изд-во АСВ, 2014. 272 с.
15. Хамати Ю. Контроль точности монтажа конструкций стального каркаса // Дни студенческой науки : сб. докл. науч.-техн. конф. по итогам науч.-исслед. работ студентов Института строительства и архитектуры (ИСА) НИУ МГСУ. (г. Москва, 28 февраля – 4 марта 2022 г.). М., 2022. С. 917–919.
16. Царитова Н.Г., Лагутина Д.Р. Анализ существующих узловых соединений пространственных конструкций и разработка шарнирного узла // Современное строительство и архитектура. 2020. № 4 (20). С. 26–30. DOI: 10.18454/mca.2020.20.3
17. Эффективные жилые здания на стальном каркасе : методическое пособие. М. : АКЦИОМ ГРАФИКС ЮНИОН, 2018. 41 с.
18. Конин Д.В. Статистическая оценка неточностей монтажа колонн металлических каркасов высотных зданий // Строительная механика и расчет сооружений. 2010. № 6. С. 12–19.
19. Металлические конструкции : справочник проектировщика. Т. 3. / под ред. В.В. Кузнецова. М. : Изд-во АСВ, 1999. 528 с.
20. Смирнов В.В., Свитцов М.А., Шилева А.Ю., Шихова Е.Н., Поникарова Ю.Е. Анализ дефектов и повреждений металлических конструкций зданий металлургических производств // European science. 2015. № 8 (9). С. 51–54. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24482921>

Поступила в редакцию 25 мая 2023 г.

Принята в доработанном виде 24 июля 2023 г.

Одобрена для публикации 24 июля 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Юсеф Радван Хамати** — аспирант кафедры металлических и деревянных конструкций, исследователь, инженер; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 1120236; YoussefHamaty@outlook.com;

Александр Романович Туснин — доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой металлических и деревянных конструкций, директор института Промышленного и гражданского строительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 455914, Scopus: 6507367654, ORCID: 0000-0002-9997-9436; TusninAR@mgsu.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

In cities, a large number of buildings are multi-storey. Multi-storey buildings can be public, industrial and residential. Buildings with a height of more than 75 m are called high-rise, with a height of more than 100 m — unique [1, 2]. Multi-storey buildings are characterized by the fact that a large building is erected on a relatively small plot of land.

The use of steel in the load-bearing frames of multi-storey buildings can be increased through the use of standard structures. The use of standard structures and assemblies reduces the time and cost of design and construction. Standard structures have high reliability, are available, and the technology of their manufacture and installation is well developed. A characteristic feature of standard structures is modularity and a wide range of sizes. Typical frameworks are assembled from repetitive load-bearing elements (columns, transoms and links) with the use of developed assemblies, it is possible to use ready-made load-bearing volume modules [3, 4]. It is important in the development of standard structures, which are characterized by mass use in a large number of buildings, as well as for structures used in critical buildings and structures, to study all the features of the operation of such structures, including the influence of manufacturing and installation errors on the load-bearing capacity and stiffness.

The frames of multi-storey buildings consist of columns, links and slabs. The bearing capacity and stiffness of the building frame is determined by the interaction of all frame elements. Slabs transfer the load to vertical load-bearing structures, form horizontal rigid discs uniting columns with vertical links, influence horizontal displacements and vibrations of the frame.

The design of multi-storey buildings is associated with the solution of a set of problems that take into account the volume-planning solution, the operation of the load-bearing frame, the peculiarities of manufacturing and installation of its structural elements. Multi-

storey buildings made of metal can only be frame buildings. Steel frames are rationally used in industrial buildings with heavy loads, as well as in civil large-span and multi-storey buildings. This is explained by several reasons:

- the steel frame has a significantly lower dead weight than a reinforced concrete frame due to the high load-bearing capacity of the material;
- it is possible to use larger spans of slab load-bearing structures, i.e. increased column spacing;
- when erecting the steel frame, the elements are used in full factory readiness.

The operation of multi-storey building frames is associated with significant vertical loads on columns and with large horizontal loads from wind effects. The design of a multi-storey building is directly related to its volume-planning solution, the choice of structural scheme, materials for load-bearing structures, methods of their manufacture and installation, as well as maintenance of the building during operation [5, 6].

The stress-strain state of the frame is influenced by defects and deviations from the design solution. Defects of buildings can be classified according to the following features: by nature, reason and time, significance:

1. By nature:
 - hidden;
 - explicit.
2. For reason and time:
 - errors and miscalculations in surveying and design;
 - errors and miscalculations in the fabrication and construction process.
3. Significance:
 - group 1: threatening to collapse, weakening structures and potentially leading to accidents;
 - group 2: not threatening integrity, but weakening structures;
 - group 3: not leading to destruction, but requiring additional costs during operation.

The main defects of steel structures during their manufacture are:

- non-equivalent replacement of materials in the manufacture of structural elements (replacement of steel grade, type of electrodes, reduction of element cross-section);
- changes in the design dimensions of the structure as a whole and its individual elements;
- displacement of element axes from the design geometric centres of joint nodes of several elements;
- nonstraightness of elements;
- absence of required gaps between the jointed elements;
- reduction of welds cross-section length, poor welding quality, colouring of welds with unbroken slag;
- trimming the metal of supporting elements during welding;
- insufficient tightening of packages at bolted connections;
- coating of metal with primer without rust removal;
- defects of element joints (rivet heads, bolted joints, welded seams);
- defects of anticorrosion coatings (insufficient thickness, areas with no coating, etc.);
- sending steel products to the construction site without priming.

Common defects in the installation of steel structures include:

- violation of the correct installation sequence;
- inaccurate fitting and incorrect connection of elements in assembly units;
- displacement of structures from the design marks and axes;
- the absence of a structural element or connection;
- damage to structural elements during assembly (warping, warping, dents, etc.) [7].

The production process of steel building structures usually takes place at specialized steel construction plants (SCP) consisting of main and auxiliary production shops.

Technological efficiency, i.e. simplicity and convenience of their manufacture in factory conditions is one of the distinctive advantages of building steel structures. The more technologically advanced the structure, the lower the labour intensity of its manufacture, and therefore the final cost. Automation of manufacturing operations ensures the reduction of the cost of the finished structure [8–10].

The quality of a construction object depends not only on the quality of design and manufacturing, but also on the quality of construction and assembly works. During assembly of building structures, the main objectives are to ensure the spatial position of elements of building structures required by the project, mutual connection of structures with each other, and to ensure the safety of assembly works.

Currently, there is a large number of types and methods of installation, so the installation of building structures is allocated to a separate branch of construction production.

The assembly of building structures is a complex process of assembling buildings from individual, pre-fabricated elements. The assembly processes are divided into transport, preparatory and actual assembly. To perform all these processes together, assembly, rigging and transport means are used.

The assembly processes include gripping of structures with lifting equipment, lifting or moving them to the installation site, direct installation on supports, verification of correct spatial position, temporary and permanent fixing.

Construction projects are becoming more and more complex every year, the amount of installation work in construction is increasing.

Increasing the efficiency of installation works is based on the application of progressive methods of work production, increasing the level of automation and mechanization of works.

During assembly, errors may occur in the horizontal and vertical positioning of structures in the design position. The errors that are within the permitted tolerances are called tolerances. Tolerances of geometric dimensions in construction are divided into functional and technological tolerances.

The assignment of tolerances is required to ensure that structures are accurately assembled from independently manufactured components to meet the requirements during the operational phase.

Functional tolerances are specified taking into account the requirements for strength, insulating properties or aesthetic reasons. Functional tolerances set requirements for the accuracy of geometric parameters in the joints of structures, accuracy of their mutual arrangement.

Manufacturing tolerances determine the accuracy of the manufacturing and installation of components. Manufacturing tolerances include tolerances of linear dimensions of elements, shape and mutual position of surfaces. Tolerances of linear dimensions regulate the accuracy of their manufacture in length, width, height, thickness, as well as the accuracy of landmarks applied to the elements [11].

The relevance of the work lies in the development of a design methodology for steel frames of multi-storey buildings taking into account manufacturing and installation errors. For the frame structure (Fig. 1) with rigid interfaces of elements, deviations from the design position lead to the appearance of additional, primarily bending moments, which can cause an earlier exhaustion of the load-bearing capacity.

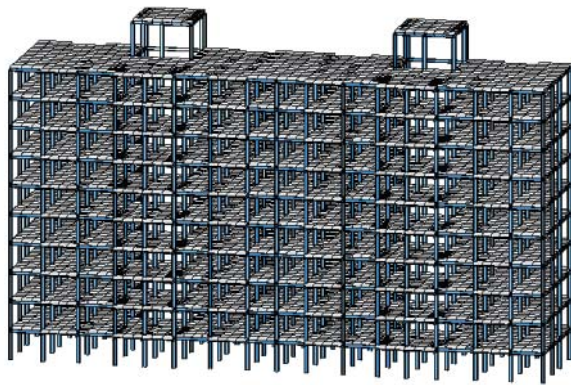
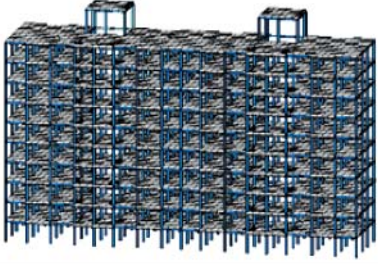


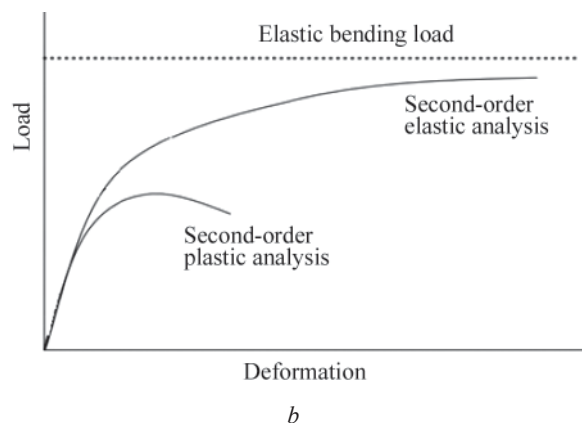
Fig. 1. Multi-storey building on a load-bearing frame structure

MATERIALS AND METHODS

Steel frames can be calculated in linear and non-linear formulation. Linear calculation does not take into account the deformation of the system under load action and accumulated forces in the frame elements. In the nonlinear approach the calculation is performed by several methods (Fig. 2).

		Ideal form	Initial imperfections	Linear material	Nonlinear material
Second-order elastic analysis			x	x	
Second-order plastic analysis			x		x

a



b

Fig. 2. General characterization of steel frame calculation methods [12, 13]: a — methods of calculation; b — load-strain curve for different calculation types

1. *Second-order elastic analysis* is an analysis that takes into account geometric nonlinearity. Such calculation allows to reveal the loss of general stability of the system in the elastic stage of operation, but taking into account the changes in the geometry of the structure and the accumulated forces in the frame elements with load growth. The presence of initial imperfections in the frame of a multi-storey building contributes to a faster deviation of the position of the frame elements from the design position during loading and to an earlier achievement of the ultimate load.

2. *Second-order plastic analysis* is an analysis that takes into account not only the deformed pattern but also the nature (diagram) of the deformation of the material. The equations of equilibrium are written for the deformed shape, and both physical and geometric nonlinearity are taken into account.

This type of analysis is best suited for modelling the actual behaviour of the structure and calculating the inelastic stability limit, i.e. when plastic deformations develop in the material of the structure under loading.

Previous studies show that the analysis based on the calculation of an idealized multi-storey steel frame structure without taking into account the imperfections often does not ensure the load-bearing capacity of the building and does not meet the operational requirements for allowable displacements of the frames [14].

The assessment of the influence of initial imperfections was performed on the example of the frame structure of a 10-storey residential building located in 4 snow and 4 wind districts. The building has a rectangular plan with plan dimensions of 54.4×12.3 m. The height of the storey is 2.95 m. The building is without a basement. The pitch of transverse frames is variable in longitudinal direction 3.0, 3.3, 3.6, 3.8 and 3.9 metres. In the transverse direction the column spacing is 4.3, 3.3 and 4.7 m. Fig. 3 shows the plan of the building, Fig. 4 shows the section.

The frame is a load-bearing rod system in which the columns and beams are rigidly connected to each other and the columns are rigidly attached to the foundation. The rigid fixing of the frame elements to each other ensures spatial stability and rigidity.

The floors of the building are made in the form of a monolithic reinforced concrete slab on a profiled deck.

The walls of the building are framed and clad. In the design of the frame calculation, the weight of the walls is taken into account approximated and assumed to be 1 kPa.

The stability and stiffness of the frame in the plane of the transverse frame is ensured by the rigid connection between the transoms and the columns and between the columns and the foundation. From the plane of the transverse frame, the stability is ensured by a system of vertical connections. The vertical load-bearing structures of the frame — columns are located at the intersections of the axes. Columns and floor beams are made of rolled I-beams according to GOST R 57837–2017¹. Steel of columns and beams C345.

¹ GOST R 57837–2017. Hot-rolled steel I-beams with parallel faces of flanges. Technical conditions.

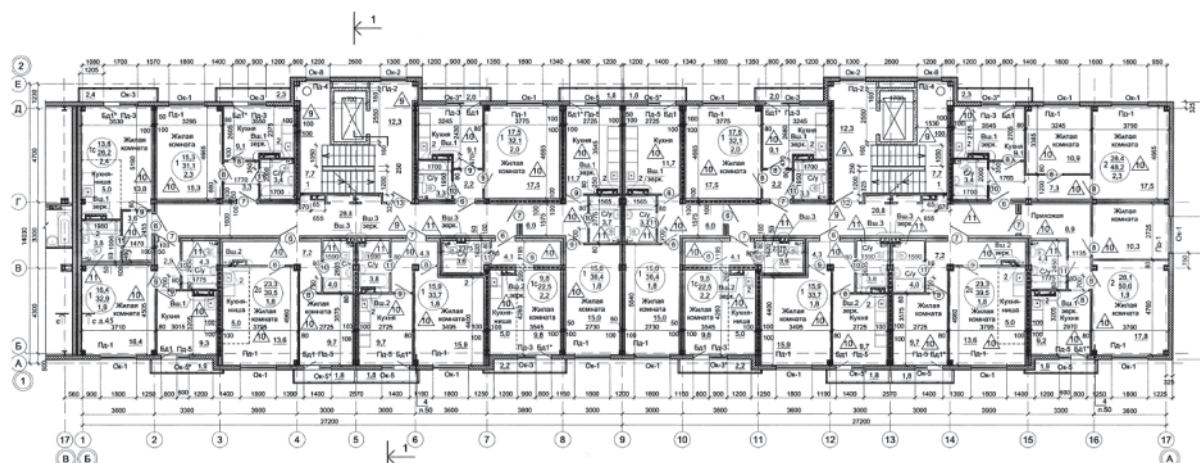


Fig. 3. Typical floor plan

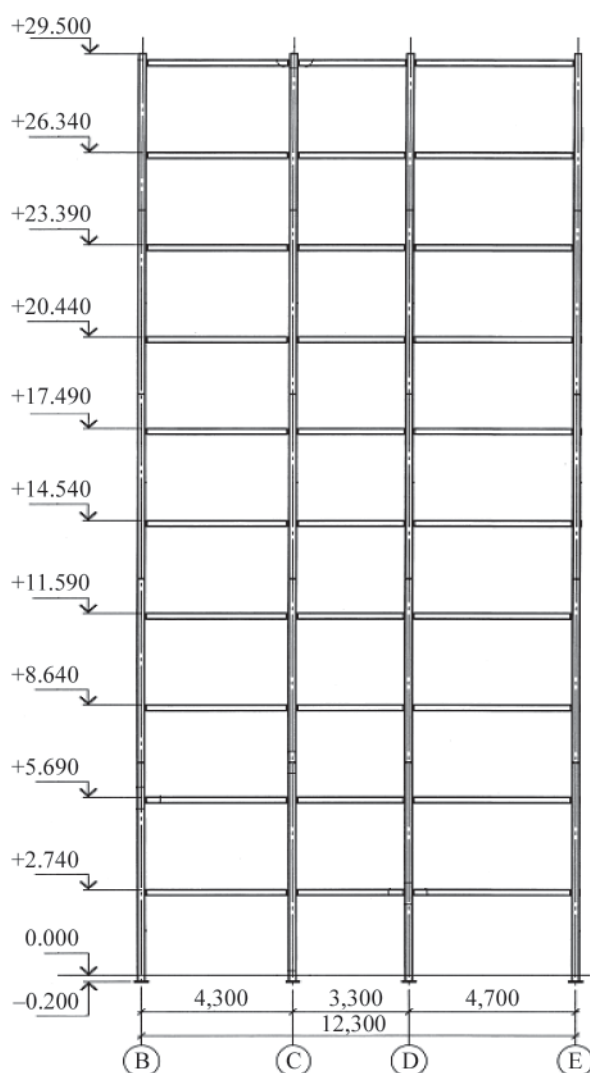


Fig. 4. Section of the frame

The weight of the steel frame is taken into account by the calculation system for the cross-sections of the elements. When determining the load from the frame's own weight, the load reliability factor of

1.05 and the construction factor of 1.2, which takes into account the presence of ribs, linings, mouldings and support plates, are taken into account. The load on the steel floor ledgers is determined taking into account the width of the load area equal to the pitch of the transversal frames.

For snow region IV, the normative snow load is 2.0 kPa, the design load is 2.8 kPa. For wind region IV, the normative wind pressure is 0.48 kPa, the design load is 0.672 kPa.

The following is taken into account in the calculation. The finite element model of the frame is a rod model. The work of a separate flat frame is considered, which takes into account the peculiarities of the frame design. LIRA-SAPR 2021 computer complex was used for the calculation. Table 1 shows the types of stiffnesses and cross-sections of frame elements [15].

Table 1. Types of stiffnesses of frame elements

Stiffness type	Name of element	Section
1	Columns	35K2
2	Beams	30B2

The load² was applied to the calculation scheme in the form of 5 loads:

1. Weight of load-bearing structures;
2. Constant load — the weight of the building envelope;
3. Payload;
4. Snow load;
5. Wind load.

Initial imperfections of the frame are accepted in accordance with the current Russian norms³. The col-

² CP 20.13330.2016. Loads and impacts. Updated version of SNiP 2.01.07–85*.

³ CP 70.13330.2012. Bearing and enclosing structures. Updated edition of SNiP 3.03.01–87.

umns in the building are assumed to be of two-storey length of 5,900 mm. The vertical deviation of the column top at this section in the plane of the transverse frame is considered. The value of this deviation is 15 mm. In addition to the deviation from the vertical, the initial column death in the plane of the transverse frame with a boom of 0.0015 length or 8.85 mm is also considered. These deviations from the design geometry were accounted for in the geometry of the finite element model. For this purpose the column was divided into ten equal parts, the coordinates of the nodes were determined taking into account the accepted deviations in the form of displacement of the top of the column by 15 mm and 8.85 mm deflection. The accepted deflections of the column were accumulated up to the top of the building to reserve the bearing capacity. The total column deflection at the top of the building is 75 mm [16]. The above loads were applied to the design scheme with distorted geometry and the calculation of forces and displacements was performed. This method of calculation most reliably reflects the performance of the frame, but its application involves a rather labour-intensive procedure of forming the geometry of the frame, taking into account the errors of manufacturing and installation.

In addition to the direct consideration of the distorted geometry, calculations were performed with additional distributed horizontal loads applied at each floor according to Eurocode 1993-1-1⁴ [17–20]. According to Eurocode methodology, the deviation from the design position is accounted for by an additional horizontal load applied to the undeformed structure at the floor level of each floor. The horizontal load is determined only from the vertical loads on the frame. The additional horizontal loads are designed to give the same moment in the columns, which directly accounts for the initial imperfections in the geometry of the structure. In the European Standards, initial imperfections are accounted for each loading with vertical loads by additional horizontal loads: concentrated forces at the level of each slab and loads distributed along the length of the columns.

1. Initial imperfections in the form of deviations from the vertical (transverse deviations) are accounted for by concentrated horizontal forces at the level of each slab:

$N = \varphi G$ horizontal load from the vertical load on the slab,

where G is the total vertical load on the floor slab from the corresponding loading.

$$\varphi = \varphi_0 \alpha_h \alpha_m,$$

where $\varphi_0 = 1/2000$, $\alpha_h = 2/\sqrt{h}$, but $2/3 \leq \alpha_h \leq 1.0$ reduction factor taking into account the column height h — height of the building.

$\alpha_m = \sqrt{0.5(1+1/m)}$ — reducing coefficient taking into account the number of columns in the row; m — number of columns in the row.

⁴ EN 1993-1-1:2005. Design of steel structures. General rules.

Given a column height of 29.5 metres and four columns in a row, the ratio $\varphi = 0.005 \cdot 1 \cdot 0.79 = 0.004$.

2. Relative initial local bending imperfections of the elements in case of flat form of stability loss are accounted for by horizontal loads distributed along the length of the column:

$$q = 4Ge_0/L,$$

where G is the total vertical load on the floor slab from the corresponding loading;

$e_0/L = 1/350 \sim 1/100$ — is the equivalent initial local curvature; L is the actual length of the element.

In the calculation, it is assumed $e_0/L = 1/300$, then $q = G/75$.

In the following, two ways of calculating the deviated frame were considered:

- method 1: calculation of the frame with modified geometry;
- method 2: calculation of the ideal frame taking into account additional horizontal loads according to Eurocode methodology.

In addition to the calculations according to the 1st and 2nd variants of imperfection accounting, the ideal frame with the design geometry and without taking into account additional horizontal influences was calculated. The displacements and forces of characteristic points and sections of the frame obtained by different methods were compared with each other. The influence of imperfections on displacements and forces from individual loads was studied.

All calculations were carried out at elastic behaviour of the steel. The calculations were performed in geometrically linear and nonlinear formulations.

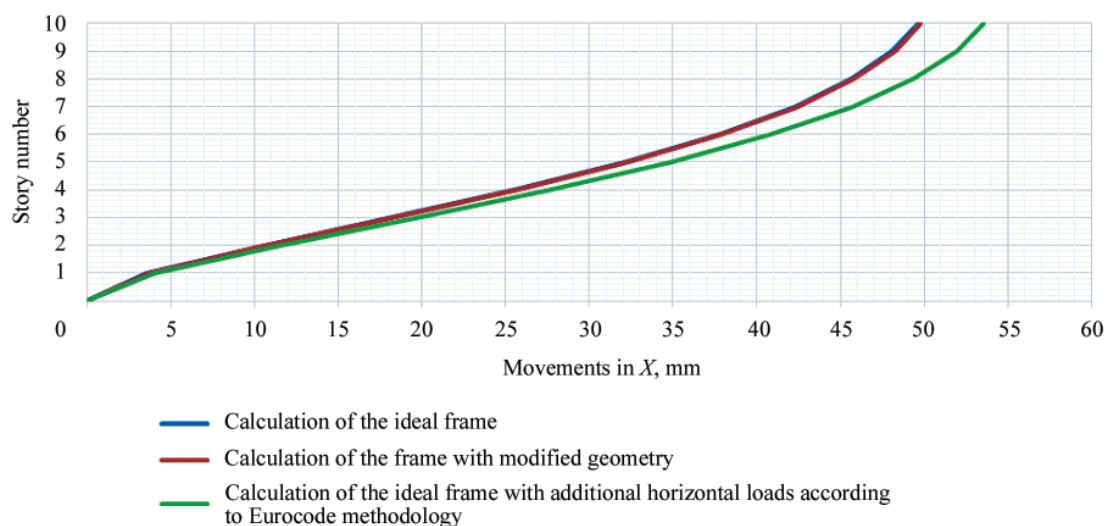
The cross-sections of the frame elements were initially selected so that its load-bearing capacity under the action of combinations of design loads was ensured. The design load combination includes permanent, snow, useful and wind loads. Constant and useful loads are taken with the 1st combination factor, wind load with a combination factor of 0.9, snow load with a combination factor of 0.7.

RESEARCH RESULTS

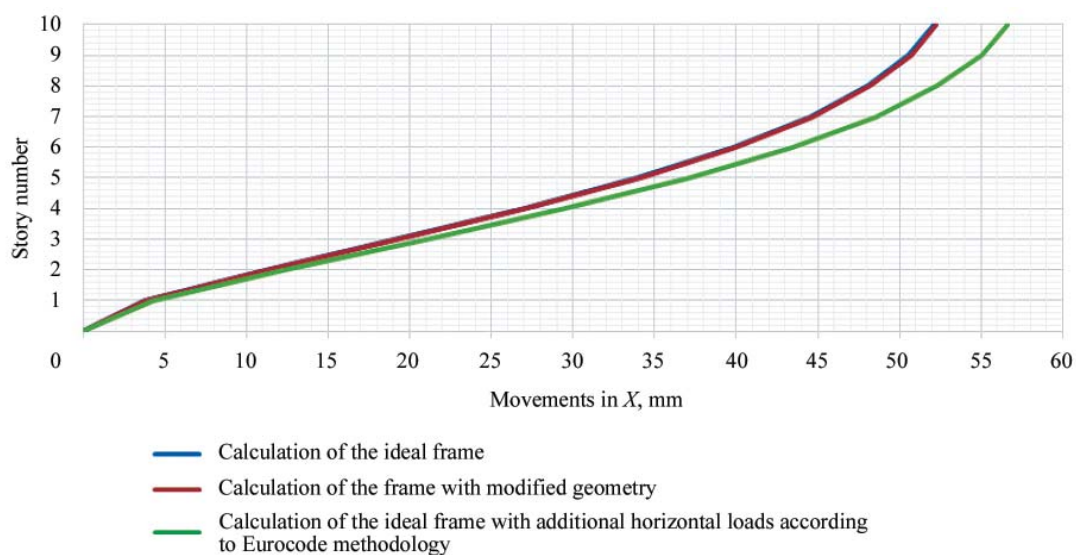
The results of the frame calculation were analyzed to reveal the influence of different ways of accounting for geometrical imperfections on displacements and forces. The displacements and forces obtained by linear and non-linear calculation are compared.

Fig. 5 shows the displacements of the frame, obtained by calculating by different methods, from the design combination of loads.

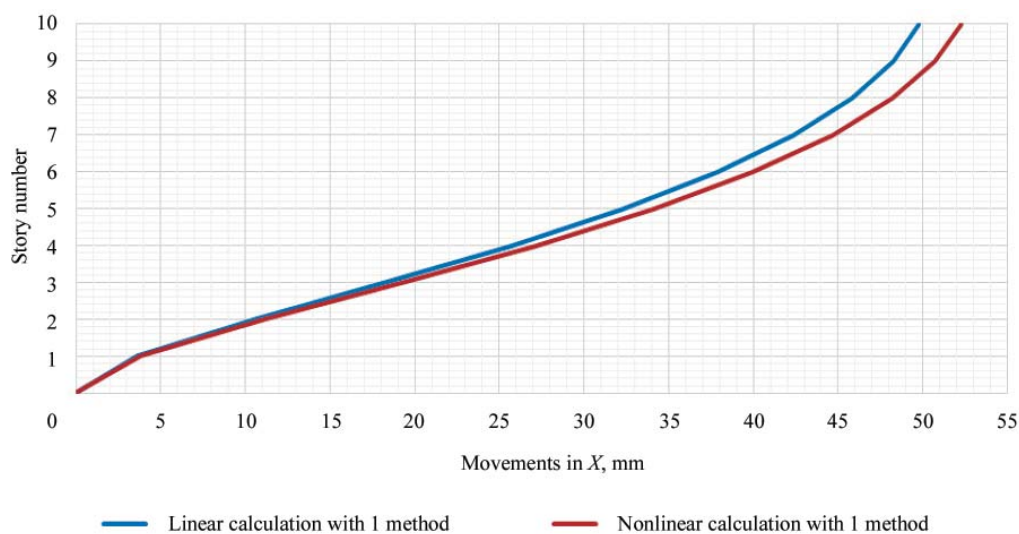
Horizontal displacements of the top of the building when taking into account the imperfections of the frame 1st method exceed the displacements of the ideal frame by 0.33 %. It should be noted that the use of Eurocode methodology in comparison with the direct consideration of imperfections in the geometry of the calculation scheme leads to displacements greater by 7.6 %. Tak-



a



b



c

Fig. 5. Horizontal displacements of the frame of a multi-storey building from the design load combination, mm: *a* — linear; *b* — non-linear; *c* — comparison of linear and non-linear calculation with the 1st calculation method

ing into account the non-linear work of the frame leads to an increase in displacements by 5 %.

Fig. 6 shows the variation of longitudinal forces in the middle column along the height of the building for linear and non-linear calculation. The greatest difference in the values of longitudinal forces is observed in the columns of the lower floors, so the graph shows the dependence of longitudinal forces for columns 1–5 floors.

Table 2 shows the longitudinal force analysis for columns 1–5 floors for the middle columns.

The analysis of the influence of frame imperfections on the longitudinal forces in the columns has shown that in comparison with the ideal frame the 1st calculation method gives longitudinal forces higher by 0.13 %. When Eurocode methodology is used, the longitudinal forces are 0.6 % higher compared to the 1st method of imperfections. Nonlinear calculation increases longitudinal forces by 0.4 % compared to linear calculation. In the outermost columns, the longitudinal forces are 0.25 % higher than in the ideal frame with direct consideration of geometrical imperfections.

Fig. 7. shows the variation of bending moments in the middle column along the height of the building for linear and nonlinear calculation.

Table 3 shows the analysis of bending moments for columns of floors 1–5 for the middle columns.

The analysis of the influence of the frame imperfections on the bending moments in the columns of the 1st–5th floors showed that compared to the ideal frame, the 1st calculation method gives bending moments higher by 12.0 %. When using the 2nd calculation method the bending moments in columns of 1–5 storeys in comparison with the ideal frame are 26 % higher. The use of Eurocode method gives bending moments in columns in comparison with 1st method by 13.0 % more. Nonlinear calculation increases bending moments in columns compared to linear calculation by 7.6 %.

Table 4 shows the analysis of bending moments for columns of 6–10 storeys from the design load combination.

The analysis of the influence of frame imperfections on bending moments in columns of 6–10 storeys showed that in comparison with the ideal frame 1st method of calculation gives bending moments more by 23.78 %. The use of Eurocode method gives bending moments in columns in comparison with ideal frame by 7.1 % more. Nonlinear calculation increases bending moments in columns compared to linear calculation by 7.0 %.

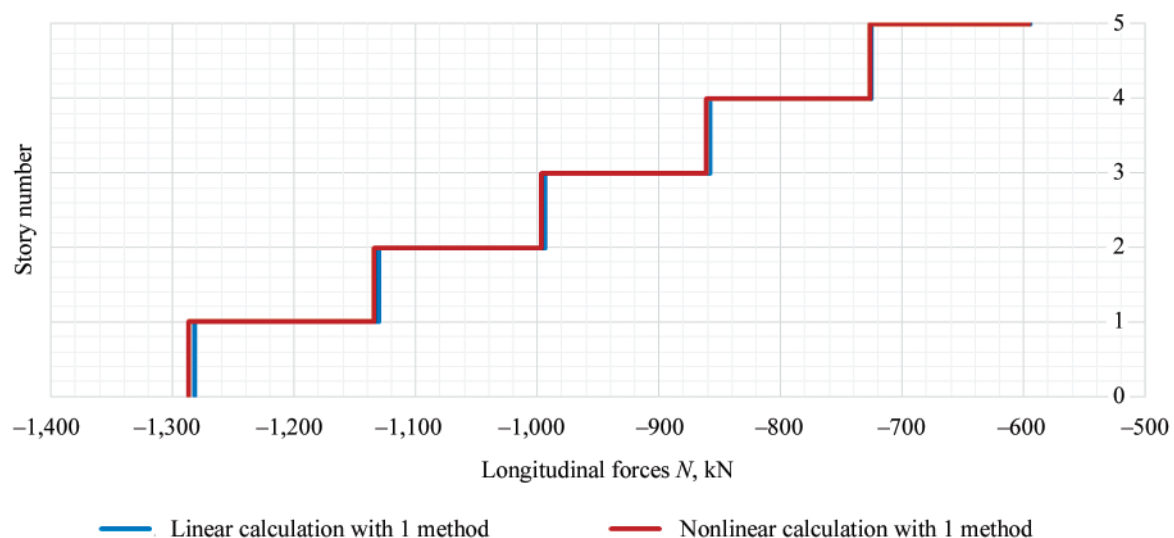


Fig. 6. Longitudinal forces in the middle column for 1–5 storeys with the 1st calculation method from the design combination of loads of forces

Table 2. Analysis of longitudinal forces in the middle columns of floors 1–5 from the design load combination

Linear calculation				Nonlinear calculation			
Story number	Perfect	1 way	2 way	Story number	Perfect	1 way	2 way
1	–1,280.58	–1,281.89	–1,289.44	1	–1,285.37	–1,286.73	–1,295.53
2	–1,128.83	–1,130.27	–1,136.38	2	–1,132.92	–1,134.38	–1,141.51
3	–992.83	–993.64	–998.84	3	–995.93	–996.74	–1,002.71
4	–857.75	–858.55	–862.14	4	–859.88	–860.68	–864.76
5	–724.94	–725.22	–728.02	5	–726.26	–726.54	–729.64

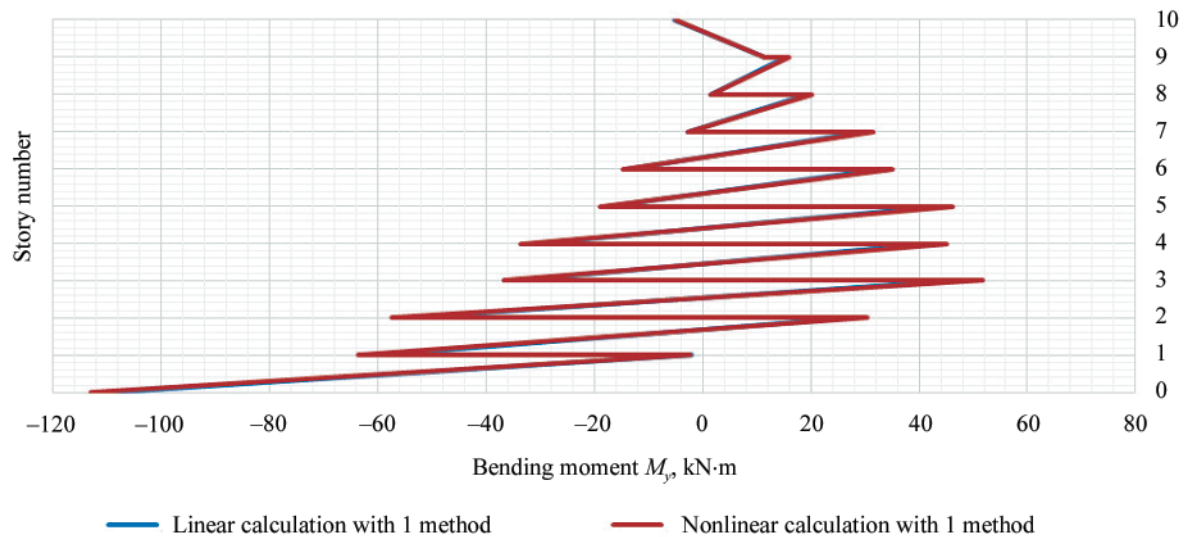


Fig. 7. Bending moments in the middle column with 1st calculation method from the design load combination

Table 3. Analysis of bending moments in the middle columns of floors 1–5 for the design load combination

Linear calculation				Nonlinear calculation			
Story number	Perfect	1 way	2 way	Story number	Perfect	1 way	2 way
1 bottom	–97.40	–109.00	–123.00	1 bottom	–102.00	–113.00	–130.00
1 top	–3.58	–2.03	2.38	1 top	–3.67	–2.26	2.93
2 bottom	–58.80	–59.20	–61.40	2 bottom	–63.40	–63.70	–66.60
2 tops	33.50	28.00	26.40	2 top	36.00	30.50	29.10
3 bottom	–46.10	–53.90	–63.10	3 bottom	–49.70	–57.50	–68.10
3 tops	45.30	48.10	55.40	3 tops	48.80	51.70	60.50
4 bottom	–34.70	–34.30	–35.00	4 bottom	–37.20	–36.80	–37.60
4 top	45.00	41.50	41.50	4 top	48.50	45.00	45.60
5 bottom	–26.50	–31.90	–38.50	5 bottom	–28.10	–33.60	–40.90
5 top	40.90	43.30	49.30	5 top	43.90	46.30	53.30

Table 4. Analysis of bending moments in middle columns of 6–10 storeys from design load combination

Linear calculation				Nonlinear calculation			
Story number	Perfect	1 way	2 way	Story number	Perfect	1 way	2 way
6 bottom	35.00	32.80	33.00	6 bottom	37.30	35.10	35.80
6 tops	–10.90	–14.30	–18.60	6 tops	–11.40	–14.80	–19.30
7 bottom	28.30	30.00	34.20	7 bottom	30.00	31.60	36.40
7 tops	–3.15	–2.61	–2.28	7 tops	–3.32	–2.77	–2.36
8 bottom	20.30	19.20	19.50	8 bottom	21.30	20.20	20.70
8 top	3.09	1.53	0.43	8 top	3.10	1.57	–0.43
9 bottom	14.50	15.40	17.60	9 bottom	15.10	16.00	18.40
9 top	11.10	11.60	12.20	9 top	11.20	11.60	12.30
10 bottom	–5.08	–5.18	–4.96	10 bottom	–4.82	–4.92	–4.66

Fig. 8 shows the variation of bending moments in the floor joists of the 1st floor for the ideal frame and 1st method of taking into account deviations from the design load combination.

Table 5 shows the bending moment analyses of the floor beams of 1.5 and 10 storeys.

The analysis of the influence of frame imperfections on the bending moments in the floor joists showed that the most significant influence of frame deflections had on the moments in the 1st floor joists. Compared to the ideal frame, the 1st calculation method gives bending moments higher by 1.5 %. Using Eurocode method

gives bending moments in the floor joists 5.2 % higher than in the 1st method.

When analyzing the results, it should be taken into account that the direct consideration of assembly and fabrication errors in the frame geometry is more correct, but requires the formation of more complex calculation schemes that take into account the frame geometry errors. Displacements and forces obtained by linear calculation of the frame structure do not differ much from the results of non-linear calculation, which allows to recommend the linear method of calculation for the frame structure.

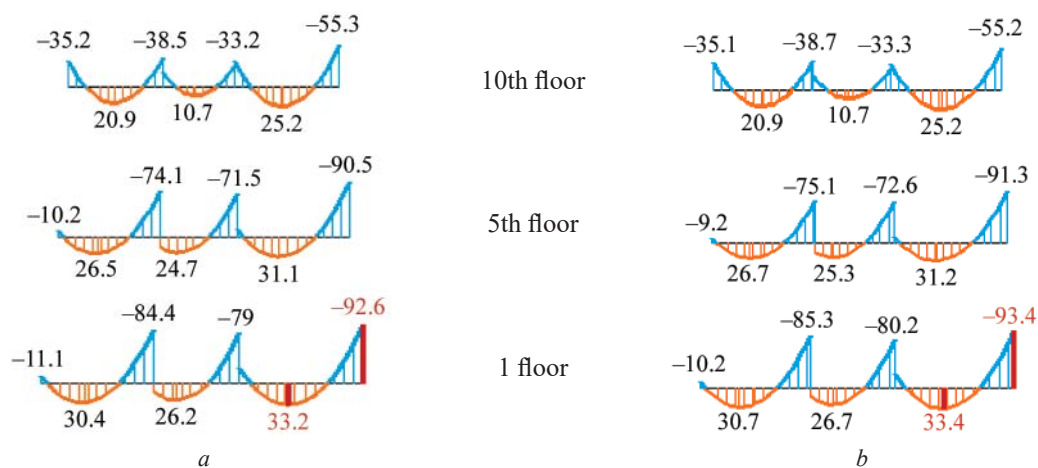


Fig. 8. Bending moments of floor beams of the 1st floor for ideal frame and 1st method of taking into account deviations from the design load combination: *a* — ideal frame (floor joists of 1.5 and 10 storeys); *b* — 1st method of deflection accounting (floor beams of 1.5 and 10 storeys)

Table 5. Bending moments in floor beams of 1, 5 and 10 storeys from design load combination

Bending moments, kN/m									
Story number	<i>Perfect</i>								
	B1			B2			B3		
	Axis B	Aisle	Axis V	Axis V	Aisle	Axis G	Axis G	Aisle	Axis D
1	11.10	-30.40	84.40	-12.00	-26.20	79.00	23.80	-33.20	92.60
5	10.20	-26.50	74.10	-15.10	-24.70	71.50	12.00	-31.10	90.50
10	35.20	-20.90	38.50	18.80	-10.70	28.20	33.20	-25.20	55.30
Story number	<i>1 way</i>								
	B1			B2			B3		
	Axis B	Aisle	Axis V	Axis V	Aisle	Axis G	Axis G	Aisle	Axis D
1	10.20	-30.70	85.30	-13.20	-26.70	80.20	23.00	-33.40	93.40
5	9.20	-26.70	75.10	-16.20	-25.30	72.60	11.30	-31.20	91.30
10	35.10	-20.90	38.70	18.80	-10.70	28.10	33.30	-25.20	55.20
Story number	<i>2 way</i>								
	B1			B2			B3		
	Axis B	Aisle	Axis V	Axis V	Aisle	Axis G	Axis G	Aisle	Axis D
1	6.51	-31.80	88.90	-17.70	-28.90	84.60	19.70	-33.90	96.90
5	5.94	-27.70	78.20	-20.10	-27.40	76.40	8.30	-31.90	94.30
10	34.90	-20.90	38.90	18.80	-10.70	28.20	33.10	-25.20	55.50

CONCLUSION AND DISCUSSION

On the basis of calculations of the stress-strain state of the frame of a multi-storey building it is established that direct accounting of manufacturing and assembly errors in the geometry of the frame allows a more accurate assessment of the frame performance. The use of Eurocode methodology with additional horizontal loads at the level of each storey with the use of frame structure leads to overestimated displacements and forces compared to the actual ones. It was found that the frame structure fabrication and installation errors:

- have little effect on the horizontal displacements, which increase to 0.33 % and on the longitudinal forces in the columns, which increase to 0.13 %;
- significantly affect the bending moments in columns of 1–5 storeys, which increase up to 12.0 %, and in columns of 6–10 storeys up to 23.78 %;
- when carrying out practical calculations to take into account the influence of frame deviations from

the design geometry, it is possible to calculate the idealized design scheme with multiplication of the results by correction factors: for bending moments in columns 1–5 floors $\gamma_{cM} = 1.12$ and in columns 6–10 floors $\gamma_{cM} = 1.24$. Displacements and longitudinal forces in columns obtained by the idealized frame calculation can be used in the design of the actual frame without correction factors;

- the changes in the bending moments in the floor beams obtained by the actual calculation can be neglected.

To reduce the deviations of the frame from the design geometry, it is necessary to follow technological measures to compensate for manufacturing and assembly errors.

The results obtained for the main study can be considered valid only for the considered frame design. To develop normative recommendations, it is necessary to conduct theoretical, experimental and numerical studies of a wide group of multi-storey frames.

REFERENCES

1. Kudishin Iu.I., Belenia E.I., Ignat'eva V.S. *Metal structures : textbook for students of higher educational institutions*. Moscow, Academy. 2008; 688. (rus.).
2. Tur'eva A.V. Steel frame of a multi-storey building: advantages and rigidity. *Severgeoe-kotekh-2013 : Materials of the XIV International Youth Scientific Conference : in 5 parts*. (Ukhta, March 20–22, 2013). Ukhta, 2013. (rus.).
3. Farrell T.Dzh., Pinon Dzh.P., Shein K.D. Construction of building fencing for modular construction. *3rd Conference on design and construction of residential buildings (March 2–3, 2016)*. State College, Pennsylvania. 2016; 12-28.
4. Ganiron Jr. T.U., Al'marve M. Prefabricated technology in modular housing construction. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2014; 73:51-74. DOI: 10.14257/ijast.2014.73.04
5. Lebed' E.V., Ibragimov A.M. *Designing a metal frame of a multi-storey building : educational and methodical manual*. Moscow, MISI – MGSU, 2020. (rus.).
6. Tusnin A.R., Rybakov V.A., Nazmeeva T.V. *Design of metal structures. Part 2: Metal structures. Special course : textbook*. Moscow, Pero Publ., 2020; 436. (rus.).
7. Vasil'ev A.A., Dzirko S.V., Mikhasev V.A. *Defects in manufacturing, installation, construction of elements and structures of buildings and structures: an educational method manual*. Gomel, BelGUT, 2010; 147. (rus.).
8. Krokhaev V.G., Chebykin A.A. *Technology of manufacturing metal structures*. Yekaterinburg, House of the Ural University. 2017; 180. (rus.).
9. Goreva. V.V. *Metal structures. Special structures and structures : in 3 volumes*. Vol. 3. Moscow, Higher School Publ., 2002; 544. (rus.).
10. Kudishin Yu.I. *Metal structures*. Moscow, Academy Publ., 2011; 688. (rus.).
11. Statsenko A.S. *Installation of steel and reinforced concrete structures : textbook*. Minsk, Republican Institute of Vocational Education (RIPO), 2016; 468.
12. Dhiman S., Nauman M., Islam N. *Behaviour of multistory steel structure with different types of bracing systems*. International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES). 2015; 4(1):70-82.
13. Novoselov A.A., Khusenova I.A. The influence of the type of connections on the deformability of the frame of a multi-storey building with a steel frame. *Questions of Construction and Engineering Equipment of Railway Transport Projects : materials of the scientific and practical conference (Novosibirsk, March 22, 2017)*. Novosibirsk, 2017; 27-34. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32171892> (rus.).
14. Vedyakov I.I., Konin D.V., Odessa P.D. *Steel structures of high-rise buildings*. Moscow, ASV Publ., 2014; 272. (rus.).
15. Khamati Yu. Control of the accuracy of the installation of steel frame structures. *Days of Student Science : collection of reports of the scientific and technical conference on the results of research works of students of the Institute of Construction and Architecture (ISA) NRU MGSU (Moscow, February 28 – March 4, 2022)*. Moscow, 2022; 917-919. (rus.).
16. Tsaritova N.G., Lagutina D.R. Analysis of existing nodal joints of spatial structures and develop-

ment of a hinged node. *Modern Construction and Architecture*. 2020; 4(20):26-30. DOI: 10.18454/mca.2020.20.3 (rus.).

17. *Efficient residential buildings on a steel frame : methodical manual/Engineering Center of the Association for the Development of Steel Construction*. Moscow, AXIOM GRAPHICS UNION, 2018; 41. (rus.).

18. Konin D.V. Statistical evaluation of inaccuracies in the installation of columns of metal frames of

high-rise buildings. *Construction Mechanics and Calculation of Structures*. 2010; 6:12-19. (rus.).

19. *Metal structures : handbook* / ed. by V.V. Kuznetsov. Moscow, ASV Publ., 1999; 528. (rus.).

20. Smirnov V.V., Svittsov M.A., Shileeva A.Yu., Shikhova E.N., Ponikarova Yu.E. Analysis of defects and damages of metal structures of buildings of metallurgical industries. *European Science*. 2015; 8(9):51-54. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24482921> (rus.).

Received May 25, 2023.

Adopted in revised form on July 24, 2023.

Approved for publication on July 24, 2023.

B I O N O T E S : **Youssef R. Hamaty** — postgraduate student of the Department of Metal and Wooden Structures, researcher, engineer; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 1120236; YoussefHamaty@outlook.com;

Alexander R. Tusnin — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, head of the Department of Metal and Wooden Structures, Director of the Institute of Industrial and Civil Engineering; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 455914, Scopus: 6507367654, ORCID: 0000-0002-9997-9436; TusninAR@mgsu.ru.

Contribution of the authors: all authors made an equal contribution to the preparation of the paper.

The authors declare that there is no conflict of interest.

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

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 711.4-163:624.1

DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.2

Концепция реновации микрорайона

Артур Владимирович Манько, Валерия Александровна Виноградова,
Мария Игоревна Воропаева, Алина Андреевна Ганьшина,
Ольга Сергеевна Матюхова

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В течение многих десятилетий предпринимались попытки, и порой успешные, по созданию уникальных городских районов. Но эти районы были разработаны в основном как единичные варианты формирования городской среды. Возводили районы многоэтажной застройки по усредненным требованиям к комфорту городской среды. В настоящее время эти районы уже не удовлетворяют требованиям проживания, необходима реновация в соответствии с современным представлением о комфортном проживании. Исследование основано на российских и зарубежных градостроительных проектах реновации районов с массовой многоэтажной застройкой.

Материалы и методы. Исходя из анализа отечественного и зарубежного градостроительного опыта по формированию комфортной жизненной среды в районах и микрорайонах больших городов, предлагается концептуальный проект комплексного реновирования городских районов массовой застройки 1960–2000-х гг.

Результаты. На примере района метро Лесопарковая приведена концепция по реновации района, созданию более комфортной среды обитания, привлечению в район отдыхающих, новых жителей, работников на новые рабочие места путем создания сооружения — аттрактор с освоением подземного пространства. Представленные две концепции данного сооружения будут привлекать людей для посещения района и пользования общественным транспортом, а именно — метро Лесопарковая Бутовской линии.

Выводы. Представленная концепция может служить базисной для реновирования районов с массовой застройкой. Для этого необходим так называемый аттрактор, который будет привлекать определенные слои населения, а также комплексное развитие района в целом. Требуется, чтобы концепция районов не повторялась и была уникальной.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: реновация, микрорайон, аттрактор, концепция, подземное сооружение, торгово-рекреационный центр, район массовых застроек

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Манько А.В., Виноградова В.А., Воропаева М.И., Ганьшина А.А., Матюхова О.С. Концепция реновации микрорайона // Строительство: наука и образование. 2023. Т. 13. Вып. 3. Ст. 2. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.2

Автор, ответственный за переписку: Артур Владимирович Манько, arthur_manko@mail.ru.

Neighbourhood renovation concept

Arthur V. Manko, Valeria A. Vinogradova, Maria I. Voropaeva, Alina A. Ganshina,
Olga S. Matyukhova

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

ABSTRACT

Introduction. For many decades there have already been attempts, and sometimes very successful, to create unique urban areas. But these areas were developed mainly as single variants on the formation of urban environment. Basically, they built areas of multi-story buildings according to the average requirements for the comfort of the urban environment. In the modern world, these areas no longer meet the requirements of living and require renovation in accordance with the modern concepts of comfortable living. A study based on Russian and foreign urban planning projects of renovation of areas with mass multi-story buildings is presented.

Materials and methods. Based on the analysis of domestic and foreign urban planning experience in the formation of comfortable living environment in the districts and neighbourhoods of large cities, a conceptual project of comprehensive renovation of urban areas of mass construction of 1960s–2000s is proposed.

Results. On the example of the Lesoparkovaya metro area the concept of renovation of the area, creation of more comfortable living environment, attraction of holidaymakers, new residents, workers to new jobs to the areas by creating a structure — attractor with development of underground space is presented. Presented two concepts of this structure will attract people to visit the district and use public transport, namely — metro Lesoparkovaya, Butovskaya line.

Conclusions. The presented concept can serve as a baseline for the renovation of neighbourhoods with mass development. This requires a so-called attractor, which will attract certain segments of the population, as well as a comprehensive development of the whole neighbourhood. It is necessary that the concept of the neighbourhoods should not be repeated and should be unique. Therefore, everyone will be able to find a rest area, living and working area according to their interests.

KEYWORDS: renovation, microdistrict, attractor, concept, underground construction, shopping and recreational centre, mass development district

FOR CITATION: Manko A.V., Vinogradova V.A., Voropaeva M.I., Ganshina A.A., Matyukhova O.S. Neighbourhood renovation concept. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2023; 13(3):2. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.2

Corresponding author: Arthur V. Manko, arthur_manko@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В Национальном исследовательском Московском государственном строительном университете студентам научного кружка кафедры механики грунтов и геотехники было предложено решение кейса, который не имеет ничего общего с градостроительной концепцией г. Москвы.

Цель данного научного исследования — увеличение числа пассажиров на станции метро Лесопарковая Московского метрополитена. Основная идея кейса — реконструкция района м. Лесопарковая с точки зрения привлекательности проживания и отдыха, а также привлечение дополнительных людей в район для временного пребывания (работа, отдых, покупки в магазинах, посещение культурно-досуговых мероприятий и т.д.). Для этого необходимо провести реновацию района с возведением сооружений различного назначения с одновременным освоением подземного пространства. Район м. Лесопарковая взят как пример, который можно распространить на иные районы различных городов [1].

Район расположен на юге Москвы и ограничен с севера и запада Битцевским лесопарком, на юге Московской кольцевой автодорогой (МКАД) и на востоке Варшавским шоссе. В 2014 г. была открыта станция м. Лесопарковая Бутовской линии. Даже официальные лица¹ считали, что станция метро строится «на перспективу». Продолжительное время район, прилегающий к метро, имел только промзону, основу которой составлял торговый центр автомобильной тематики. В последние несколько лет началось активное строительство жилых домов ЖК «Лесопарковый».

В связи с этим можно сделать вывод, что данный район формируется по типу обычных спальных районов, создание которых началось в Москве

в 60-х гг. XX в. [2]. В настоящее время² вместо культурно-досуговых мест на незастроенной территории в районе метро реализуется идея транспортно-пересадочного узла (ТПУ) [3].

Существующая сегодня проблема района, которая так и не решена, это транспортная доступность автомобильным транспортом. В район м. Лесопарковая имеется въезд–выезд со стороны Варшавского шоссе и МКАД. С запада района по Варшавскому шоссе возможен въезд из центра, а выезд в сторону области или на внутреннюю сторону МКАД. На юге района также есть въезд и выезд на внутреннюю сторону МКАД. Напрямую из района въезд–выезд автотранспорта невозможен, это можно сделать, только используя развязки на МКАД и частично кольцевую автодорогу: въезды 35А и 32, а также внутреннюю автодорогу рынка «Каширский дворик». Это неудобно, и без строительства еще одной транспортной развязки существование ТПУ не представляется логичным. Также без дополнительных транспортных развязок не обойтись и жилому комплексу, возведение которого ведется уже несколько лет.

Так как основная задача настоящего исследования заключается в привлечении людей в район посредством метро и желательном последующем обновлении контингента каждые 2–3 часа, то вопрос строительства ТПУ не будет рассматриваться. Вернее, не будет рассматриваться как основной, поскольку использование ТПУ для пересадки с личного автотранспорта на общественный (в данном случае метро) приведет к тому, что человек в начале рабочего дня уедет и в конце дня приедет на станцию метро. И таких людей будет столько, сколько парковочных мест пеехватывающей парковки. Со-

¹ Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы. URL: <https://stroi.mos.ru/metro/station/21>

² Транспортно-пересадочный узел «Лесопарковая» станет вокзалом для междугородних автобусов. URL: <https://www.msk.kp.ru/daily/27406/4603683/>

гласно статистике³ в городах на автомобилях передвигается 1,3 человека. Строительство автобусного вокзала в рамках ТПУ приведет к тому, что человек воспользуется станцией метро только один раз. К тому же в радиусе трех километров от станции метро находится пять автовокзалов, что составит конкуренцию строящемуся автовокзалу и уменьшит потенциальное количество пассажиров через станцию м. Лесопарковая. Следовательно, требуется создать все условия для того, чтобы люди как можно чаще пользовались общественным транспортом — метро. И для этого простого ТПУ недостаточно.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Процесс реновации городских районов — это переустройство функционала той или иной территории. Жизнь не стоит на месте, и общество испытывает потребности в смене функционала, новых видах досуговой деятельности, жилой среды. Во времена СССР с 50-х гг. XX в. приняты основные принципы зонирования районов в целом и микрорайонов в частности. В соответствии с работой [4] в 1952 г. жилые районы–микрорайоны были разбиты на кварталы, где прокладывались внутриквартальные проезды кольцевого типа. Дома в квартале проектировались по четыре дома и торцами примыкали друг к другу, образуя в плане четырехугольник. Этот способ устройства домов назывался «двор». Всего в квартале было 3 двора. При каждом дворе необходимо было устраивать хозяйственную площадку и площадку для детей. Для целого квартала создавали еще одну площадку отдыха взрослых, цветник и спортивную площадку. На всем остальном пространстве проводили озеленение деревьями.

Соответственно индустриальные и общественные кварталы и районы были тоже зонированы, но не так, как это было, начиная с 20-х гг., когда жилые дома в квартале могли соседствовать с сооружениями культурного, спортивного или промышленного назначения. Индустриальные кварталы должны быть расположены в соответствии с производственным циклом продукции, т.е. склады находиться в непосредственной близости от мест потребления продукции склада. Производство фанеры и дерево-стружечной плиты располагалось рядом с фабрикой мебели и т.д. [5].

К 1966 г. меняется понимание того, как следует зонировать жилые кварталы. Появляются понятия «жилая зона» и «спальный район» [6]. Одним из таких районов, разбитых на кварталы и спроектированных под новую концепцию, становится район Новые Черемушки [7]. Рассмотрим пример квартала № 9. Концепция определяла зоны, где существовали

жилые дома. В зависимости от количества квартир и потенциального количества жителей квартала устанавливалось необходимое количество мест в детских яслях и садах, которые обязательно возводили в каждом квартале. Общее количество домов в квартале — 16, в которых располагалось 982 квартиры. Также рассчитывалось и количество мест в школе, которая планировалась одна в квартале. Если не было места для размещения школы, то строили учебный комплекс из нескольких школ для жителей окружающих кварталов [8]. Также для квартала были запроектированы спортивные площадки, площадки для детей и тихого отдыха, плескательный бассейн, хозяйственные площадки, беседки, стоянки для машин и даже свой кинотеатр. И таких кварталов и районов возведено большое количество в городах нашей страны в 60–70-х гг. XX в.

В настоящее время в рамках реновации имеется множество проектов по реновации жилого фонда и районов, микрорайонов и кварталов. Был разработан концептуальный проект реновации квартала № 9 района Новые Черемушки [9]. В основе этого проекта лежит решение о сохранении историко-культурного значения объектов. Однако у части объектов придется изменить функциональность, что потребует изменения объемно-планировочных и конструктивных решений. Данный проект, по мнению авторов, позволит сохранить исторический облик квартала и привлечь дополнительные рабочие места, освоить под кварталом подземное пространство.

С целью комплексного развития микрорайонов с неудачной концепцией или при ее отсутствии, а также для реновации морально и физически устаревших районов можно обратиться к международному опыту [10]. Согласно этому опыту выделяется четыре среды формирования зарубежного города:

1. Даунтаун — это финансовый, культурный и административный центр любого зарубежного города. Географически это не всегда геометрический центр. Чаще всего даунтаун расположен ниже геометрического центра города, как бы внизу, и отсюда название. В зависимости от размеров города размер даунтауна может состоять из двух-трех зданий.

2. Пригород находится в непосредственной близости от даунтауна, как правило западнее и восточнее центра города. В крупных городах пригород располагается еще с юга. Чаще всего это одно- и двухэтажные дома частного домовладения на семью, реже на две семьи. Эта часть города по функционалу похожа на российские жилые зоны 1950-х гг.

3. Индустриальная зона — место, где сосредоточены все склады и производства города, порой и торговые центры. Индустриальная зона разбита на две — северную, где расположены производства, и южную (ниже даунтауна или сразу за пригородами), где находятся объекты культурно-досугового сектора, спортивные сооружения, ночные клубы и т.д.

³ Эксперты посчитали наполняемость машин в Москве // Автомобильный журнал Quto: информационный портал. URL: <https://quto.ru/journal/articles/eksperty-poschitali-napolnyaemost-mashin-v-moskve.htm>

4. Социальный район — это зона, где преобладает многоэтажная застройка. Район расположен на севере любого города и предназначен для проживания людей с низким достатком, малоимущих и т.д.

Пригород и социальный район имеют собственную инфраструктуру (школы, больницы, детские учреждения). Пригород может делиться на микрорайоны в соответствии с ценой на недвижимость, при этом внутри образуются обособленные поселения, допуск в которые без специального разрешения запрещен. Если первые три группы районов не совсем (возможно кроме части индустриальных районов) подходят для исследования реновации некоторого функционала спальных районов, то социальный по своему конструктиву близок к советской и российской застройке городов.

При реновации и изменении функциональности районов городов интересен зарубежный опыт так называемого тактического урбанизма районов с многоэтажной застройкой [11]. Например, в США еще в 1970 г. поняли, что создание обособленного анклава с людьми, имеющими социальные проблемы, ведет к деградации общества и росту преступности [12].

Примером может служить район Бронкс Нью-Йорка, один из кварталов которого показан на рис. 1⁴. Этот квартал по внешнему устройству похож на спальный район любого крупного города на постсоветском пространстве. Но проблема указанного района заключается в отсутствии досуговых учреждений, спортплощадок и т.п. Поэтому районы городов США, где существует только многоэтажная жилая застройка, реновируют и частично меняют функционал, попутно добавляя индустриальные здания с мелкокустарным производством, торговые помещения и офисы, т.е. создавая новые рабочие места [13, 14]. Однако вместо реновации района зачастую власти реализовывали принудительную покупку недвижимости. Под видом программы реновации, экономического развития района производилась скупка территорий для застройки с целью привлечения инвесторов. В первую очередь в программу попадали гетто. Законодательно такую деятельность смогли ограничить только в 2012 г.,



Рис. 1. Типичный квартал Бронкса

потому что только в 42 из 50 штатов судебные дела рассматривались еще в 1954 г. в Вашингтоне и в 1984 г. на Гавайях, когда 73 % недвижимости острова принадлежало 22 собственникам [15].

В итоге в Нью-Йорке в 1970 г. осознали, что создание обособленного анклава с людьми, имеющими социальные проблемы, ведет к деградации общества и росту преступности. И поэтому 5 августа 2019 г. анонсирован новый большой проект Bronx Creative District, который преобразован из концептуального плана развития района от 2009 г. Оба эти плана объединяет одно: необходимость разбить Бронкс на 25 микрорайонов и разработать концепцию каждого микрорайона, отличную от соседнего района, в целом все эти концепции микрорайонов должны дополнять друг друга. То есть был анонсирован так называемый аттрактор микрорайона, который должен давать работу, обучение, информацию, эмоции для жителей и гостей микрорайона. На рис. 2 показана фотография квартала Бронкса после реновации, аттрактором является Музей искусств Бронкса, открытый в 2022 г.

Проблемы реновации и перепрофилирования спальных районов стоят остро не только в США, но и в других странах, где есть многоэтажная типовая застройка. В качестве еще одного примера рассмотрим Францию⁵, где имеется понятие «приоритетные районы» — это районы, развитие и последующее финансирование которых носит первоочередной характер относительно других районов. При этом приоритетные районы могут находиться как в черте города, так и в пригородах. Это районы малоэтажной застройки, где жилье стоит довольно дорого и его тяжело купить людям с малым достатком, в приоритетных районах не выдают социальное жилье [16]. Такое деление появилось после провозглашение плана Маршалла 1945 г., когда стали разделять места проживания людей по уровню их дохода. В 1960-х гг. после провозглашения независимости от Франции множества ее колоний в страну хлынул поток эмигрантов из этих колоний. Тогда и пригодился план Маршалла, когда для мигрантов стали строить многоэтажные дома в районах для



Рис. 2. Квартал Бронкса после реновации

⁴ Kimmelman M. A Rebirth in the Bronx: Is This How to Save Public Housing? // The New York Times. 2021. Aug. 5.

⁵ Bouhassoun K. Remplaçons les ghettos par des villes // Factuel.info. URL: <https://www.factuel.info/remplacons-les-ghettos-par-des-villes>

бедных. В связи с тем, что количество площадок для нового строительства было ограничено, особенно в таких городах как Тур, Гавр, Брест, Сержи, Сен-Кантен, Сенар и др., начали изымать под строительство земли дворового пространства между домами, имеющими статус социального жилья. И малоэтажные социальные дома демонтировались для строительства более высоких домов (9–16 этажей) с социальным жильем для малообеспеченных слоев населения и эмигрантов. Несколько лет назад правительство Франции объявило о Национальной программе обновления городов, которая завершилась в 2020 г. Было выделено 50 млрд евро на преобразование 600 таких районов в городах Франции. Программа направлена на то, чтобы социальные районы приобрели большую безопасность за счет сокращения преступности путем создания новых рабочих мест в этих районах, реновации районов с созданием общественно-культурных мест досуга и мест отдыха, привлечения людей для временной миграции с целью снижения социального напряжения. В итоге все закончилось тем, что за выделенные деньги перекрасили и частично отремонтировали дома, на этом программу завершили. Журналисты опросили жителей социальных районов с многоэтажными домами, где проводилась программа обновления, 72 % заявили не только о неизменности уровня преступности, но и о значительном обострении социальных конфликтов. Порой под видом реновации разрушали даже имеющиеся общественно-культурные зоны района. За редким исключением были устроены детские площадки (рис. 3), из объектов социальности ничего не создано.

При этом программа содержала пункты, предполагающие снос части многоэтажных домов с целью освобождения территории под общественно-культурную и торговую застройку. Но этого тоже не было сделано. Согласно итоговому отчету Счетной палаты Франции, основная причина в том, что некоторые муниципалитеты тратили лишь 0,1 % от сметной суммы на реновацию. По объяснениям некоторых руководителей городов это связано с тем,



Рис. 3. Пример реновации многоэтажного дома во Франции по Национальной программе обновления городов

что они «... не видят смысла что-либо менять, если можно сохранить старое и сделать его новым...». Техническая проблема реновации социальных районов многоэтажной застройки городов Франции состоит в отсутствии комплексного решения по реновации. Проект предусматривал снос и строительство еще более высоких социальных домов, а на освободившемся месте предполагалось строительство чего-то, что в программе указывалось как «на усмотрение муниципалитетов», т.е. не предлагалось никаких концепций развития районов с целью снятия социального напряжения в этнических анклавах.

В качестве примера развития и реновации существующих районов, а также создания новых районов рассмотрим пример г. Иркутска, который в последнее время активно строится. В городе присутствуют как старые, уже сложившиеся микрорайоны, которые постепенно реновируют и реконструируют (например, квартал 130), так и новые районы. К примеру, район Радужный начали строить в советское время, а продолжили, когда не государство, а частный инвестор диктует условия жизни и строительства в районе. Новые районы совершенно разные. Есть пример неудачных районов, как, например, Ершовский, где нет условий для пешего передвижения, нет транспорта внутри района, плохо развит общественный транспорт, до района можно доехать только на маршрутном такси № 68к. В районе нет школ, детских садов, поликлиник, объектов спортивного, общественного и социально-культурного назначения, катастрофически не хватает магазинов даже шаговой доступности. Более удачный в градостроительном плане новый микрорайон Союз, расположенный на левом берегу Ангары в Свердловском округе, здесь есть детский сад, объекты социально-культурного, спортивного назначения и объекты здравоохранения. К сожалению, в микрорайоне отсутствует своя школа, а транспортные коммуникации до конца не освоены, но с введением ЖК «Союз Приорити» транспортная доступность должна улучшиться. Один из самых новых и интересных районов Иркутска, который исследователи охарактеризовали как «район между спальным и частным пригородом», — микрорайон Березовый [17]. Он является частью рабочего поселка Маркова. Березовый застроен преимущественно трех- и пятиэтажными домами с развитой инфраструктурой. Единственный недостаток микрорайона — это значительная удаленность от транспортных коммуникаций и Иркутска.

Для крупных городов, в частности для Москвы, были разработаны различные дизайн-проекты реновации, перепрофилирования и реконструкции бывших спальных районов в современные за счет формирования объектов культурно-досугового назначения [18]. Приведенное выше исследование показывает, что необходимо реновировать имеющиеся и формировать новые районы с точки зрения

универсальности: в районе необходимо жить с комфортом, работать, отдыхать и развлекаться, у детей должны быть не только школы и дошкольные учреждения, но и досуговые учреждения.

Также следует уделять особое внимание освоению подземного пространства, а для этого требуется иметь четко сформулированную программу [19]. В основном в таких программах выделяют 3–5 направлений подземной урбанизации. Главные из них применительно к вопросам реновации существующих районов: транспортные сооружения, сооружения инженерной инфраструктуры и общественного назначения. При реновации района имеющиеся инженерные коммуникации и другие объекты инженерной инфраструктуры подлежат обновлению, необходимо и возведение подземных сооружений общественного (социального, коммерческого) назначения. Из подземных сооружений транспортного назначения в первую очередь стоит возводить автомобильные парковки. Также придется решить вопросы транспортной доступности микрорайона. С этой проблемой прекрасно справляется подземная система внеуличного транспорта, станция которой должна находиться непосредственно в зоне микрорайона.

Далее рассмотрим план концепт-проекта по реновации существующего района города. Стоит напомнить, что этот план для района, который максимально подходит под понятие «многофункциональный район», о котором говорилось выше. Для этого необходимо выполнить следующие шаги:

1. Проанализировать существующий район с целью выявления имеющейся транспортной доступности (автомобильным и внеуличным транспортом), пути развития транспортной доступности, существующей застройки, градостроительной зональности, реновации жилищного, общественного и индустриального фонда.

2. Выполнить анализ истории развития района с целью создания его будущего имиджа. Необходимо определить, какие объекты точно не могут быть здесь расположены. Например, раньше Якиманка была промышленным районом с мануфактурами и фабриками, но в современных условиях это невозможно. Исходя из назначения здания, возможно некоторые из объектов сохранить и перепрофилировать.

3. Выявить целевую аудиторию, для которой следует реновировать данный район. Необходимо разделить жителей района на целевые группы по возрасту и по финансовым возможностям. При этом сначала определяют, для какой целевой группы по финансовым возможностям будет выполняться реновация района, а затем в дальнейшем устанавливают объекты инфраструктуры только для целевой группы по возрасту в рамках обозначенной целевой группы по финансовым возможностям.

4. Определить целевые группы приезжих в район по тому же принципу, что описано в п. 3.

5. Установить приоритетный объект района, на который будет рассчитана наибольшая нагрузка для привлечения приезжих людей. Этот объект, по возможности, должен удовлетворять потребности всех целевых групп.

6. Определить сопутствующие объекты, необходимые для различных целевых групп.

7. Выявить рабочие места для привлечения людей в район (количество, вид деятельности и т.д.).

8. Сравнить численные показатели для выявления приоритетных объектов будущего строительства (проходимость в день и определенные часы, статистика по рабочим местам и посетителям объекта).

9. Обозначить возможные варианты архитектурных, ландшафтных и конструктивных решений с обоснованием их как основного объекта, так и дополнительных.

10. Финансово обосновать строительство основного объекта, так как он будет ключевым местом привлечения дополнительного потока людей. Необходимо финансовое обоснование и вспомогательных объектов, поскольку они также будут привлекать свою заинтересованную группу. Порой вспомогательные объекты могут составлять существенный процент от прибыли.

11. Составить проект жизненного цикла (ЖЦ) основного и вспомогательных объектов для корректировки расчета будущей прибыли и определения сроков окупаемости с учетом будущего реновирования или сноса объектов и возможного перепрофилирования района.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Если обобщить имеющийся отечественный и зарубежный опыт, то можно сделать вывод о том, что проектирование градостроительного плана района или микрорайона следует проводить в рамках будущего ЖЦ территории, что способствует наиболее корректному определению стадийности и направленности его развития. Самый яркий пример концепции ЖЦ жизни в районе — США, где районы строятся для определенных категорий людей. Для людей пенсионного возраста наличие школ и детских садов не является важным, а для молодых семей, наоборот, наличие школы в пешей доступности, а также различных спортивных и иных досуговых секций, может иметь решающее значение [20]. После того как необходимость в образовательных, культурно-массовых и иных учреждениях отпадает, люди переезжают в другой район, который более всего адаптирован под пенсионеров [21, 22].

В теории все вышесказанное может быть очень привлекательным, но как на самом деле привлечь людей приехать в район для проведения досуга? В первую очередь, по мнению авторов данной статьи, в районе возникает большая необходимость в рабочих местах, чем местах для проживания.

Люди, проживающие в районе, и так будут посещать места отдыха и культурного досуга. А для того чтобы люди приехали в район (особенно, если он находится на границе города и пригорода), требуется, чтобы они этот район хорошо знали. Если человек работает в каком-нибудь месте, то со временем он обязательно будет ориентироваться в инфраструктуре этого района. И привезти свою семью, близких, друзей лучше туда, где человек будет уверен, что отдых и культурное времяпрепровождение точно состоится. Таким образом будет обеспечен приток людей извне данного района.

Первый вариант сооружения аттрактора при реновации района м. Лесопарковая

Для достижения поставленных задач разработана концепция, направленная на создание дополнительного объема рабочих мест с дополнительной организацией досуговой деятельности. Концепция подразумевает строительство офисно-торгового центра с развитой подземной частью, представленной трехуровневым паркингом и кинотеатром. Проект бизнес-хаба актуален, так как в настоящее время идет активное развитие Троицкого и Новомосковского административных округов (ТиНАО), и строительство центра привлечет достаточный поток людей на новые рабочие места. Заметна тенденция роста численности населения Троицкого и Подольского районов, и, как следствие, возрастает необходимость в дополнительных рабочих местах.

Люди, живущие в Троицком и Подольском направлениях, затрачивают значительное количество времени на дорогу до работы (например, Москва-Сити). Альтернативой мог бы послужить существующий бизнес-хаб Comcity, расположенный вблизи станции м. Румянцево. Однако этот вариант удобен только для проживающих вблизи будущей Троицкой

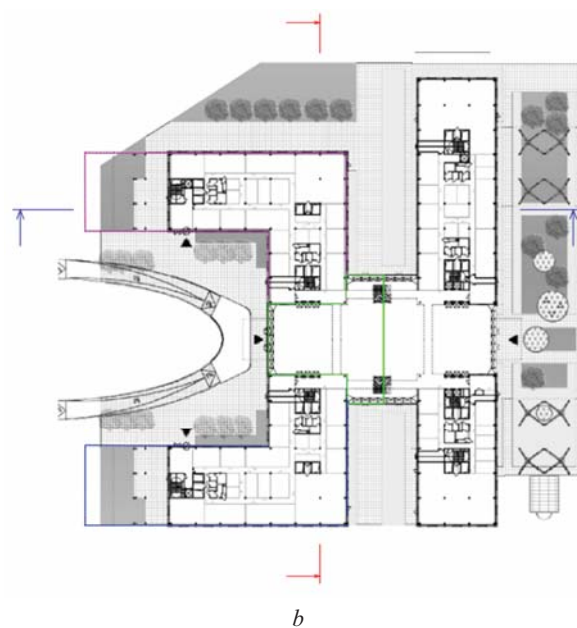
линии метро. Развитие района станции м. Лесопарковая, как еще одного рабочего центра, оптимально, так как это привлечет дополнительный поток людей из ближайшего Подмоскovie. Дополнительная цель создания офисной части делового центра — создание более комфортных условий для работников, а именно увеличение количества рабочего пространства.

Концепция офисно-торгового центра представляет собой деловой центр, состоящий из трех подземных и семи наземных этажей. На нижних этажах для удобства рабочих и посетителей будут расположены: подземная парковка; кинотеатр; складские помещения интернет-маркетплейсов типа OZON, Wildberries и т.д. Подземный паркинг также может служить перехватывающей парковкой при условии создания современной транспортной развязки. Высота каждого подземного этажа составит 5 м согласно Приложению Ж СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» из расчета одного машино-места на каждые 50 м² общей площади здания. Общая площадь — 13 200 м², площадь паркинга — 4800 м². Конструктивно подземное пространство представлено рядом колонн, опирающихся и передающих нагрузку непосредственно на плиту фундамента, разделенную деформационными швами. В качестве ограждающих конструкций котлована выступают стены в грунте, выполненные из тяжелого бетона класса по прочности В30.

В наземной части планируется расположение магазинов товаров различного назначения от бутиков до супермаркетов и фуд-корт, что соответствует современному представлению о стандартном многофункциональном торговом центре. Две семиэтажные секции будут отведены под офисные помещения. На рис. 4 приведен план первого надземного этажа.



a



b

Рис. 4. Архитектурно-планировочное решение многофункционального центра

Средняя секция служит связующим или «транспортным» звеном между рабочими частями здания, поскольку в ней расположена зона эскалаторов для минимизации затрат времени передвижения рабочих между различными отделами офисов. На первом этаже располагается просторная коворкинг-зона с живыми цветами и естественным освещением благодаря светопрозрачным покрытиям. На остальных этажах размещаются офисные помещения. Внешняя отделка фасада — эффектный инновационный дизайн с панорамным остеклением. На рис. 5 представлены разрез многофункционального комплекса.

Для определения возможности возведения данного многофункционального комплекса с развитой подземной частью проведено математическое моделирование в программном комплексе PLAXIS, ре-

ализующем метод конечных элементов. Результаты проведенного моделирования показаны на рис. 6.

Конструктивно подземная часть комплекса представлена рядом колонн, опирающихся и передающих нагрузку непосредственно на плиту фундамента. Фундамент плитный, разделенный секционно деформационными швами. В качестве ограждающих конструкций котлована выступают стены в грунте, представленные буросекущими сваями, выполненными из тяжелого бетона. Железобетонные межэтажные перекрытия — безбалочные безкапитальные. В средней части толщина перекрытия увеличена. В результате проведенного моделирования максимальные перемещения в массиве и конструкциях составляют 14 см. Зона влияния — 22 м от контура подземной части. Следовательно, возведение такого комплекса возможно.

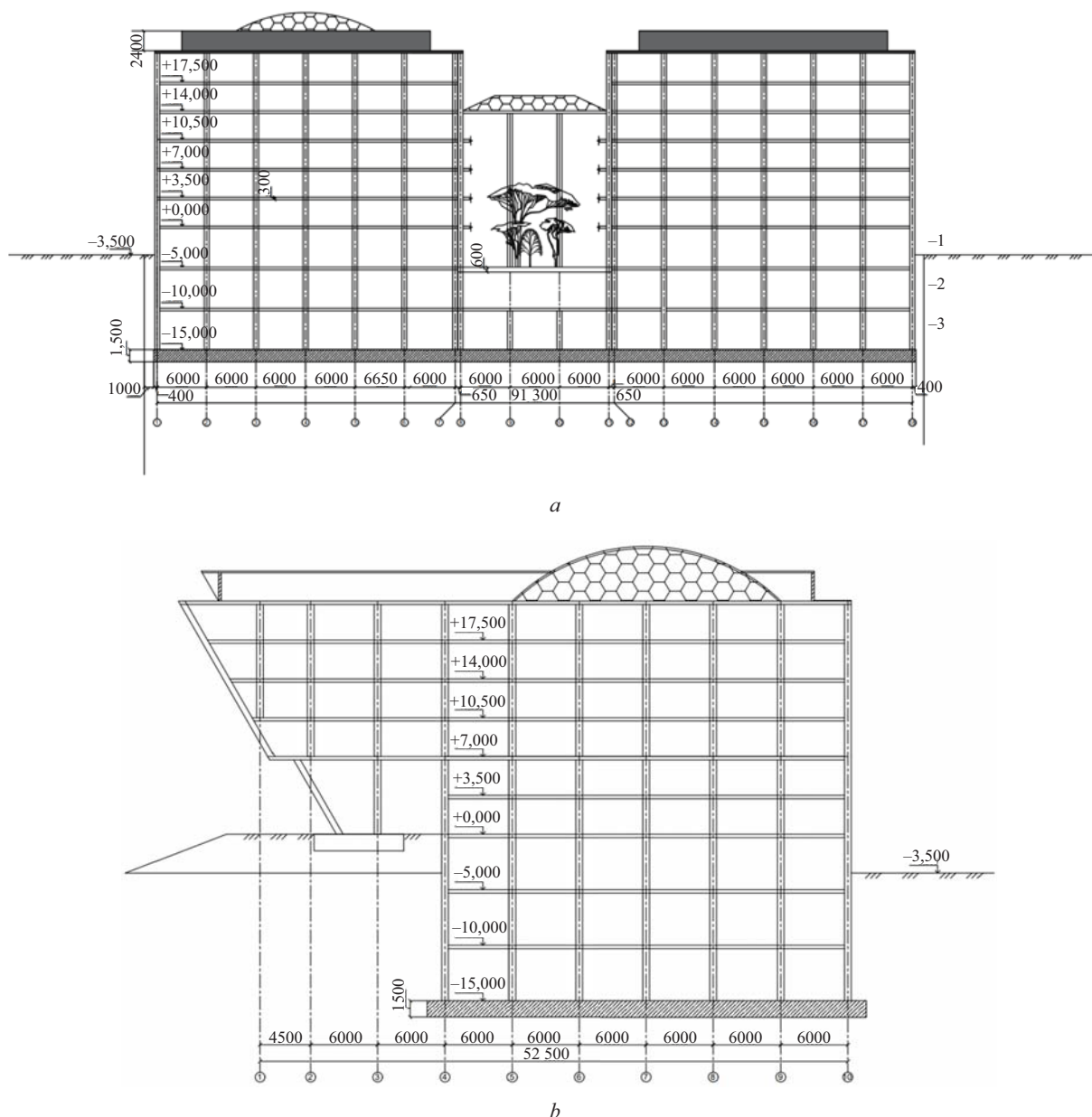


Рис. 5. Разрезы многофункционального комплекса: а — продольный разрез А–А; б — поперечный разрез Б–Б

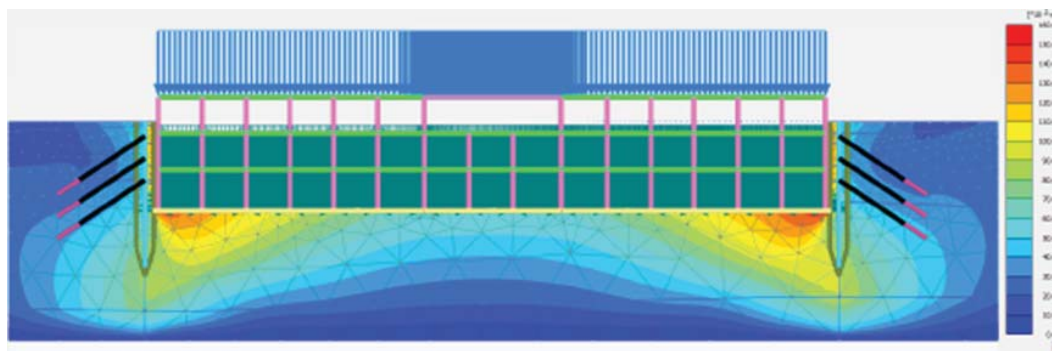


Рис. 6. Результаты моделирования многофункционального комплекса

Второй вариант сооружения аттрактора при реновации района м. Лесопарковая

Следующей идеей по увеличению проходимости станции является устройство торгово-развлекательного комплекса (ТРК). Классический ТРК менее конкурентоспособен, чем другие популярные тематические комплексы. В связи с этим необходима особая концепция, которая привлечет людей посетить именно предлагаемый ТРК — концепция аттрактора, вокруг которого будет строиться инфраструктура реновируемого района, основанная на возведении тематического торгово-развлекательного комплекса, наподобие центра океанографии «Москвариум» и парка «Остров Мечты». Вместо имеющейся индустриальной зоны, которая прилегает к Варшавскому шоссе, данным вариантом предусмотрено возведение жилых комплексов. Таким образом, с территории реновации и реновелопмента необходимо выводить все производственные предприятия. Также требуется строительство объектов инфраструктуры: школ, детских садов, спортивных сооружений и т.д.

Конструктивно комплекс состоит из четырех этажей — двух подземных и двух надземных. На первом подземном этаже расположен основной гипермаркет. На втором подземном этаже — паркинг для гостей комплекса. На первом надземном этаже расположено некоторое количество небольших специализированных магазинов, фуд-корт и зоны отдыха посетителей. Второй надземный

этаж разделен на 4 секции: музей, выставочные залы, кинозалы, взрослый и детский квест-рум.

Реновация района м. Лесопарковая

В рамках разработки концепции реновации района, кроме рассмотрения аттрактора, необходимо учесть благоустройство парковой зоны Битцевского лесопарка и района в целом. Для жителей района Лесопарковая стоит предусмотреть строительство школы, детских дошкольных учреждений, детской поликлиники или амбулатории, спортивных площадок и т.д. Близость расположенного Битцевского лесопарка может играть положительную роль для привлечения людей в район. Не всех интересует торговый центр. Люди из центра города или иных районов, где ощущается недостаток парковой зоны, будут приезжать для отдыха на природе.

Характерен опыт Нью-Йорка (США), где для аналогичных целей отдыха горожан в районе Манхэттен был возведен Централ-парк — фактически искусственное сооружение для отдыха, прогулок и занятий спортом [21]. По такому же пути пошли в настоящее время при реновации городской среды г. Буэнос-Айрес (Аргентина) [22]. Для этого необходим отдельный проект по благоустройству территории Битцевского лесопарка, которая прилегает непосредственно к району. Следует создать инфраструктуру для отдыха, прогулок и занятий спортом, например для пробежек и скандинавской ходьбы.

Также району необходима хорошая транспортная доступность для личного транспорта. С одной

Сравнение двух вариантов сооружений

Статистические критерии оценки	На данный момент количество пассажиров станции метро	При эксплуатации бизнес-центра	При эксплуатации ТРЦ
Посещаемость в день	—	30 тыс. — офисная часть 70 000 – 90 000 — торговая часть	50 000 — будние дни 85 000 — выходные
Посещаемость подземной развлекательной части	—	11,2 тыс. чел/сут (только зона кинотеатра)	19 тыс. чел/сут (развлекательная зона включает также океанариум, музей и др.)
Поток пассажиров на станции метро, чел/сут	0,2 тыс. чел. — сейчас. При строительстве ТПУ — 14,1 тыс. чел.	(Увеличивается на 23 %)	(Увеличивается на 19 %)

стороны, нужно больше людей перевозить общественным транспортом, но с другой — район, расположенный рядом с МКАД, позволяет устроить перехватывающую парковку. И люди будут пользоваться метрополитеном. Согласно исследованиям иностранных специалистов в области архитектуры и градостроительства [23–26], люди, проводящие много времени в каком-либо месте на работе, подсознательно выбирают этот район для отдыха с семьей при условии, что данный район человеку нравится, он его устраивает по многим критериям и т.п.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование представлено в виде кейса по реновации района с увеличением пассажиропотока на станцию Лесопарковая. Приведенные выводы можно использовать для любых районов и микрорайонов больших городов. В таблице даны сравнительные характеристики двух вариантов сооружений — аттракторов района реновации, в результате которых планируется привлечь в район больше людей.

Для редевелопмента района (индустриального, незастроенного, застроенного по устаревшим

нормам и т.д.) необходимо определить его целевую аудиторию. Далее следует так называемый объект аттрактора, который будет привлекать в район людей как для жизни, так и для временного пребывания на работе или отдыхе. Также стоит разработать удобное перемещение в район на общественном транспорте со станций-хабов, чтобы охватить как можно больше целевой аудитории из других районов. Кроме аттрактора требуется предусмотреть обновление инфраструктуры района: построить больше детских дошкольных учреждений и школ, если целевая аудитория, проживающая в районе, молодые семьи, и больше объектов социального назначения, если целевая аудитория — пенсионеры. Также потребуется предусмотреть места для отдыха и занятий спортом на открытом воздухе, а при невозможности — построить закрытый спорткомплекс с недорогим абонементом для его посещения.

Только при таких условиях редевелопмент района будет экономически выгоден для девелоперов и приемлем для жителей города и людей, приезжающих в данный район из пригорода.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Родионовский А.Н. Формирование системы локальных городских центров на основе существующих станций метрополитена // Инновации и инвестиции. 2022. № 11. С. 240–243.

2. Чекменева Д.А. Формирование идентичности культурно-досуговых центров в спальных районах Москвы // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ : тезисы докл. междунар. науч.-практ. конф. 2018. С. 607–608.

3. Егорова И.Н., Зубков В.Н. К вопросу о развитии транспортно-пересадочных узлов // Альманах мировой науки. 2016. № 3–1 (6). С. 84–90.

4. Благоустройство и реновации. Подходы и проблемы. М. : Издательство «А -Принт», 2018. 268 с.

5. Ашихмин А.В., Шестопалова Н.В. Проблемы российского градостроительства XX–XXI веков в контексте культурно-цивилизационного распада постиндустриального общества // Инновационное развитие науки: фундаментальные и прикладные проблемы : монография. Петрозаводск : Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская Ирина Игоревна), 2021. С. 269–304. DOI: 10.46916/18052021-3-978-5-00174-233-3

6. Овсянникова В.Е. Параллели в массовом строительстве 1920–1950-х гг. (поселок «Сокол» и 9-й квартал Новых Черемушек) // Месмахеровские чтения — 2019 научно-исследовательские работы аспирантов и студентов : мат. междунар. науч.-практ. конф. СПб. : КультИнформ-Пресс, 2019. С. 330–333.

7. Горлов В.Н. Новые Черемушки. Переход к массовому внедрению микрорайонной застройки в СССР в 50–60-е гг. XX в. // Вестник Государственного университета просвещения. Серия: История и политические науки. 2014. № 2. С. 61–68.

8. Бобкова И.А. Объединение школ. Победит ли экономика столичное образование? // Концепции. 2016. № 1 (35). С. 65–77.

9. Митряев Е.А., Попов А.В. Перспективы реконструкции 9-го квартала новых Черемушек с изменением функции // Экология урбанизированных территорий. 2022. № 1. С. 80–85. DOI: 10.24412/1816-1863-2022-1-80-85

10. Поташова М.Д., Цитман Т.О. Комплексное развитие городских территорий. Реновация микрорайона // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2019. № 2 (28). С. 40–50.

11. Зазуля В.С., Лобанов Ю.Н., Русанов Г.Е., Волков В.И. Тактический урбанизм как метод быстрого «обновления» спальных районов города // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 5 (76). С. 5–9. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-5-5-9

12. Алов И.Н. Афроамериканские гетто: характеристика и типология // Городские исследования и практики. 2018. Т. 3. № 1 (10). С. 63–77. DOI: 10.17323/usp31201863-77

13. Федченко И.Г. «Комьюнити-центр» как новый тип общественной архитектуры в жилой среде // Современная архитектура мира. 2020. № 1 (14). С. 248–262. DOI: 10.25995/NIPTIAG.2020.81.27.011

14. *Keresztely K.* Urban Renewal as a Challenge for European Urban Development in the 21st century // Proceeding in The European urban fabric in the 21st century. 2016. URL: https://www.citego.org/bdf_fiche-document-532_en.html

15. *Денисова Е.Л.* Зарубежный опыт реализации программ реновации: сравнительный анализ // Вестник Санкт-Петербургской юридической академии. 2022. № 4 (57). С. 35–38.

16. *Li G.* Renovation of Shantytowns and Construction of New Communities // The Urban Book Series. 2021. Pp. 121–152. DOI: 10.1007/978-3-030-74544-8_8

17. *Абдулова И.Т.* Новые микрорайоны Иркутска: между пригородом и «спальным» районом // «Пригородная революция» в региональном срезе: периферийные городские территории на постсоветском пространстве : сб. тезисов докл. междунар. науч. конф. В 2 частях. Улан-Удэ : Бурятский научный центр Сибирского отделения РАН, 2019. С. 92–97. DOI: 10.31554/978-5-7925-0571-1-2019-1-92-97

18. *Цыбайкин А.А.* Общественные пространства вблизи станций метро в периферийных районах Москвы // Архитектура и современные информационные технологии. 2021. № 2 (55). С. 219–228. DOI: 10.24412/1998-4839-2021-2-219-228

19. *Королевский К.Ю., Егорычев О.О., Зерцалов М.Г., Конюхов Д.С.* Основные принципы фор-

мирования программы комплексного освоения подземного пространства Москвы // Метро и тоннели. 2007. № 6. С. 34–35.

20. *Kashef M.* Residential developments in small-town America: assessment and regulations // City, Territory and Architecture. 2017. Vol. 4. Issue 1. DOI: 10.1186/s40410-017-0070-4

21. *Garvin A.* The American city: what works, what doesn't. New York : McGraw-Hill, 2002. 584 p.

22. *Maksimov S.N.* Integrated development of territories and its bottlenecks // Real Estate: Economics, Management. 2023. Issue 1. Pp. 54–58. DOI: 10.22337/2073-8412-2023-1-54-58

23. *Sabyna E.N., Sabyn M.N.* Renovation as a form of urban areas improvement // Interactive Science. 2018. Issue 11 (33). Pp. 54–56. DOI: 10.21661/r-473692

24. *Schindler S., Kanai J.M., Bay J.D.* Deindustrialisation and the politics of subordinate degrowth: The case of Greater Buenos Aires, Argentina // Urban Studies. 2023. Vol. 60. Issue 7. Pp. 1212–1230. DOI: 10.1177/00420980221142706

25. *Shahraki A.A.* Renovation programs in old and inefficient neighborhoods of cities with case studies // City, Territory and Architecture. 2022. Vol. 9. Issue 1. DOI: 10.1186/s40410-022-00174-1

26. *Hall P.* Cities of tomorrow: an intellectual history of urban planning and design since 1880. Hoboken, NJ : Wiley-Blackwell, 2014. 644 p.

Поступила в редакцию 31 июля 2023 г.

Принята в доработанном виде 26 сентября 2023 г.

Одобрена для публикации 26 сентября 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Артур Владимирович Манько** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механики грунтов и геотехники; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 7155-8235, Scopus: 57199534645, ResearcherID: IUP-6915-2023, ORCID: 0000-0001-8892-9946; MankoAV@mgsu.ru;

Валерия Александровна Виноградова — студентка; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; vv886966@gmail.com;

Мария Игоревна Воропаева — студентка; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; mashyvor@mail.ru;

Алина Андреевна Ганышина — студентка; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; geraaali@icloud.com;

Ольга Сергеевна Матюхова — студентка; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 6949-8161; olyamatuhova@mail.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

At the National Research Moscow State University of Civil Engineering, as part of the student scientific studies of the Department of Soil Mechanics and

Geotechnics, students were offered a solution to a case that has nothing to do with the urban planning concept of Moscow city.

The aim of this research is to increase the number of passengers at Lesoparkovaya metro station of the Mos-

cow Metro. The main idea of the case study is to renovate the Lesoparkovaya metro area in terms of attractiveness of residence and recreation, as well as to attract additional people to the area for temporary stay (work, recreation, shopping, attending cultural and leisure events, etc.). For this purpose, it is necessary to renovate the area with the construction of various purpose structures to attract people with simultaneous development of underground space. Lesoparkovaya metro district was taken as an example that can be extended to other districts of various cities [1].

The district is located in the south of Moscow and is bounded to the north and west by the Bittsev Forest Park, to the south by the Moscow Ring Road and to the east by the Warsaw Highway. In 2014, the metro station Lesoparkovaya of the Butovskaya line was opened. Even officials¹ believed that the metro station was being built “for the future”. For a long time, the area adjacent to the metro had only an industrial zone, the basis of which was an automotive shopping centre. In the last few years, active construction of residential houses of Lesoparkovy Residential Complex has started.

In this regard, it can be concluded that this area is formed by the type of typical bedroom neighbourhoods, the formation of which began in Moscow in the 60s of the twentieth century [2]. At present² instead of cultural and leisure places on the undeveloped territory in the metro area the idea of transport and transfer hub (TTH) is being implemented [3].

The current problem of the district, which has not been realized yet, is transport accessibility by automobile transport. The Lesoparkovaya metro area is accessed from the Varshavskoye Highway and the Moscow Ring Road (MKAD). In the west of the district, the Varshavskoye Highway can be used to enter from the centre and exit towards the region or to the inner side of the Moscow Ring Road. In the south of the district, entry and exit to the inner side of the MKAD is also possible. It is not possible to enter and exit the district directly, but only by using interchanges on the Moscow Ring Road and partially on the Ring Road itself: entrances 35A and 32, as well as the internal road of the market “Kashirsky Dvorik”. This solution is not convenient and without the construction of another transport interchange, the existence of the TTH does not seem logical. The residential complex, which has been under construction for several years, will also need additional transport interchanges.

Since the main objective of this study is to attract people to the neighbourhood by means of the metro and preferably subsequent renewal of the contingent every 2–3 hours, the issue of construction of the TTH will not be considered. Or rather, it will not be considered as the main issue, as the use of TTH for transfer from

private motor transport to public transport (in this case metro) will lead to the fact that a person at the beginning of the working day will leave and at the end of the day will come to the metro station. Moreover, there will be as many people as there are parking spaces in the interceptor car park, since according to statistics³ 1.3 people move by car in cities. The construction of a bus station, within the framework of the TTH, will lead to the fact that a person will use the metro station only once. In addition, there are five bus stations within a radius of 3-kilometres from the metro station, which will undoubtedly compete with the bus station under construction and reduce the potential number of passengers through Lesoparkovaya metro station. Consequently, it is necessary to create all conditions for people to use public transport — metro as often as possible. And for this purpose, a simple TTH is not enough.

MATERIALS AND METHODS

The process of renovation of urban areas is the re-development of the functionality of an area. Life does not stand still and the society needs a change of functionality, new types of leisure activities, residential environment. In the times of the USSR since the 50s of the twentieth century, the basic principles of zoning of districts in general and neighbourhoods in particular were adopted. In accordance with [4] in 1952, residential areas-micro-districts were divided into quarters, where intra-quarter passages of the ring type were laid out. Houses in a block were designed by four houses and adjoined to each other by their ends and formed a quadrangle in plan. This way of arrangement of houses was called “courtyard”. In total, there were three courtyards in the block. At each courtyard, it was necessary to arrange an economic ground and a ground for children. For the whole neighbourhood there was also a recreation ground for adults, a flower garden, and a sports ground. The rest of the space was planted with trees.

Accordingly, industrial and public quarters and districts were also zoned, but it was no longer, as it was since the 20s, when residential buildings in a neighbourhood could be adjacent to cultural, sports or industrial buildings. Industrial neighbourhoods should be located in accordance with the production cycle of the products, i.e. warehouses should be located in close proximity to the places of consumption of the warehouse products. The production of plywood and wood particle board were located next to the furniture factory, etc. [5].

By 1966, the understanding of how residential neighbourhoods should be zoned was changing. Such concepts as “residential zone” and “bedroom neighbourhood” appeared [6]. One of such districts, divided into quarters and designed under the new concept, is the Novye Cheremushki district [7]. Let us consider the example of neighbourhood No. 9. This concept

¹ Moscow City Urban Planning Policy Complex: official website. URL: <https://stroi.mos.ru/metro/station/21>

² Lesoparkovaya transport and interchange junction will become a station for intercity buses: Komsomolskaya Pravda. URL: <https://www.msk.kp.ru/daily/27406/4603683/>

³ Automobile magazine Quto: information portal. URL: <https://quto.ru/journal/articles/eksperty-poschitali-napolnyaemost-mashin-v-moskve.htm>

defined the zones where residential buildings existed. Depending on the number of flats and the potential number of inhabitants of the neighbourhood, the necessary number of places in nurseries and kindergartens were determined, which were necessarily erected in each quarter. The total number of houses in the neighbourhood was 16, with 982 flats. The number of places in the school, which was one in the quarter, was also calculated. If there was no space for a school, a whole educational complex of several schools was built for the residents of the surrounding neighbourhoods [8]. Also sports grounds, playgrounds for children and quiet recreation, splashing pool, economic grounds, gazebos, car parks and even their own cinema were designed for the quarter. In addition, such neighbourhoods and districts were erected a great number in the cities of our country in the 60s–70s of the twentieth century.

Currently, there are many projects for the renovation of the housing stock and the districts, neighbourhoods and quarters themselves. A conceptual project for the renovation of neighbourhood No. 9 of Novye Chermushki district has been developed [9]. This project is based on the decision to preserve the historical and cultural values of the objects. Some of the objects will have to change their functionality, which will require changes in volume-planning and structural solutions. This project, according to the authors, will allow to preserve the historical appearance of the neighbourhood and attract additional jobs. In addition, this project allows to develop underground space under the quarter.

For the integrated development of neighbourhoods with an unsuccessful concept or no concept at all, as well as for the renovation of morally and physically obsolete areas, we can turn to international experience [10]. According to international experience, we can distinguish four environments of foreign city formation:

1. Downtown is the financial, cultural and administrative centre of any foreign city. Geographically, it is not always the geometric centre. Most often downtown is located below the geometric centre of the city — as if at the bottom, hence the name. Depending on the size of the city itself, the size of downtown may consist of two or three buildings.

2. Suburbs — located in close proximity to downtown, usually west and east of the city centre. In large cities, the suburbs are located further south. Suburbs

are usually one- and two-storey houses of private, less often two-family, households. This part of the city is functionally similar to the Russian residential areas of the 1950s.

3. Industrial zone is the place where all the warehouses and production facilities of the city are concentrated, and often shopping centres. Sometimes the industrial zone is divided into two — the northern zone, where production facilities are concentrated, and the southern zone (below downtown or just outside the suburbs), where cultural and leisure facilities are concentrated, as well as sports facilities, nightclubs, etc.

4. A social neighbourhood is an area dominated by high-rise buildings. This neighbourhood is located in the north of any city and is intended for low-income people, poor people, etc.

Each of the suburban and social districts has its own infrastructure (schools, hospitals, childcare centres). In turn, the suburbs can also be divided into neighbourhoods according to the price of real estate, with separate settlements being formed within them, and access to them without special permission is prohibited. If the first three groups of neighbourhoods are not quite suitable (perhaps except for some industrial areas) for the study of renovation of some functionalities of dormitory districts, the social one by its design is quite suitable for the Soviet and Russian urban development.

When renovating and changing the functionality of city districts, first of all, we are interested in foreign experience of so-called tactical urbanism of districts with multi-storey buildings [11]. In the USA, for example, back in 1970 they realized that the creation of an isolated enclave with people with social problems leads to the degradation of society and the growth of crime [12].

As an example, it is a district of New York — Bronx, one of the quarters of which is shown in Fig. 1⁴. This neighbourhood is similar to a dormitory district of any large city in the post-Soviet space. However, the problem of this neighbourhood is the absence of any leisure facilities, various sports grounds, etc. This neighbourhood lacks any leisure facilities and even a sports ground. Therefore, neighbourhoods of the USA cities, where there are only multi-storey residential buildings, are renovated and partially change their functionality by adding industrial buildings with small-scale cottage industries, retail premises and offices, i.e. by creating new jobs [13, 14]. However, instead of neighbourhood renovation, the authorities often implemented compulsory purchase of real estate. Under the guise of a programme of renovation and economic development of the district, territories were bought up for development in order to attract investors. First of all, ghettos were included in the programme. Legislatively, such activities could be limited only in 2012 because only in 42 of the 50 states, court cases were held back in 1954 in Washington and



Fig. 1. A typical Bronx neighbourhood

⁴ Kimmelman M. A Rebirth in the Bronx: Is This How to Save Public Housing? *The New York Times*. 2021. Aug. 5.

in 1984 in Hawaii, when 73 % of the island's real estate belonged to 22 owners [15].

As a result, New York City in 1970 realized that creating a segregated enclave with people with social problems was leading to community degradation and increased crime. And so on 5 August 2019, a big new Bronx Creative District project was announced, transformed from a conceptual neighbourhood plan from 2009. Both of these plans have one thing in common: it is necessary to divide the Bronx borough into 25 neighbourhoods and develop a concept of each neighbourhood different from the neighboring borough, and in general, all neighbourhood concepts should complement each other. That is, the so-called neighbourhood attractor was announced, which should provide work, training, information, emotions for residents and visitors of the neighbourhood. Fig. 2 shows a picture of the Bronx neighbourhood after renovation and the attractor is the Bronx Museum of the Arts, which will open in 2022.



Fig. 2. Bronx neighbourhood after renovation

The problem of renovation and redevelopment of dormitories is acute not only in the USA, but also in other countries with high-rise typical buildings. As another example, consider France⁵, where there is such a concept as “priority districts” — these are districts, the development and subsequent financing of which is of paramount importance in relation to other districts. At the same time, priority neighbourhoods can be located both within the city and in the suburbs. These are areas of low-rise development, where housing is quite expensive and difficult to buy for people with low incomes, as well as in priority areas do not issue social housing [16]. This division appeared after the proclamation of the Marshall Plan in 1945, when they began to divide the places where people live according to their income level. In the 1960s, after the declaration of independence from France of many of its colonies, the country received a flood of emigrants from these colonies. In addition, Marshall's plan came in handy when they started building high-rise buildings for the migrants in poor neighbourhoods. Because the number of sites for new construction was limited, espe-

cially in such cities as Tours, Le Havre, Brest, Sergi, Saint-Cantenay, Senara and others, they began to take away for construction the land of the yard space between the houses having the status of social housing. Moreover, low-rise social houses were dismantled for construction of higher houses (9–16 storeys) with social housing for low-income groups of population and emigrants. A few years ago, the French government announced a “National Urban Renewal Programme”, which ended in 2020. 50 billion euros were allocated to transform 600 such neighbourhoods in cities across France. This programme aimed to make social neighbourhoods more secure by reducing crime by creating new jobs in the neighbourhoods themselves, renovating the neighbourhoods with the creation of social and cultural leisure and recreational facilities, attracting people to the area for temporary migration to reduce social tensions. In the end, everything ended up with repainting and partially renovating the houses for the allocated money, and that was the end of the programme. Journalists interviewed residents of social areas with multi-storey buildings where this renovation programme was carried out, and 72 % stated not only that the crime rate remained unchanged, but also that social conflicts had significantly worsened. At times, under the guise of renovation, even the social and cultural areas of the neighbourhood that existed were destroyed. With few exceptions, children's playgrounds (Fig. 3) and none of the social and cultural facilities were made.

At the same time, the programme contained clauses suggesting the demolition of a part of multi-storey buildings in order to free the territory for public cultural and commercial development. However, this was not done either. The final report of the French Court of Auditors found that the main reason is that some municipalities spent only 0.1 per cent of the estimated amount on renovation. Some city leaders explained that this was because they “...see no point in changing anything if you can keep the old and make it new...”. The technical problem in the renovation of social neighbourhoods of high-rise buildings in French cities is the lack of a comprehensive renovation solution. The project itself envisaged demolition and construction of even



Fig. 3. An example of the renovation of a high-rise building in France under the National Urban Renewal Programme

⁵ Bouhassoun K. *Remplaçons les ghettos par des villes: Factuel.info*. URL: <https://www.factuel.info/remplacons-les-ghettos-par-des-villes>

higher social houses, and on the vacated space was supposed to build something that the programme indicated as “at the discretion of the municipalities”, i.e. no concept of neighbourhood development was proposed in order to relieve social tensions in ethnic enclaves.

As an example of the development and renovation of existing neighbourhoods, as well as the creation of significantly new neighbourhoods, let us consider the example of the Irkutsk city, which has recently been under active construction. The city has both old, established neighbourhoods, which are gradually being renovated and reconstructed (for example, quarter 130), and new districts being built. As an example, there is the Raduzhny neighbourhood, which started to be built in Soviet times, and continued to be built in conditions when not the state, but a private investor dictates the conditions of life and construction in the neighbourhood. The new neighbourhoods are completely different. There are examples of unsuccessful districts, such as Ershovsky, where there are no conditions for walking, no transport within the district, poorly developed public transport with other parts of the city because the district can be reached only by route taxi No. 68k. There are no schools, kindergartens, polyclinics, sports, public and socio-cultural facilities in the neighbourhood, there is a catastrophic lack of shops even within walking distance. There is, for example, a new neighbourhood Soyuz, located on the left bank of the Angara River in the Sverdlovsky District, which is more successful in terms of urban planning and has its own kindergarten, social, cultural, sports and health care facilities. Unfortunately, the neighbourhood lacks its own school, and transport communications have not been fully developed, but with the introduction of the Soyuz-Priority housing estate, transport accessibility should improve. One of the newest and most interesting districts of Irkutsk, which researchers have characterized as “a district between a bedroom and a private suburb” is the Berezovy microdistrict [17]. This neighbourhood is a part of the working settlement of Markov. Berezovy is built up predominantly by three- and five-storey houses with developed infrastructure. The only disadvantage of the microdistrict is its significant remoteness from transport communications and Irkutsk.

For large cities, in particular for Moscow, various design projects have been developed for renovation, repurposing and reconstruction of former dormitory districts into modern ones through the formation of cultural and leisure facilities [18]. That is because the study cited above indicates that it is necessary to renovate the existing districts and form new districts from the point of view of universality: it is necessary to live comfortably, work, relax and have fun in the given district, and children should have not only schools and pre-school institutions, but also leisure facilities.

It is also necessary to pay special attention to the development of underground space, and for this purpose, it is necessary to have a clearly formulated pro-

gramme [19]. In general, such programmes distinguish 3–5 directions in underground urbanization. The main ones, in relation to the issues of renovation of existing neighbourhoods: transport facilities, engineering infrastructure facilities and public facilities. In the course of neighbourhood renovation, existing engineering communications and other engineering infrastructure facilities are subject to renovation, as well as construction of underground public (social, commercial) facilities. From the underground structures of transport purpose, it is necessary to build car parks in the first place. It is also necessary to modernize the transport accessibility of the microdistrict. The underground system of off-street transport, the station of which should be located directly in the area of the microdistrict, can perfectly cope with this problem.

Next, consider a concept project plan for the renovation of an existing neighbourhood in the city. Once again, it is worth recalling that this plan is for an area that best fits the concept of a mixed-use neighbourhood discussed above. To accomplish this, the following steps should be:

1. Analysis of the existing area to identify existing transport accessibility (by road and off-street transport), transport accessibility development path, existing development, urban planning zoning, housing, public and industrial renovation paths.

2. Analyzing the development history of the area in order to create its future image. It is necessary to determine which objects definitely cannot be located here. For example, Yakimanka used to be an industrial district with manufactories and factories, but in modern conditions, it is impossible. Also based on the purpose of the building, it is possible to preserve and repurpose some of them.

3. Identification of the target audience for which the neighbourhood should be renovated. It is necessary to divide the neighbourhood residents into target groups “by age” and “by financial capacity”. At the same time, it is first determined for which target group “by financial capacity” the district will be renovated, and then further on infrastructure objects are determined only for the target group “by age” within the designated target group “by financial capacity”.

4. Identify target groups of commuters to the neighbourhood along the same lines as described in point 3.

5. Identification of a prioritized neighbourhood facility that will have the greatest burden to attract commuters. This facility should, where possible, meet the needs of all target groups.

6. Identification of related facilities required by the different target groups.

7. Identify jobs to attract people to the area (number, type of activity, etc.).

8. Numerical comparisons to identify priority sites for future construction (daily and hourly traffic, statistics on jobs and visitors to the site).

9. Possible variants of architectural, landscape and structural solutions, their justification of both the main object and additional ones.

10. Financial justification for the construction of the main facility as it will be the main place to attract an additional flow of people. It is also necessary to financially justify the auxiliary facilities, as they will also attract their own interest group. Moreover, sometimes auxiliary facilities can account for a significant percentage of the profit.

11. Life cycle design of the main and ancillary facilities to adjust the calculation of future profits and determine payback periods to account for future renovation or demolition of the facilities and possible redevelopment of the area.

RESEARCH RESULTS

If we summarize all available domestic and foreign experience, we can conclude that the design of an urban plan of a district or microdistrict should be carried out within the framework of its future “life cycle” of the territory, which contributes to the most correct definition of the stages and direction of its development. The most vivid example of the concept of life cycle in a neighbourhood is the USA, where neighbourhoods are built for certain categories of people. For people of retirement age the availability of schools and kindergartens is not important, and for categories of people — young families, on the contrary, the availability of schools in walking distance, as well as various sports and other leisure sections, can be crucial [20]. After the need for educational, cultural, etc. institutions disappears, people move to another neighbourhood, which is more adapted to pensioners [21, 22].

All of the above may be very attractive in theory, but how do you actually attract people to come to a neighbourhood for leisure activities? First of all, according to the authors of this article there is a greater need for jobs in the neighbourhood than places to live. People living in the area will already visit places of recreation and cultural leisure. In order for people to come to a neighbourhood (especially if it is on the border of a city and suburb) it is necessary that they know the neighbourhood well. If a person works in a place, then over time he will certainly navigate the infrastructure of the area. It is better to bring your family, relatives, friends to the place where a person will be sure that recreation and cultural pastime will definitely take place. In this way, an influx of people from outside the neighbourhood will be ensured.

The first variant of the structure is an attractor during the renovation of the Lesoparkovaya metro area

In order to achieve the set objectives, a concept was developed aimed at organizing an additional volume of workplaces with additional organization of leisure activities. The concept implies construction of an office and shopping centre with a developed underground part represented by a three-level car park and

a cinema. The project of the business hub is relevant, as at present, there is an active development of TINA O (Troitsk and Novomoskovsk Administrative District) and the construction of this centre will attract a sufficient flow of people for new jobs. There is a noticeable trend of population growth in the Troitsk and Podolsk regions and, consequently, the need for additional jobs is increasing.

For people living in Troitskiy direction and in the direction of Podolsk, it is necessary to spend a significant amount of time travelling to work (e.g. Moscow City). The existing ComCity business hub located near Rumyantsevo metro station could serve as an alternative. However, this option is convenient only for people living near the future Troitskaya metro line. Developing the area of Lesoparkovaya metro station as another work centre is optimal, as it will attract an additional flow of people from the nearest Moscow suburbs. An additional purpose of creating the office part of the business centre is to create more comfortable conditions for employees, namely to increase the amount of working space.

The concept of the office and shopping centre is a business centre consisting of three underground and seven above-ground floors. For the convenience of workers and visitors, the lower floors will feature: underground parking; a cinema; storage facilities for online marketplaces such as OZON, Wildberries, etc. The underground car park can also serve as an intercepting car park, provided that a modern transport interchange is created. The height of each underground floor will be 5 metres according to “Annex G” of CP 42.13330.2016 “Urban Planning. Planning and Development of Urban and Rural Settlements” at the rate of one parking space for every 50 m² of the total area of the building. The total area will be 13,200 m², the car park area will be 4,800 m². Structurally, the underground space is represented by a number of columns resting and transmitting the load directly on the foundation slab, separated by expansion joints. The enclosing structures of the excavation are walls in the ground made of heavy concrete of strength class B30.

The ground part is represented by: various shops of goods for various purposes from boutiques to supermarkets and a food court — in general, a modern idea of a standard multifunctional shopping centre. Two seven-storey sections will be allocated for office space. Fig. 4 shows a plan of the first elevated floor.

The middle section is a link or “transport” link between the working parts of the building, as it houses an escalator zone to minimize the time it takes workers to move between different office departments. On the ground floor, there is a spacious co-working area with fresh flowers and natural light thanks to translucent coverings. On the remaining floors, there are office spaces. The exterior facade is a spectacular and innovative design with panoramic glazing. Fig. 5 shows sections of the multifunctional complex.

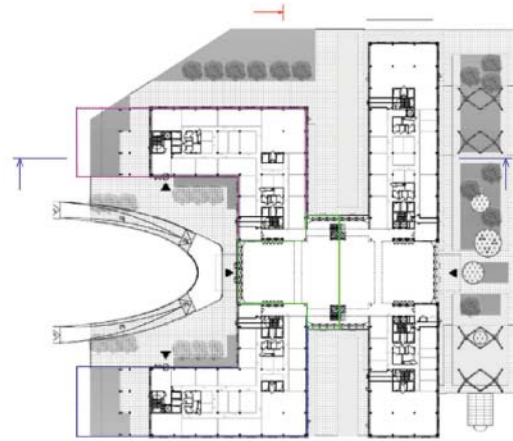
*a**b*

Fig. 4. Architectural and planning solution of the multifunctional centre

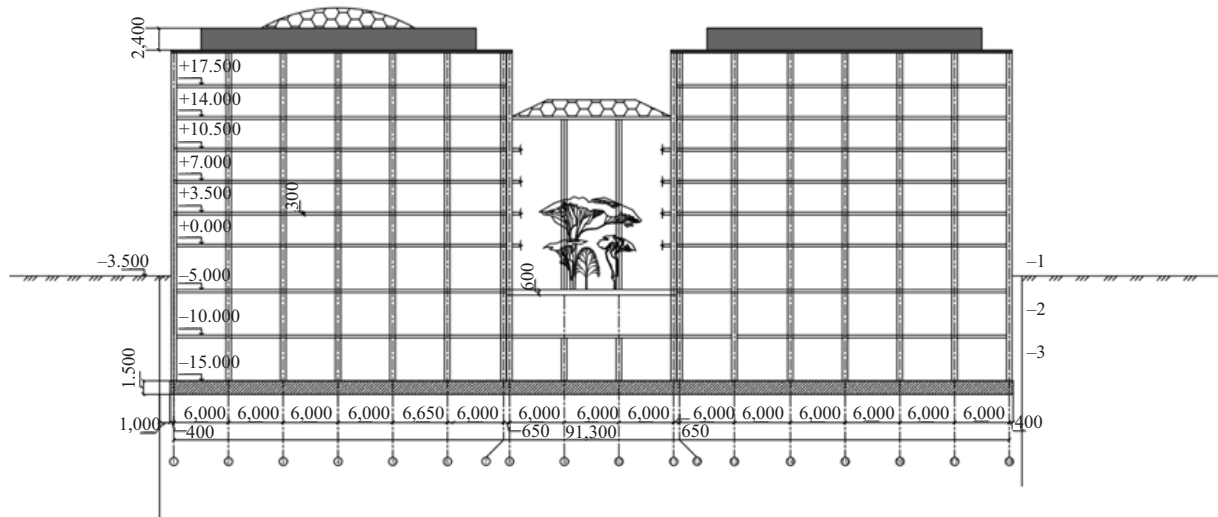
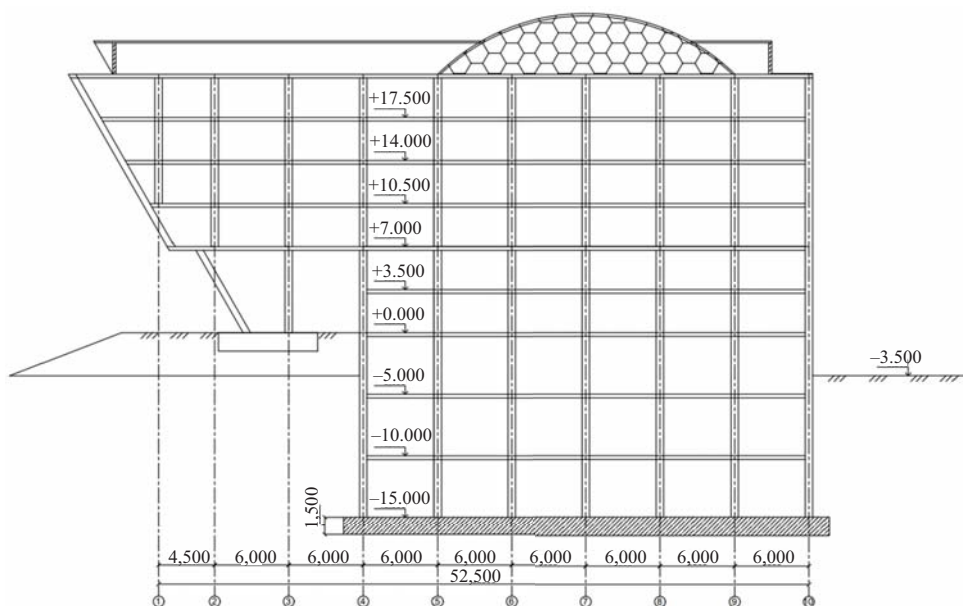
*a*

Fig. 5. Cross-sections of the multifunctional complex: *a* — longitudinal section A-A; *b* — cross-section B-B

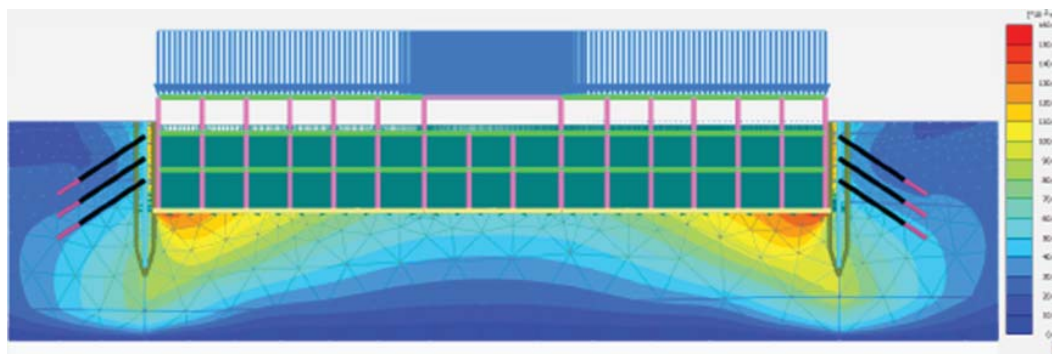


Fig. 6. The results of modelling a multifunctional complex

To determine the possibility of erecting this multifunctional complex with a developed underground part, mathematical modelling was carried out in the Plaxis software package implementing the finite element method. The results of the modelling are shown in Fig. 6.

Structurally, the underground part of the complex is represented by a number of columns resting and transmitting the load directly on the foundation slab. The foundation is a slab foundation divided by sectional expansion joints. As the enclosing structures of the excavation — walls in the ground, represented by bored piles, made of heavy concrete. Reinforced concrete inter-storey slabs — beamless, without capitals. The slab thickness is increased in the middle part. As a result of the modelling, the maximum displacements in the massif and structures are 14 cm. The zone of influence is 22 m from the contour of the underground part. Therefore, the construction of such a complex is possible.

The second variant of the structure — attractor during the renovation of the Lesoparkovaya metro area

The next idea to increase the walkability of the station is to build a shopping and entertainment complex (SEC). A classic shopping mall will be less competitive than other popular themed complexes. In this regard, a special concept is needed that will attract people to visit the proposed shopping mall — the attractor concept around which the infrastructure of the renovated area will be built is based on the construction of a thematic shopping and entertainment complex, like the Moskvarium Oceanography Centre and the Dream Island Park. Instead of the existing industrial zone, which is adjacent to the Varshavskoye Highway, this option provides for the construction of residential complexes. Thus, it is necessary to remove all industrial enterprises from the territory of renovation and redevelopment. It is also necessary to build infrastructure facilities: schools, kindergartens, sports facilities, etc.

Structurally, this complex consists of four floors — two underground and two aboveground. The first underground floor houses the main hypermarket. On the second underground floor, there is a car park for the guests of the complex. The first

elevated floor contains a number of small specialized shops, a food court and recreational areas for visitors. The second elevated floor is divided into 4 sections: museum, exhibition halls, cinema halls, adult and children's quest-room.

Renovation of the Lesoparkovaya metro area

As part of the development of the neighbourhood renovation concept, apart from the attractor, it is necessary to take into account the improvement of the park zone of Bittsevsky Forest Park and the neighbourhood as a whole. For the residents of Lesoparkovaya neighbourhood it is necessary to envisage the construction of a school, pre-school institutions, children's polyclinic or outpatient clinic, sports grounds, etc. The proximity of the located Bittsevsky forest park can play a positive role in attracting people to the neighbourhood. Not everyone is interested in a shopping centre. People from the city centre or other areas where there is a lack of parkland will come for recreation in nature.

The experience of New York (the USA) is typical here, where for similar purposes of recreation of citizens in the Manhattan district Central Park was erected — actually an artificial structure for recreation, walks and sports [21]. The same way was followed at the present time during the renovation of the urban environment of Buenos Aires, Argentina [22]. This requires a separate project for the improvement of the territory of Bittsevsky Forest Park, which is adjacent to the district. It is necessary to create infrastructure for recreation, walking and sports — for example, for jogging and Nordic walking.

The area also needs good transport accessibility by private vehicles. On the one hand, it would seem that more people need to be transported by public transport, but on the other hand, the area located near the Moscow Ring Road allows for intercepting parking. Moreover, people will use the metro. In addition, according to the research of foreign specialists in the field of architecture and urban planning [23–26], people who spend a lot of time in some place at work, subconsciously choose this area for recreation with their families. This is provided that the person likes this neighbourhood, it suits him/her according to many criteria, etc.

Comparison of two variants of structures

Statistical evaluation criteria	At the moment, the number of passengers at the metro station	At the operation of the business centre	At the operation of the shopping mall
Attendance per day	—	30,000 — office part 70,000 — 90,000 — retail part	50,000 — weekdays 85,000 — weekends
Attendance of underground entertainment part	—	11.2 thousand people/day (cinema zone only)	19 thousand people/day (entertainment zone also includes oceanarium, museum, etc.).
Passenger flow at metro station, persons/day	0.2 thousand people — now person/day During construction of TTH — 14.1 thousand people	(Increases by 23 %)	(Increases by 19 %)

CONCLUSIONS

This study was done in the form of a case study on the renovation of a neighbourhood with increased passenger traffic to Lesoparkovaya station. However, the conclusions drawn in it can be used for any neighbourhoods and districts of large cities. Table gives comparative characteristics of two variants of facilities — the attractor of the renovation area, as a result of which it is planned to attract more people to the area.

In order to redevelop a neighbourhood (industrial, undeveloped, built-up to outdated standards, etc.), it is necessary to identify its target audience. Then it is necessary to select the so-called attractor object, which will attract people to the area both for living and for temporary stay at work or on holiday. It is also necessary

to develop a convenient way of travelling to the area by public transport from the hub stations in order to reach as much of the target audience from other districts as possible. In addition to the attractor, it is necessary to envisage upgrading the infrastructure of the neighbourhood: build more pre-schools and schools if the target audience living in the neighbourhood is young families and more social facilities if the target audience is pensioners. It is also necessary to provide places for outdoor recreation and sports, and if it is not possible — to build an indoor sports centre with an inexpensive subscription for its attendance.

Only under these conditions, redevelopment of the area will be economically viable for developers and acceptable to city residents and people commuting to the area from the suburbs.

REFERENCES

1. Rodionovsky A.N. Formation of a system of local urban centers based on existing metro stations. *Innovations and Investments*. 2022; 11:240-243. (rus.).
2. Chekmeneva D.A. Shaping the identity of cultural and leisure centers in residential areas of Moscow. *Science, education and experimental design in MARKhI : abstracts of the international scientific-practical conference*. 2018; 607-608. (rus.).
3. Egorova I.N., Zubkov V.N. To the question of the development of transport-transfer hubs. *Almanac of World Science*. 2016; 3-1(6):84-90. (rus.).
4. *Improvement and renovation. Approaches and problems*. Moscow, Publishing house “A-Print”, 2018; 268. (rus.).
5. Ashimin A.V., Shestopalova N.V. Problems of Russian urban planning XX–XXI centuries in the context of cultural and civilizational decay of post-industrial society. *Innovative development of science: fundamental and applied problems : monograph*. Petrozavodsk, International Center for Scientific Partnership “New Science” (IP Ivanovskaya Irina Igorevna), 2021; 269-304. DOI: 10.46916/18052021-3-978-5-00174-233-3 (rus.).
6. Ovsyannikova V.E. Parallels in mass construction 1920s–1950s (settlement “Sokol” and the 9th quarter of Novye Cheremushki). *Mesmakherov Science — 2019 research papers of graduate students and students. Materials of international scientific and practical conference*. St. Petersburg, KultInform-Press, 2019; 330-333. (rus.).
7. Gorlov V. Novie Cheremushki. Transition to mass introduction into the microdistrict system in the USSR in 50–60s of XX century. *Bulletin of the State University of Education. Series: History and Political Sciences*. 2014; (2):61-68. (rus.).

8. Bobkova I.A. Unification of schools. Will the economy win the capital education? *Concepts*. 2016; 1(35):65-77. (rus.).
9. Mitryaev E.A., Popov A.V. Prospects for reconstruction of the 9th quarter of new Cheryomushki with a change in function. *Ecology of urbanized areas*. 2022; 1:80-85. DOI: 10.24412/1816-1863-2022-1-80-85 (rus.).
10. Potashova M.D., Tsitman T.O. Integrated development of urban areas. Renovation of the microdistrict. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea*. 2019; 2(28):40-50. (rus.).
11. Zazulya V.S., Lobanov Yu.N., Rusanov G.E., Volkov V.I. Tactical urbanism as a method for rapid “renovation” of bedroom areas of the city. *Bulletin of Civil Engineers*. 2019; 5(76):5-9. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-5-5-9 (rus.).
12. Alov I.N. African-American Ghettos: Characteristics and Typology. *Urban Studies and Practices*. 2018; 3(1):10:63-77. DOI: 10.17323/usp31201863-77 (rus.).
13. Fedchenko I.G. “Community Center” as a new type of public architecture in the living environment. *Modern Architecture of the World*. 2020; 1(14):248-262. DOI: 10.25995/NIITIAG.2020.81.27.011 (rus.).
14. Keresztely K. Urban Renewal as a Challenge for European Urban Development in the 21st century. *Proceeding in the European urban fabric in the 21st century*. 2012. URL: https://www.citego.org/bdf_fiche-document-532_en.html
15. Denisova E.L. Foreign experience in the implementation of renovation programs: a comparative analysis. *Bulletin of the St. Petersburg Law Academy*. 2022; 4(57):35-38. (rus.).
16. Li G. Renovation of Shantytowns and Construction of New Communities. *The Urban Book Series*. 2021; 121-152. DOI: 10.1007/978-3-030-74544-8_8
17. Abdulova I.T. New neighborhoods of Irkutsk: between the suburbs and the “bedroom community”. “Suburban revolution” in the regional cross-section: peripheral urban areas in the post-Soviet space : collection of abstracts of international scientific conference. Ulan-Ude, Buryat Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2019; 92-97. DOI: 10.31554/978-5-7925-0571-1-2019-1-92-97 (rus.).
18. Tsybaikin A.A. Public spaces near metro stations in peripheral districts of Moscow. *Architecture and modern information technology*. 2021; 2(55):219-228. DOI: 10.24412/1998-4839-2021-2-219-228 (rus.).
19. Korolevsky K.Y., Egorychev O.O., Zertsalov M.G., Konyukhov D.S. Basic principles of formation of the program of complex development of Moscow underground space. *Metro and tunnels*. 2007; 6:34-35. (rus.).
20. Kashef M. Residential developments in small-town America: assessment and regulations. *City, Territory and Architecture*. 2017; 4(1). DOI: 10.1186/s40410-017-0070-4
21. Garvin A. *The American city: what works, what doesn't*. New York, McGraw-Hill, 2002; 584.
22. Maksimov S.N. Integrated development of territories and its bottlenecks. *Real Estate: Economics, Management*. 2023; 1:54-58. DOI: 10.22337/2073-8412-2023-1-54-58
23. Sabyna E.N., Sabyn M.N. Renovation as a form of urban areas improvement. *Interactive Science*. 2018; 11(33):54-56. DOI: 10.21661/r-473692
24. Schindler S., Kanai J.M., Bay J.D. Deindustrialisation and the politics of subordinate degrowth: The case of Greater Buenos Aires, Argentina. *Urban Studies*. 2023; 60(7):1212-1230. DOI: 10.1177/00420980221142706
25. Shahraki A.A. Renovation programs in old and inefficient neighborhoods of cities with case studies. *City, Territory and Architecture*. 2022; 9(1). DOI: 10.1186/s40410-022-00174-1
26. Hall P. *Cities of tomorrow: an intellectual history of urban planning and design since 1880*. Hoboken, NJ, Wiley-Blackwell. 2014; 644.

Received July 31, 2023.

Adopted in revised form on September 26, 2023.

Approved for publication on September 26, 2023.

B I O N O T E S : **Arthur V. Manko** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Soil Mechanics and Geotechnics; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 7155-8235, Scopus: 57199534645, ResearcherID: IUP-6915-2023, ORCID: 0000-0001-8892-9946; MankoAV@mgsu.ru;

Valeria A. Vinogradova — student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; vv886966@gmail.com;

Maria I. Voropaeva — student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; mashyvor@mail.ru;

Alina A. Ganshina — student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; geraaali@icloud.com;

Olga S. Matyukhova — student; **Moscow State University of Civil Engineering**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 6949-8161; olyamatuhova@mail.ru.

Contribution of the authors: authors made equivalent contributions to the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗДАНИЙ. ПРОБЛЕМЫ ЖКК. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЯ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 697.911

DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.3

Комбинация рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством для использования в механических вентиляционных системах

Дмитрий Олегович Хлопицын, Андрей Георгиевич Рымаров
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Один из наиболее распространенных способов экономии тепловой энергии и денежных средств — это применение рекуператорных установок в механических вентиляционных системах. Рассмотрен модернизированный воздушный рекуператор. Приведены особенности конструкции, схема расположения и алгоритм работы этого теплообменного устройства. Для увеличения выбора типа и конструкций воздушных теплообменников проектировщикам предложен и описан вариант спроектированного комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством из помещения, который в процессе работы будет одной из версий устройства, повышающего коэффициент полезного действия (КПД) в механических системах вентиляции. Рекуператор — незаменимый элемент для современных уникальных зданий и сооружений.

Материалы и методы. Рекуператор предлагается как аналог существующих и относится к области энергосбережения в системах механической вентиляции.

Результаты. Повышение КПД по сравнению с аналогами осуществляется за счет: использования рекуператора как совмещенного вытяжного воздухоприемного устройства из помещения, увеличения площади соприкосновения теплоносителей, особой внутренней конструкции, способной к более равномерной теплопередаче, нетиповой схемы расположения рекуператорной установки для избежания обмерзания и «оттайки» конденсата у теплопередающей поверхности. Поток нагрева приточного воздуха через совмещенный рекуператор с вытяжным воздухоприемным устройством из помещения в системе механической вентиляции регулируется автоматикой для поддержания более комфортной температуры подачи в помещение.

Выводы. Новая конструкция приобретает повышенный КПД по сравнению с аналогами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: рекуператор, вытяжное воздухоприемное устройство, воздушный теплообменник, теплопередача, механическая система вентиляции

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Хлопицын Д.О., Рымаров А.Г. Комбинация рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством для использования в механических вентиляционных системах // Строительство: наука и образование. 2023. Т. 13. Вып. 3. Ст. 3. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.3

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Олегович Хлопицын, dkhlopitsyn@mail.ru.

Combination of recuperator with exhaust air intake unit for use in mechanical ventilation systems

Dmitrii O. Khlopitsyn, Andrey G. Rymarov
*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. One of the most common ways to save heat energy and money is the use of recuperator units in mechanical ventilation systems. In this article, we will talk about the modernized air recuperator. In the process the design feature, layout and operation algorithm of this heat exchanger device will be demonstrated. In order to increase the choice of type and designs of air heat exchangers, designers will be offered and described the variant of designed combined recuperator with an exhaust air intake device from the room, which in the process will be one of the versions of the device increasing

the efficiency factor in mechanical ventilation systems. The recuperator is an indispensable element for modern unique buildings and structures.

Materials and methods. The recuperator is proposed as an analogue of existing ones and belongs to the field of energy saving in mechanical ventilation systems.

Results. The efficiency increase in comparison with analogues is carried out due to: the use of the recuperator as a combined exhaust air intake unit from the room, an increase in the area of contact of heat carriers, a special internal structure capable of more uniform heat transfer, an atypical arrangement of the recuperator installation to avoid freezing and "defrosting" of condensate at the heat transfer surface. The heating flow of the supply air through the combined recuperator with the exhaust air intake device from the room in the mechanical ventilation system is regulated by automation to maintain a more comfortable supply temperature in the room.

Conclusions. The new design acquires an increased efficiency compared to its analogues.

KEYWORDS: recuperator, exhaust air intake device, air heat exchanger, heat transfer, mechanical ventilation system

FOR CITATION: Khlopitsyn D.O., Rymarov A.G. Combination of recuperator with exhaust air intake unit for use in mechanical ventilation systems. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2023; 13(3):3. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.3

Corresponding author: Dmitrii O. Khlopitsyn, dkhlopitsyn@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Ведущие инженерные компании, связанные с вентиляционным оборудованием, стараются разработать технологии, алгоритмы работы и произвести модернизацию известных устройств для обеспечения комфортного микроклимата в помещении. Создание оптимальных параметров работы, невысокая цена, окупаемость в течение времени — критерии, по которым происходит борьба за первенство на рынке вентиляционного оборудования.

Рекуператор — это устройство, нацеленное на передачу тепловой энергии от более нагретого к менее нагретому теплоносителю через разделенную теплопередающую стенку. На сегодняшний день специалисты в области систем вентиляции и теплообмена пытаются добиться в своих рекуператорах высокого коэффициента полезного действия (КПД), используя модификацию теплопередающей поверхности и конструкции теплообменного аппарата. При грамотном проектировании данных установок можно значительно повысить эффективность системы механической вентиляции. Приоритетными задачами являются экономия денежных средств на их приобретение, легкость при эксплуатации и срок окупаемости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В статье предложен аналог, созданный на базе трубчатого теплообменника, отличающийся:

- конструкцией от имеющихся в настоящее время;
- комбинацией рекуператора как вытяжного устройства из помещения;
- нетиповой схемой расположения рекуператора.

В данном исследовании речь будет идти о проектом решении рекуператорной установки или теплообменника, работающего на теплоносителе воздух.

Технический результат работы — повышение КПД при помощи:

- комбинации рекуператора как вытяжного устройства из помещения, тем самым возможно уве-

личить поверхность теплообмена, не влияя на эстетические габариты системы вентиляции на объекте;

- фигурирования рекуператора как второй ступени подогрева;
- нетиповой схемы расположения;
- вида теплопередающего материала;
- оребрения теплопередающей поверхности;
- увеличения площади теплопередающей поверхности за счет расположения вытяжных воздуховодов с приточными воздуховодами, объединенными в общий круглый воздуховод (короб);
- автоматизации работы системы вентиляции.

Для максимального энергосбережения тепловой энергии была спроектирована и смоделирована установка, позволяющая добиться высокого КПД путем представления рекуператора как вытяжного устройства для удаления тепловых избытков, вредностей или поддержания оптимального воздухообмена в многообразных помещениях. Особенность конструкции заключается в том, что рекуператор играет роль трассы воздуховода и вытяжного устройства одновременно, воздуховоды вытяжной и приточной системы объединены в один круглый воздуховод (короб). Во внутренней области короба (внешний воздуховод круглого сечения) проходит приточный воздух, поступающий из нагревателя, который выступает первой ступенью подогрева в механической системе вентиляции, в процессе чего удаляемый воздух передает тепло приточному воздуху через теплопередающие трубки. Приточный воздух обтекает оребренные вытяжные трубки и сборный коллектор удаляемого воздуха. Ребра приняты для увеличения площади контакта теплоносителей. Акцент, который принимается на температуру 5 °C до захода приточного воздуха в комбинированный рекуператор, делается для того, чтобы:

- устранить обмерзание теплопередающей поверхности в рекуператоре, что всегда бывает, если один из теплоносителей имеет отрицательную температуру;
- устранить «оттайку» рекуператора, когда отключается приточный воздух и теплообменник про-

пускает через себя только вытяжной воздух, что занимает много времени;

- поддерживать стабильный и высокий КПД установки, так как не будет обмерзания теплопередающей поверхности.

Все усовершенствования, принятые в комбинированном рекуператоре, главным образом влияют на коэффициент теплоотдачи как со стороны приточного, так и со стороны удаляемого воздуха [1–5]. Система механической вентиляции, работающая как одно целое с комбинированной рекуператорной установкой, управляется автоматически для достижения более стабильной температуры приточного воздуха после рекуператора. В данном решении не обойтись без автоматизации, поскольку нельзя предсказать процесс выделения тепла в помещении. Это предполагает колебание температуры входа удаляемого воздуха (с помощью вытяжных трубок забора воздуха) на протяжении работы системы механической вентиляции.

Движение теплоносителей в комбинированном рекуператоре с вытяжным воздухоприемным устройством присутствует как противоточное, так и перекрестное, что позволяет заявить о смешанном процессе потоков теплоносителей. Трубки круглой формы, спроектированные в рекуператоре, дают возможность приточному воздуху проходить с большим обтеканием поверхности, а ребра — дополнительно увеличить площадь, в результате чего повышается эффективность работы рекуператора [6–21]. С помощью такого решения можно использовать все плюсы противоточного и перекрестного дви-

жения потоков. Если рассматривать период работы системы механической вентиляции, то комбинированная рекуператорная установка входит в группу непрерывного действия, так как тепло передается от более нагретого воздуха к менее нагретому через разделенную теплопередающую поверхность на протяжении всей стадии работы механической вентиляционной системы. Для демонстрации рекуператорной установки представлена принципиальная схема и внутренняя конструкция (рис. 1–4).

Состав установки (рис. 1–4):

- 1 — нагреватель;
- 2 — приточный вентилятор;
- 3 — вытяжной вентилятор;
- 4 — приточный воздуховод;
- 5 — дроссель-клапан;
- 6 — комбинированный рекуператор с вытяжным воздухоприемным устройством;
- 7 — датчик температуры;
- 8 — приточное воздушораспределительное устройство;
- 9 — вытяжное отверстие;
- 10 — вытяжная трубка;
- 11 — вытяжной коллектор;
- 12 — вытяжной воздуховод;
- 13 — удаляемый воздух;
- 14 — приточный воздух;
- 15 — ребро коллектора;
- 16 — ребро вытяжной трубки;
- 17 — автоматический щит управления;
- 18 — помещение.

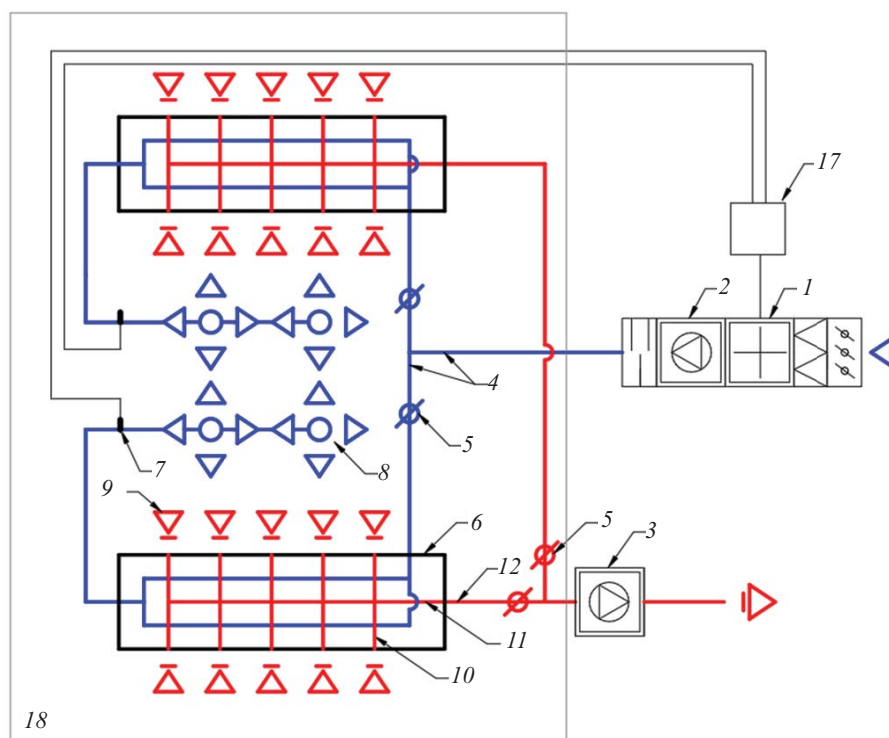


Рис. 1. Принципиальная схема комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством для использования в механических вентиляционных системах

Рассмотрим алгоритм работы комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством, позволяющий повысить эффективность функционирования системы вентиляции в холодный и переходный периоды года.

Приточный воздух 14 подается через нагреватель 1 и имеет температуру перед приточным вентилятором 2 не менее 5 °С. Это условие должно выполняться для избежания «оттайки» конденсата на теплопередающей поверхности, что может способствовать, если температура приточного воздуха будет отрицательной, отключению приточной механической системы вентиляции. После чего приточный воздух 14 нагнетается по воздуховодам 4 и проходит через дроссель-клапан 5 для увязки ветвей системы. Далее приточный воздух поступает в комбинированный рекуператор с вытяжным воздухоприемным устройством 6, где происходит догрев свежего воздуха, в процессе чего воздух, выходящий из данного узла, проходит через датчик температуры 7, который анализирует необходимую температуру и с помощью автоматики 17 подает сигнал на нагреватель 1, который в свою очередь корректирует нагрев первой ступени. В итоге приточный воздух 14 поступает в помещение из приточного воздухораспределительного устройства 8 в помещение 18.

Вентилятор 3 забирает удаляемый воздух 13 из помещения 18, он поступает в вытяжное отверстие 9 забора воздуха, где движется по вытяжным трубкам 10. Затем вытяжной воздух 13 из вытяжных трубок 10 с поперечным оребрением 16 со стороны приточного воздуха 14 поступает в сборный вытяжной коллектор 11 с продольным оребрением 15 со стороны приточного воздуха 14. В результате чего удаляемый воздух 13 поступает в вытяжной воздухопровод 12, где установлен дроссель-клапан 5 для выравнивания давления между двумя ветками. В конце системы вытяжной воздух 13 удаляется в окружающую среду.

Удаление конденсата, образующегося на вытяжных трубках (теплопередающей поверхности) между удаляемым воздухом 13 и приточным воздухом 14, производится в дренажную систему.

Тепловой перенос энергии от более нагретого (удаляемого) воздуха 13 к менее нагретому (приточному) 14 воздуху передается через теплопередающую поверхность, спроектированную в форме трубок 10 с поперечными ребрами 16 и общего сборного коллектора 11 с продольными ребрами 15. Принятие данного решения позволяет увеличить коэффициент эффективности рекуператора в системе механической вентиляции [22–25].

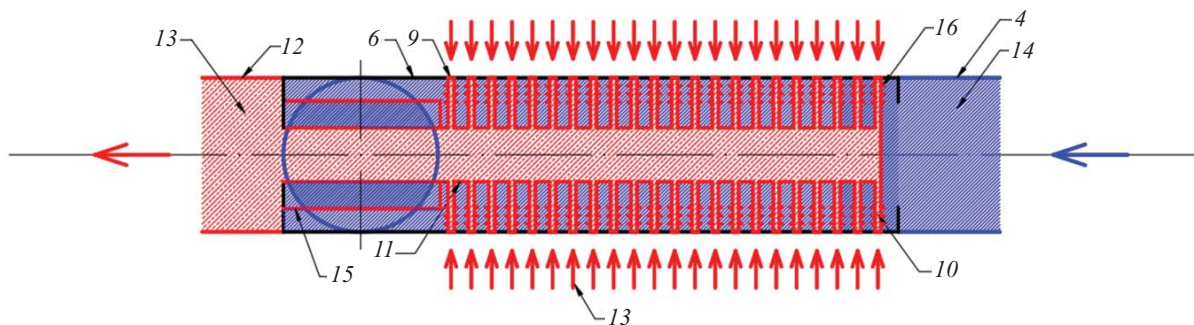


Рис. 2. Продольное сечение комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством для использования в механических вентиляционных системах

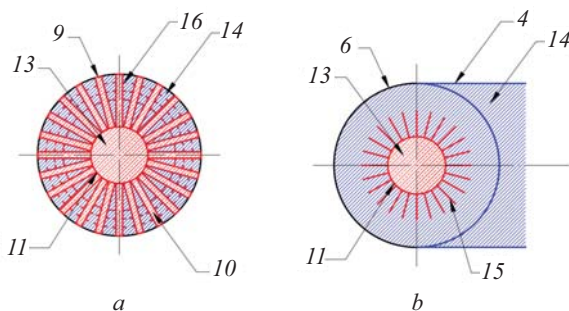


Рис. 3. Поперечное сечение комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством для использования в механических вентиляционных системах в месте подключения: а — вытяжных трубок к сборному коллектору; б — приточного воздухопровода

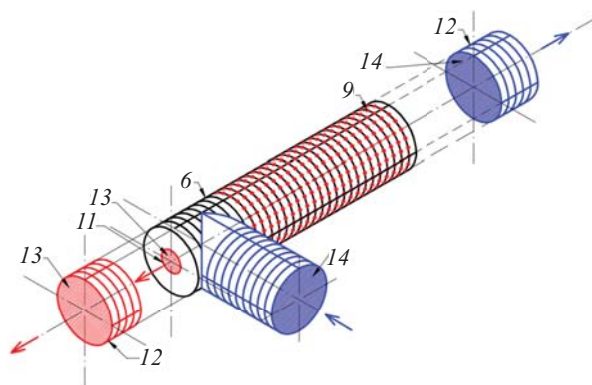


Рис. 4. Аксонометрия комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством для использования в механических вентиляционных системах

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Положительные стороны использования комбинированного рекуператора:

1. Сокращение тепловых затрат. Нагревание приточного воздуха в нагревателе происходит до температуры 5 °С и выше. Нагреватель играет роль первой ступени нагревания в механической системе вентиляции. Процесс догрева приточного воздуха происходит в комбинированном рекуператоре с вытяжным воздухоприемным устройством, что подразумевает вторую ступень нагревания в механической вентиляционной системе.

2. Простота конструкции. Рекуператор не имеет движущих элементов, теплопередающие трубки с поперечными ребрами и сборный коллектор с продольными ребрами располагаются внутри внешнего воздуховода. Заводская сборка не требует максимальной категории инженеров, собирающих данный рекуператор. Комбинация рекуператора и вытяжного устройства объединяет два разных элемента, предполагающих уникальные функции в системе механической вентиляции.

3. Сокращение эксплуатационных затрат. При использовании рекуператора после нагревателя в системе механической вентиляции отсутствует обмерзание и последующая «оттайка» теплопередающей поверхности. Схема расположения комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством для использования в механической вентиляционной системе позволяет обходиться без замены теплопередающих трубок или ремонта внутреннего, или внешнего состава установки, так как на всем протяжении работы в холодный и переходный периоды года средняя температура при осуществлении теплопереноса между удаляемым и приточным воздухом находится в плюсовом диапазоне. Техническому персоналу необходимо делать проверку один раз в год на предмет загрязнения и целостности теплопередающих трубок.

4. Эстетическая составляющая. Рекуператор играет роль вытяжного воздухоприемного устройства и трассы воздуховода одновременно, это позволяет располагать в нем большую площадь теплопередающей поверхности, что повышает интенсификацию теплопередачи.

5. Применение автоматики для контроля и корректировки температуры. Щит автоматики при работе в купе с датчиком температуры дает возможность контролировать и корректировать тепловую мощность в нагревателе. Главное правило — установка датчика температуры по потоку до и вблизи приточного устройства. Именно малое расстояние позволит максимально точно поддерживать температуру приточного воздуха, выходящего из воздухораспределительного устройства [26–29].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Комбинированный рекуператор с вытяжным воздухоприемным устройством для использования в механических вентиляционных системах позволяет:

- экономить мощность нагревателя;

- исключить обледенение теплопередающей поверхности и процесс «оттайки» (отключения приточной системы вентиляции и работы только вытяжной системы вентиляции);

- уменьшить денежные затраты;
- повысить эффективность по сравнению с аналогами за счет увеличения площади теплопередающей поверхности при помощи нетиповой работы и схемы;

- объединить функционал двух независимых элементов — рекуператора и вытяжного устройства;

- добиться более быстрой окупаемости по сравнению с аналогами;

- выполнить монтаж и установку на объекте без каких-либо сложностей для инженеров и монтажников;

- осуществлять минимальный контроль эксплуатирующими организациями.

Основные требования для проектирования комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством с целью использования в механических системах вентиляции:

- расход приточного воздуха;
- расход удаляемого воздуха;
- параметры внутреннего воздуха;
- параметры входа приточного воздуха, температура воздуха не ниже 5 °С;

- параметры выхода приточного воздуха;
- параметры входа удаляемого воздуха;
- параметры выхода удаляемого воздуха;
- площадь теплопередающих трубок и вытяжного коллектора (поверхностей);

- материал и оребрение теплопередающих трубок и вытяжного коллектора (поверхностей).

Главные требования для эксплуатации комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством с целью использования в механических системах вентиляции:

- очистка теплопередающих трубок и вытяжного коллектора (поверхностей) для поддержания расчетной эффективности работы. Для увеличения диапазона очистки теплопередающих трубок у теплообменника возможно использовать в проекте фильтр «особо тонкой очистки»;

- оценка работы системы автоматики для поддержания температуры приточного воздуха.

Таким образом, специалистам в области систем вентиляции предложен вариант комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством для использования в механических вентиляционных системах, который обладает весомыми плюсами по сравнению с аналогами. Данный теплообменный аппарат с автоматикой позволяет обеспечить более стабильные температурные параметры микроклимата в помещении в холодный и переходный периоды года

с учетом интенсификации теплообмена между вытяжным и приточным воздухом через теплопереда-

ющие трубки и коллектор, что способствует улучшенному энергосбережению.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М. : Энергия, 1973. 319 с.
2. Быков Л.В., Молчанов А.М., Янышев Д.С. Основы вычислительного теплообмена и гидродинамики : учебное пособие. М. : URSS, 2019. 200 с.
3. Видин Ю.В. Инженерные методы расчета задач теплообмена. М. : Инфра-М, 2018. 166 с.
4. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. М. : Высшая школа, 1975. 496 с.
5. Кудинов И.В. Математическое моделирование гидродинамики и теплообмена в движущихся жидкостях : монография. СПб. : Лань, 2015. 208 с.
6. Виноградов С.Н., Таранцев К.В., Виноградов О.С. Выбор и расчет теплообменников : учебное пособие. Пенза : Изд-во ПГУ, 2001. 100 с.
7. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. М. : Наука, 1982. 472 с.
8. Самарин О.Д., Яцына В.А. Исследование зависимости температурной эффективности пластинчатых рекуператоров от типоразмера вентиляционной установки // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2021. № 2 (230). С. 71–73. EDN NDMEZG.
9. Borowski M., Karch M., Kleszcz S., Sala P., Waryan G. An experimental and numerical investigation of the thermal and non-thermal efficiency for counterflow heat exchanger // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 128. P. 04008. DOI: 10.1051/e3s-conf/201912804008
10. Lamlerd B., Bubphachot B., Chompookham T. Experimental investigation of heat transfer characteristics of steam generator with circular-ring turbulators // Case Studies in Thermal Engineering. 2023. Vol. 41. P. 102549. DOI: 10.1016/j.csite.2022.102549
11. Белоногов Н.В., Пронин В.А. Оптимизация геометрических параметров перекрестно-точных пластинчатых рекуператоров // Вестник Международной академии холода. 2008. № 1. С. 21–23. EDN JXORYH.
12. Карпузова Н.Ю., Фокин В.М. Расчет теплообменных аппаратов: методические указания к курсовому и дипломному проектированию. Волгоград : Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2013. 67 с. EDN WABVMN.
13. Chompookham T., Chingtuaythong W., Chokphoemphun S. Influence of a novel serrated wire coil insert on thermal characteristics and air flow behavior in a tubular heat exchanger // International Journal of Thermal Sciences. 2022. Vol. 171. P. 107184. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2021.107184
14. Рутковский А.Л., Макоева А.К., Коробкин Р.С. Использование рекуператора типа «труба в трубе» для возврата отходящих газов в вельц-печь барабанного типа // Наука и бизнес: пути развития. 2021. № 1 (115). С. 30–33. EDN EJDJJJ.
15. Kleszcz S., Jaszczur M., Pawela B. An analysis of the periodic counterflow heat exchanger for air-to-air heat recovery ventilators // Energy Reports. 2023. Vol. 9. Pp. 77–85. DOI: 10.1016/j.egy.2023.03.088
16. Вдовичев А.А. К вопросу определения температурной эффективности пластинчатых перекрестно-точных рекуператоров воздуха // Вестник Евразийской науки. 2022. Т. 14. № 5. EDN XYXUEV.
17. Golijanek-Jędrzejczyk A., Mrowiec A., Kleszcz S., Hanus R., Zych M., Jaszczur M. A numerical and experimental analysis of multi-hole orifice in turbulent flow // Measurement. 2022. Vol. 193. P. 110910. DOI: 10.1016/j.measurement.2022.110910
18. Белоногов Н.В. Утилизация теплоты в перекрестно-точных пластинчатых рекуператорах // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2012. № 2 (122). С. 75–83. EDN RHWDYL.
19. Вдовичев А.А. Численное исследование теплопереноса и аэродинамики в перекрестно-точном рекуператоре открытого типа // Вестник Евразийской науки. 2022. Т. 14. № 2
20. Демидочкин В.В., Костуганов А.Б., Черчаев А.А. Определение теплотехнической эффективности пластинчатого теплоутилизатора // Вестник Оренбургского государственного университета. 2018. № 6 (218). С. 123–131. DOI: 10.25198/1814-6457-218-123. EDN HNFKOY.
21. Вдовичев А.А. Особенности численного моделирования пластинчатого перекрестно-точного рекуператора воздуха // Вестник Евразийской науки. 2021. № 5.
22. Краснов Ю.С. Монтаж систем промышленной вентиляции. М. : Стройиздат, 1983. 245 с.
23. Краснов Ю.С., Борисоглебская А.П., Антипов А.В. Системы вентиляции и кондиционирования. Рекомендации по проектированию, испытаниям и наладке. М. : Термокул, 2006.
24. Самарин О.Д. Основы обеспечения микроклимата зданий : учебник. М. : АСВ, 2014. 203.
25. Каменев П.Н., Тертичник Е.И. Вентиляция : учебник. М. : АСВ, 2006.
26. Пачкин С.Г., Котляров Р.В., Шевцова Т.Г., Иванов П.П., Ли С.Р., Преснова А.С. Разработка автоматизированной системы управления приточно-вытяжной вентиляцией // Современные наукоемкие

технологии. 2022. № 1. С. 80–84. DOI: 10.17513/snt.39013. EDN CYUMBL.

27. Власенко О.М., Сорокин А.С., Абдулаев С.Х. Обогрев вентиляции при автоматизации производственных зданий легкой промышленности // Дизайн и технологии. 2015. № 50 (92). С. 70–77. EDN VXLNT.

28. Halawa E., van Hoof J. The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview // Energy and Buildings. 2012. Vol. 51. Pp. 101–110. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.04.011

29. Архипов Г.В. Автоматическое регулирование вентиляции и кондиционирования воздуха. Принципиальные технологические схемы систем автоматического регулирования. М.: Госэнергоиздат, 1961. С. 176.

Поступила в редакцию 31 мая 2023 г.

Принята в доработанном виде 6 июня 2023 г.

Одобрена для публикации 23 июня 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Дмитрий Олегович Хлопицын — аспирант; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 1107240, Scopus: 57224204063, ORCID: 0009-0003-4988-3385; dkhlopitsyn@mail.ru;

Андрей Георгиевич Рымаров — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 665928, Scopus: 7801333552, ResearcherID: AFM-6219-2022, ORCID: 0000-0002-1901-1557; rymarov@yandex.ru.

Вклад авторов:

Хлопицын Д.О. — идея, сбор и обработка материала, написание статьи.

Рымаров А.Г. — научное руководство, научное редактирование текста, концепция исследования.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

Leading engineering companies related to ventilation equipment try to develop technologies, algorithms of operation and modernize all known devices in the field of providing comfortable microclimate in the room. Work on creation of optimal parameters of work, not high price, payback within time — the criteria for which there is a struggle for supremacy in the market of ventilation equipment.

A recuperator is a device aimed at transferring heat energy from a more heated heat transfer medium to a less heated heat transfer medium through a separated heat transfer wall. Today, specialists in the field of ventilation and heat and mass transfer systems try to achieve high efficiency in their recuperators by modifying the heat transfer surface and the design of the heat exchanger itself. If these units are designed correctly, the efficiency of the mechanical ventilation system can be significantly increased. The priority is to save money on their purchase, ease of operation and payback over time.

MATERIALS AND METHODS

The paper proposes an analogue based on the tubular heat exchanger, but different:

- by design from those available today;
- combination of a recuperator as a room exhaust unit;
- not a typical recuperator layout.

In this article, we will talk about the design solution of a recuperator unit or simply a heat exchanger operating on the heat carrier air.

The technical result of the work is to increase the efficiency factor with:

- the combination of the recuperator as a room exhaust unit, thus increasing the heat exchange surface without affecting the aesthetic dimensions of the ventilation system on site;
- the recuperator as a second heating stage;
- not a typical layout;
- the type of heat transfer material;
- finning of the heat transfer surface;
- increasing the heat transfer surface area due to the arrangement of exhaust ducts with supply ducts combined in a common circular duct (box);
- automation of the ventilation system.

In order to maximize the energy saving of thermal energy, an installation has been designed and modelled to achieve high efficiency by presenting the recuperator as an exhaust unit for removing thermal excesses, contaminants or maintaining optimal air exchange in a variety of rooms. The special feature of the design is that the recuperator plays the role of both a duct route and an exhaust unit at the same time, the ducts of the exhaust and supply system are combined into one circular duct (box). In the inner area of the box (outer circular duct) passes the supply air coming from the heater, which plays the role of the first stage of heating in the mechanical ventilation system, in the process of which the exhaust air transfers heat to the supply air through heat transfer tubes. This supply air flows around the finned exhaust tubes and the exhaust air collector. The fins are adopted to increase the contact area of the heat transfer media. Accent, which is taken at a tem-

perature of 5 °C before sunset supply air to the combined recuperator, is done in order to:

- eliminate freezing of the heat transfer surface in the recuperator, which always happens if one of the coolants has a negative temperature;
- eliminate heat exchanger «defrosts», when the supply air is turned off and the heat exchanger passes only exhaust air through itself, which takes a lot of time;
- maintain stable and high efficiency of the installation, since there will be no freezing of the heat transfer surface.

All improvements adopted in the combined recuperator mainly affect on the heat transfer coefficient from both the supply and exhaust air sides [1–5]. Mechanical ventilation system operating as one piece with a combined recuperator unit, controlled automatically to achieve more stable supply air temperature after the recuperator. There is no way around this solution without automation, since it is impossible to predict the process of heat release in the room. This involves fluctuating exhaust air inlet temperature (using exhaust air intake tubes) during operation of the mechanical ventilation system.

The movement of heat carriers in the combined recuperator with an exhaust air intake unit is both countercurrent and crosscurrent, which makes it possible to declare a mixed process of heat carrier flows. The circular tubes designed in this recuperator allow the supply air to pass with a large surface flow, and the fins allow an additional increase in the surface area, thus increasing the efficiency of the recuperator [6–21]. This solution makes it possible to use all the advan-

tages of countercurrent and crosscurrent. If we consider the period of operation of this mechanical ventilation system, the combined recuperator unit is part of the continuous group, as it allows heat transfer from more heated air to less heated air through a divided heat transfer surface throughout the entire stage of operation of the mechanical ventilation system. To demonstrate the recuperator unit, the circuit diagram and internal construction are shown in Fig. 1–4.

Composition:

- 1 — heater;
- 2 — supply fan;
- 3 — exhaust fan;
- 4 — supply air duct;
- 5 — throttle valve;
- 6 — combined recuperator with exhaust air intake device;
- 7 — temperature sensor;
- 8 — supply air distribution unit;
- 9 — exhaust opening;
- 10 — exhaust tube;
- 11 — exhaust collector;
- 12 — exhaust duct;
- 13 — exhaust air;
- 14 — supply air;
- 15 — collector rib;
- 16 — rib of the extraction tube;
- 17 — automatic control panel;
- 18 — room.

Let us consider the algorithm of operation of the combined recuperator with the exhaust air intake device, which

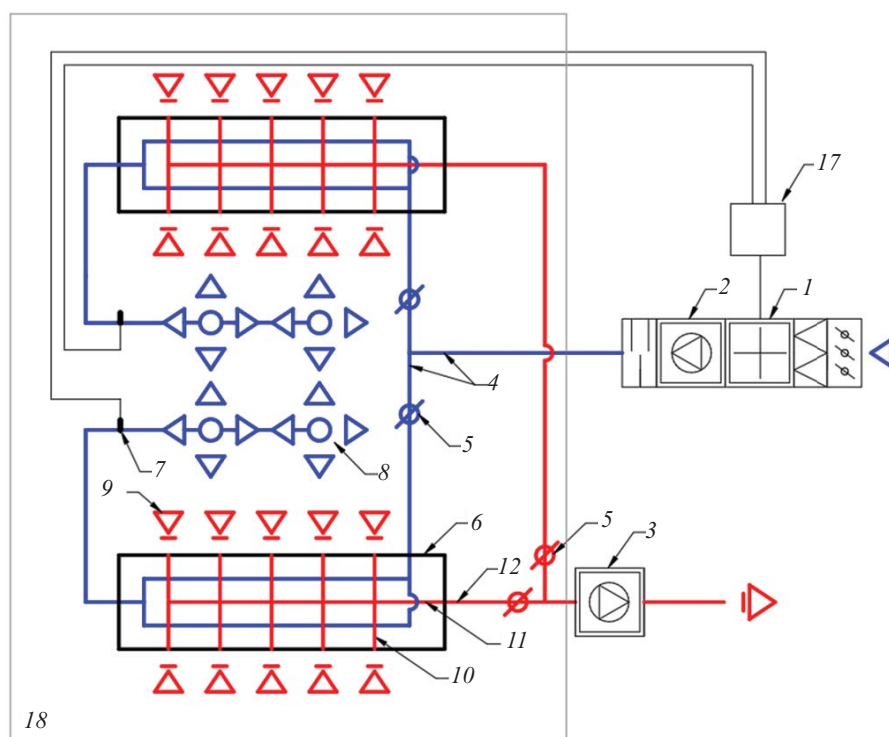


Fig. 1. Schematic diagram of a combined recuperator with an exhaust air intake unit for use in mechanical ventilation systems

allows to increase the efficiency of the ventilation system in the cold and transitional periods of the year.

The supply air 14 is supplied through heater 1 and has a temperature in front of supply fan 2 of at least 5 °C. This condition must be carried out to avoid condensate “defrosting” on the heat transfer surface, which can exist if the supply air temperature will be negative, the air supply will be turned off mechanical ventilation system. After which the supply air 14 is pumped through the air ducts 4 and passes through the throttle valve 5 for linking the branches of the system. Next, the supply air enters a combined recuperator with an exhaust air intake device 6, where the fresh air is reheated, during which the air, leaving this node passes through the sensor temperature 7, which analyzes the required temperature and with the help of automation 17 supplies signal to heater 1, which in turn adjusts the heating of the first stage. As a result, supply air 14 enters the room from the supply air distribution device 8 to room 18.

The fan 3 draws the exhaust air 13 from the room 18 and enters the exhaust air intake opening 9, where it flows through the exhaust tubes 10. Further, the extract air 13 from the extract tubes 10 with transverse fins 16 on the supply air side 14 enters the exhaust collector 11 with longitudinal fins 15 on the supply air side 14. The exhaust air 13 then flows into the exhaust duct 12, where a throttle valve 5 is installed to equalize the pres-

sure between the two branches. At the end of the system, the exhaust air 13 is discharged into the environment.

Condensate formed on the exhaust tubes (heat transfer surface) between the exhaust air 13 and the supply air 14 is removed to the drainage system.

Thermal energy transfer from the more heated (exhaust) air 13 to the less heated (supply) air 14 is transferred through the heat transfer surface designed in the form of tubes 10 with transverse ribs 16 and a common collecting collector 11 with longitudinal ribs 15. Adoption of this solution allows increasing the recuperator efficiency coefficient in the mechanical ventilation system [22–25].

RESEARCH RESULTS

Positive aspects:

1. Reduction of heat costs. The supply air is heated in the heater to a temperature of 5 °C or more. The heater itself is the first heating stage in a mechanical ventilation system. The reheating of the supply air takes place in a combined recuperator with an exhaust air intake unit, which implies a second heating stage in the mechanical ventilation system.

2. Simplicity of design. The recuperator has no moving parts, the heat transfer tubes with transversal fins and the collector with longitudinal fins are located inside the external duct. The factory assembly does not require the maximum category of engineers assembling this recuperator. The combination of recuperator and

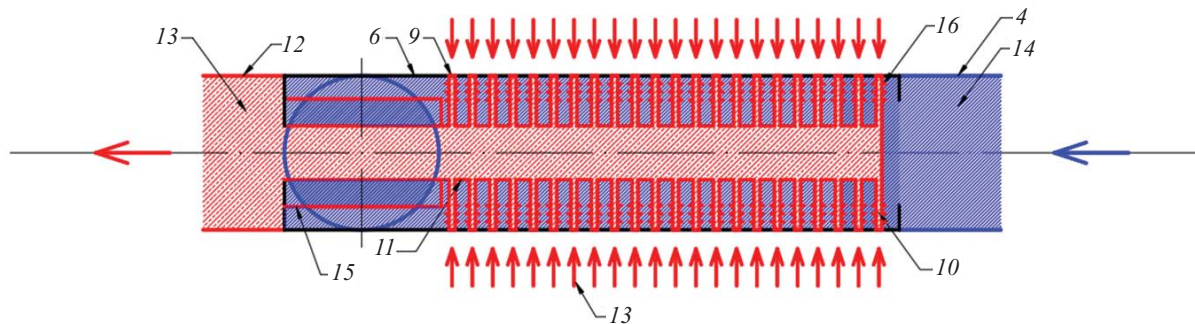


Fig. 2. Longitudinal section of a combined recuperator with an exhaust air intake for use in mechanical ventilation systems

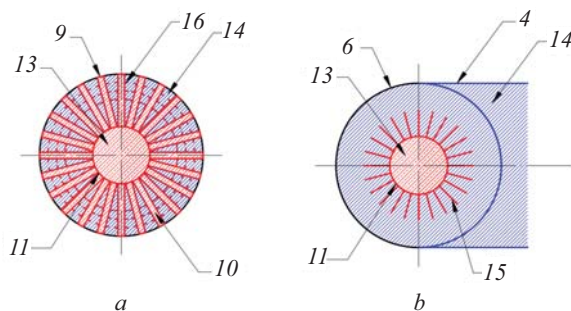


Fig. 3. Cross-section of a combined recuperator with an exhaust air intake unit for use in mechanical ventilation systems at the connection point: a — exhaust tubes to the collector; b — supply duct

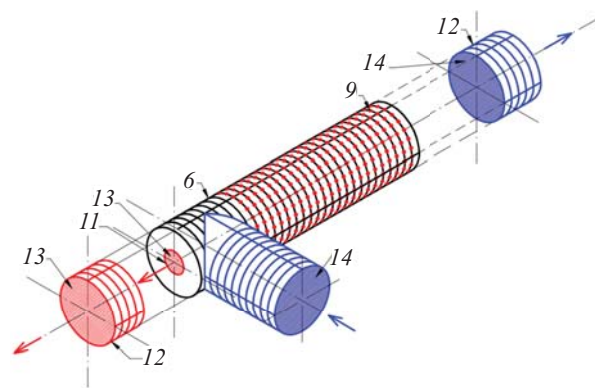


Fig. 4. Axonometric view of a combined recuperator with an exhaust air intake for use in mechanical ventilation systems

extractor combines two different elements with unique functions in a mechanical ventilation system.

3. Reduced operating costs. When the recuperator is used after the heater in a mechanical ventilation system, there is no freezing and subsequent “defrosting” of the heat transfer surface. This arrangement of the combined recuperator with exhaust air intake device for use in the mechanical ventilation system makes it possible to do without replacement of heat transfer tubes or repair of the internal or external composition of the unit, since throughout the operation in the cold and transitional periods of the year, the average temperature during the heat transfer between the exhaust and supply air is in the plus range. The maintenance staff should check once a year the effect of fouling and the integrity of the heat transfer tubes themselves.

4. Aesthetic component. The recuperator plays the role of an exhaust air intake unit and duct route simultaneously, which allows a large heat transfer surface area to be located in the recuperator, thus increasing the heat transfer intensification.

5. Use of automation to control and adjust the temperature. The automation panel, when working in conjunction with a temperature sensor, allows the heat output in the heater to be monitored and corrected. The main rule is to install the temperature sensor in the flow upstream and close to the supply unit. The small distance will allow to maintain the temperature of the supply air leaving the air distribution unit as accurately as possible [26–29].

CONCLUSION AND DISCUSSION

Combined recuperator with an exhaust air intake unit for use in mechanical ventilation systems allows:

- save heater power;
- avoid icing of the heat transfer surface and the “defrosting” process (switching off the supply ventilation system and operating only the exhaust ventilation system);
- reduce explicit costs;
- increase the efficiency compared to analogues by increasing the heat transfer surface area using non-typical operation and circuitry;

- combine the functionality of two independent elements, recuperator and extractor;
- produce a faster payback compared to analogues;
- carry out assembly and installation on site without any difficulties for engineers and installers;
- carry out minimal control by the operating organizations.

Basic requirements for the design of a combined recuperator with exhaust air intake for use in mechanical ventilation systems:

- supply flow rate;
- exhaust air flow rate;
- indoor air parameters;
- supply air inlet parameters, air temperature at least 5 °C;
- supply air outlet parameters;
- parameters of the intake of the removed air;
- parameters of the exhaust air outlet;
- area of the heat transfer tubes and the exhaust collector (surfaces);
- material and finning of heat transfer tubes and exhaust collector (surfaces).

Basic requirements for the operation of a combined recuperator with exhaust air inlet for use in mechanical ventilation systems:

- cleaning of the heat transfer tubes and the exhaust collector (surfaces) to maintain the design efficiency. To increase the cleaning range of the heat transfer tubes at the heat exchanger, it is possible to use an “extra fine” filter in the project;
- evaluate the operation of the automation system to maintain the supply air temperature.

Thus, specialists in the field of ventilation systems are offered a variant of a combined recuperator with an exhaust air intake unit for use in mechanical ventilation systems, which has significant advantages compared to analogues. This heat exchanger with automation makes it possible to provide more stable temperature parameters of the indoor microclimate during cold and transitional periods of the year, taking into account the intensification of heat exchange between exhaust and supply air through heat transfer tubes and collector, which contributes to improved energy saving.

REFERENCES

1. Mikheyev M.A., Mikheyeva I.M. *Basics of heat transfer*. Moscow, Energiya, 1973; 319. (rus.).
2. Bykov L.V., Molchanov A.M., Yanyshv D.S. *Fundamentals of computational heat transfer and hydrodynamics*. Moscow, URSS, 2019; 200. (rus.).
3. Vidin Yu.V. *Engineering methods for calculating heat transfer problems*. Moscow, Infra-M, 2018; 166. (rus.).
4. Nashchokin V.V. *Technical thermodynamics and heat transfer*. Moscow, Higher School, 1975; 496. (rus.).
5. Kudinov I.V. *Mathematical modeling of hydrodynamics and heat transfer in moving fluids : monograph*. St. Petersburg, Lan', 2015; 208. (rus.).
6. Vinogradov S.N., Tarantsev K.V., Vinogradov O.S. *Selection and calculation of heat exchangers : textbook*. Penza, PGU Publ., 2001; 100. (rus.).
7. Zhukauskas A.A. *Convective transport in heat exchangers*. Moscow, Nauka, 1982; 472. (rus.).
8. Samarin O.D., Yatsyna V.A. Research of the dependence of the thermal efficiency of the plate heat exchanger from the ventilation unit size. *Plumbing*,

Heating, Air-Conditioning. 2021; 2(230):71-73. EDN NDMEZG. (rus.).

9. Borowski M., Karch M., Kleszcz S., Sala P., Waryan G. An experimental and numerical investigation of the thermal and non-thermal efficiency for counter-flow heat exchanger. *E3S Web of Conferences*. 2019; 128:04008. DOI: 10.1051/e3sconf/201912804008

10. Lamlerd B., Bubphachot B., Chompookham T. Experimental investigation of heat transfer characteristics of steam generator with circular-ring turbulators. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2023; 41:102549. DOI: 10.1016/j.csite.2022.102549

11. Belonogov N.V., Pronin V.A. Optimization of geometric parameters of cross-flow plate recuperators. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2008; 1:21-23. EDN JXORYH. (rus.).

12. Karapuzova N.Yu., Fokin V.M. *Calculation of heat exchangers: guidelines for course and diploma design*. Volgograd, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, 2013; 67. EDN WABVMN. (rus.).

13. Chompookham T., Chingtuaythong W., Chokphoemphun S. Influence of a novel serrated wire coil insert on thermal characteristics and air flow behavior in a tubular heat exchanger. *International Journal of Thermal Sciences*. 2022; 171:107184. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2021.107184

14. Rutkivskiy A.L., Makoeva A.K., Korobkin R.S. Research into cathodic processes in the electrolysis of alkaline lead solutions. *Science and Business: Ways of Development*. 2021; 1(115):30-33. EDN EJDJJJ. (rus.).

15. Kleszcz S., Jaszczur M., Pawela B. An analysis of the periodic counterflow heat exchanger for air-to-air heat recovery ventilators. *Energy Reports*. 2023; 9:77-85. DOI: 10.1016/j.egy.2023.03.088

16. Vdovichev A.A. To the question of determining the temperature efficiency of plate cross-flow air recuperators. *Bulletin of the Eurasian Science*. 2022; 14(5). EDN XYXUEV. (rus.).

17. Golijanek-Jędrzejczyk A., Mrowiec A., Kleszcz S., Hanus R., Zych M., Jaszczur M. A numerical and experimental analysis of multi-hole orifice in turbulent flow. *Measurement*. 2022; 193:110910. DOI: 10.1016/j.measurement.2022.110910

18. Belonogov N.V. Heat recovery in cross-flow plate recuperators. *Plumbing, Heating, Air-Conditioning*. 2012; 2(122):75-83. EDN RHWDYL. (rus.).

19. Vdovichev A.A. Numerical study of heat transfer and aerodynamics in an open-type cross-flow heat exchanger. *The Eurasian Scientific Journal*. 2022; 14(2). (rus.).

20. Demidochkin V.V., Kostuganov A.B., Cherechayev A.A. Determination of heat technical efficiency of laminated heat recover. *Bulletin of the Orenburg State University*. 2018; 6(218):123-131. DOI: 10.25198/1814-6457-218-123. EDN HNFKOY. (rus.).

21. Vdovichev A.A. Features of numerical simulation of a plate cross-precision air recuperator. *The Eurasian Scientific Journal*. 2021; 5. (rus.).

22. Krasnov Yu.S. *Installation of industrial ventilation systems*. Moscow, Stroyizdat, 1983; 245. (rus.).

23. Krasnov Yu.S., Borisoglebskaya A.P., Antipov A.V. *Ventilation and air conditioning systems. Recommendations for design, testing and commissioning*. Moscow, Termokul, 2006. (rus.).

24. Samarin O.D. *Fundamentals of ensuring the microclimate of buildings : textbook*. Moscow, ASV, 2014; 203. (rus.).

25. Kamenev P.N., Tertichnik E.I. *Ventilation*. Moscow, ASV, 2006. (rus.).

26. Pachkin S.G., Kotlyarov R.V., Shevtsova T.G., Ivanov P.P., Li S.R., Presnova A.S. Development of an automated control system for plenum exhaust ventilation. *Modern High Technologies*. 2022; 1:80-84. DOI: 10.17513/snt.39013. EDN CYYMBL. (rus.).

27. Vlasenko O.M., Sorokin A.S., Abdulayev S.Kh. Ventilation heating during automation of industrial buildings of light industry. *Design and technologies*. 2015; 50(92):70-77. EDN VXLCNT. (rus.).

28. Halawa E., van Hoof J. The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview. *Energy and Buildings*. 2012; 51:101-110. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.04.011

29. Arkhipov G.V. *Automatic regulation of ventilation and air conditioning. Principal technological schemes of automatic control systems*. Moscow, Gosenergoizdat, 1961; 176. (rus.).

Received May 31, 2023.

Adopted in revised form on June 6, 2023.

Approved for publication on June 23, 2023.

B I O N O T E S : **Dmitrii O. Khlopitsyn** — postgraduate student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 1107240, Scopus: 57224204063, ORCID: 0009-0003-4988-3385; dkhlopitsyn@mail.ru;

Andrey G. Rymarov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 665928, Scopus: 7801333552, ResearcherID: AFM-6219-2022, ORCID: 0000-0002-1901-1557; rymarov@yandex.ru.

Contribution of the authors:

Dmitrii O. Khlopitsyn — idea, collection of material, processing of material, writing an article.

Andrey G. Rymarov — scientific guidance, scientific text editing, research concept.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Обзор новых конструктивных решений водозаборных сооружений

Юлия Александровна Рыльцева

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Предметом исследования являются водозаборные сооружения природных вод — поверхностных и подземных. Пожалуй, не существует ни одного инженерного сооружения, над совершенствованием конструкции и технического оснащения которого (в целях повышения надежности) не работали бы инженеры, ученые. Водозаборные сооружения в данном контексте не исключение. Рост площади жилой застройки, развитие промышленности, сельского хозяйства, государственные программы, направленные на снижение степени отрицательного воздействия на окружающую природную среду, создают предпосылки для строительства новых, реконструкции действующих водозаборов. Накопленные за последние десять лет научные разработки российских и зарубежных ученых, посвященные созданию новых конструкций сооружений для забора воды, нуждаются в обобщении.

Материалы и методы. Проведен аналитический обзор новых научных трудов (периодических изданий, патентов, диссертационных исследований), в которых приводится описание инновационных конструкций водозаборных устройств, обеспечивающих технологический и (или) экономический эффект.

Результаты. Установлено, что большее число новых изобретений нацелено на повышение барьерной роли водозаборов поверхностных вод по отношению к взвешенным, донным наносам и рыбной молоди. Эффект очистки воды водозаборным сооружением, как правило, обеспечивается фильтрованием, отстаиванием, а также комплексом этих процессов. Предлагаемые учеными конструкции рыбозащитных устройств включают одновременно фильтрующие преграды и средства воздействия на поведенческие реакции рыбной молоди. Интерес ученых также проявлен к разработке конструкции водозаборов подземных вод, способствующих увеличению дебита сооружения.

Выводы. Выполнены обзорное описание и анализ новых конструктивных решений водозаборных сооружений, обозначены рекомендации по их применению. Собранные сведения могут найти практическое применение при проектировании новых водозаборов, модернизации действующих устройств.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водозаборные сооружения, взвешенные и донные наносы, рыбозащитные сооружения, борьба с шугой, горные реки, подземные воды

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Рыльцева Ю.А. Обзор новых конструктивных решений водозаборных сооружений. 2023. Т. 13. Вып. 3. Ст. 4. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.4

Автор, ответственный за переписку: Юлия Александровна Рыльцева, ryiltsevayua@mgsu.ru.

Review of new design solutions for water intake structures

Yuliya A. Ryltseva

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

ABSTRACT

Introduction. The subject of research is water intake structures of natural waters — surface and underground. At present, there is perhaps not a single engineering structure that engineers and scientists would not work on improving its design and technical equipment (in order to increase reliability). Water intake structures in this context are not an exception. The growth of residential area, development of industry, agriculture, state programmes aimed at reducing the degree of negative impact on the environment create prerequisites for construction of new and reconstruction of existing water intakes. Scientific developments of Russian and foreign scientists devoted to the creation of new designs of water intake structures accumulated over the last ten years need to be generalized.

Materials and methods. An analytical review of new scientific papers (periodicals, patents, dissertation research), which describe innovative designs of water intake structures that provide technological and (or) economic effect, has been carried out.

Results. It was found that a greater number of new inventions are aimed at increasing the barrier role of surface water intake structures in relation to suspended, bottom sediments and juvenile fish. The effect of water purification by a water intake structure is usually provided by filtration, sedimentation, and a complex of these processes. The designs of fish protection devices proposed by scientists include both filtering barriers and means of influence on the behavioural reactions of juvenile fish. Scientists are also interested in developing groundwater intake structure design that contributes to increasing flow rate of the structure.

Conclusions. The overview description and analysis of new design solutions of water intake structures are made, recommendations on their application are outlined. The collected data can find practical application in the design of new water intake structures and modernization of the existing facilities.

KEYWORDS: water intake structures, suspended and bottom sediments, fish protection structures, slush ice control, mountain rivers, groundwater

FOR CITATION: Ryltseva Yu. A. Review of new design solutions for water intake structures. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2023; 13(3):4. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.4

Corresponding author: Yuliya A. Ryltseva, ryiltsevayua@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Водозаборные сооружения служат первым звеном сложной цепочки системы водоснабжения, ввиду чего обеспечение высокой надежности их функционирования не может быть поставлено под сомнение. От правильности выбора расположения водозабора, его конструкции и оборудования напрямую зависят эффективность и экономичность процесса водоподготовки, экологическое состояние водоисточника и перспективы его использования как такового в будущем. Немалое влияние водозаборные сооружения оказывают и на обитателей водного объекта — его флору и фауну. Особую остроту надежность функционирования водозаборных сооружений имеет в условиях Севера и на горных реках. С учетом неослабеваемого техногенного воздействия на поверхностные и подземные воды к сооружениям забора воды на сегодняшний день предъявляются требования по повышению их барьерной роли в отношении примесей природной воды. Цели продовольственной безопасности государства (в плане обеспечения населения рыбой и рыбопродуктами) указывают на актуальность оборудования водозаборов эффективными средствами рыбозащиты.

Значительный вклад в создание научной литературы, посвященной водозаборам поверхностных и подземных вод, внесли С.К. Абрамов, Н.Н. Биндеман, В.С. Алексеев, К.С. Боголюбов, М.Г. Журба, Ж.М. Говорова, Н.Н. Лапшин, М.П. Семенов, Н.А. Плотников, Ю.И. Вдовин, И.А. Лушкин, А.Ф. Порядин. Этими учеными до начала 2000-х гг. подготовлены замечательные учебники и учебные пособия, составившие основу для академической подготовки специалистов в сфере водоснабжения. Изучение издаваемой за последние 10–15 лет учебной литературы показало, что в части конструктивных особенностей водозаборных сооружений авторами в основном описываются стереотипные конструкции водозаборных устройств, зарекомендовавшие себя многолетней практикой. Вместе с тем поступательное движение науки влечет за собой создание инноваций во всех сферах техники и технологий, которые не следует оставлять без внимания. Задача настоящей работы — обзор накопленных за последнее десятилетие научно-технических достижений в сфере сооружений для забора воды из различных источников.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В целях сбора информации о современных научно-технических разработках в сфере водозабор-

ных сооружений были изучены научные труды российских и зарубежных ученых за последние 10 лет. Отражение актуальных тенденций, опыта проектирования и строительства водозаборных устройств может способствовать модернизации действующих сооружений для повышения их производительности, надежности работы, решению отдельных вопросов проектирования новых водозаборов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Забор воды из горных рек сопряжен с такими трудностями, как большое количество взвешенных и донных наносов, неравномерность стока, размыв берегов и русла, причиной чего является высокая скорость течения воды [1, 2]. В целях повышения надежности работы водозаборных сооружений из таких водоисточников учеными предложены инновационные конструкции водозаборных устройств.

В публикации [3] сообщается об изобретении новой конструкции водозабора из горных рек (рис. 1). Отличительный элемент водозаборного сооружения — вальцовый затвор, располагающийся перпендикулярно руслу реки. Поверхность затвора имеет водопропускные щели, позволяющие принимать воду поверхностных слоев водного потока, которая содержит малую концентрацию донных и взвешенных наносов. Вальцовый затвор формирует верхний и нижний бьеф, при этом в верхнем осаждаются все крупные примеси, переносимые потоком воды. Для периодической очистки гидроузла от наносов и ила предусмотрена возможность подъема затвора.

Представляет интерес предложенный учеными [4] водозаборный узел, разработанный для горных рек. На рис. 2 представлена схема компоновки сооружения, включающего четыре плотины, промывную камеру, отстойник и шлюз-регулятор. Назначение перечисленных элементов заключается в следующем. Глухая плотина перекрывает русло реки для формирования верхнего и нижнего бьефа, водосливная и щитовая плотины предназначены для пропуска воды в водоприемную плотину. Водоприемная плотина с донно-решетчатым водозабором служит основным элементом сооружения: часть водного потока попадает в водозабор и отводится в промывную камеру, другая часть транзитом проходит в нижний бьеф. В промывной камере происходит снижение скорости потока и отведение его

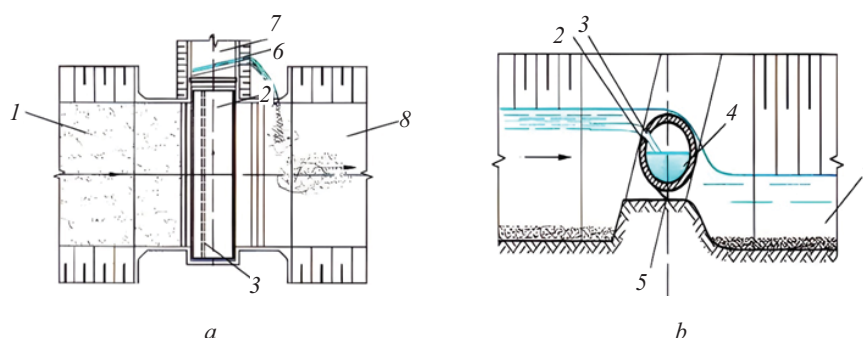


Рис. 1. Схема горного водозабора: *а* — план; *б* — продольный разрез [3]; 1 — верхний бьеф; 2 — вальцовый затвор; 3 — щелевое отверстие; 4 — водозаборная галерея; 5 — сегментный лист; 6 — гравиеловки; 7 — отводящий канал; 8 — нижний бьеф

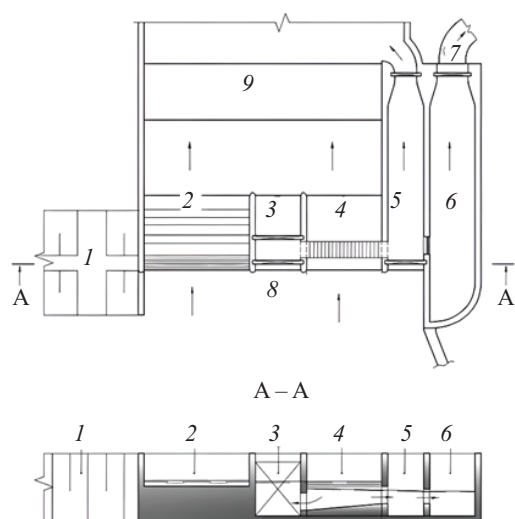


Рис. 2. Схема водозаборного гидроузла [4]: 1 — глухая плотина; 2 — водосливная плотина; 3 — щитовая плотина; 4 — водоприемная плотина; 5 — промывная камера; 6 — отстойник; 7 — шлюз-регулятор; 8 — верхний бьеф гидроузла; 9 — нижний бьеф гидроузла

в отстойник. Отстойник способствует эффективно-му осаждению взвеси и наносов.

Водоприемная плотина (рис. 3) оборудована решетчатым перекрытием, обеспечивающим впуск заданного расхода воды. В работе [4] также приведен гидравлический расчет описанного водоприемного гидроузла.

Предложена усовершенствованная конструкция водозабора из горной реки для целей капельного орошения [5]. Учеными была поставлена задача по повышению технико-экономических показателей водозаборных сооружений с целью обеспечения ими приемлемой степени очистки воды от механических примесей. Конструкция водозаборного сооружения (рис. 4) предполагает оснащение водоприемника фильтрующими панелями, представляющими собой поверхность из нескольких кассет. Это водозаборное сооружение имеет преимущества: прием воды осуществляется из поверхностных слоев потока (характеризующихся малым содержанием

взвеси); обеспечение транзита плавающего сора вниз по течению воды в канале; задержание донных наносов на поверхности фильтрующих кассет. Авторами изобретения предлагается возможность размещения фильтрующих кассет не только параллельно зеркалу воды (рис. 4), но и в боковых стенках канала (рис. 5). При этом акцентируется внимание на том, что фильтрующие кассеты (в зависимости от высотной отметки расположения) могут обеспечивать забор воды с различных глубин канала.

Патент [6] получен на изобретение «Водозаборное очистительное сооружение» (рис. 6). Сооружение может находить применение для забора воды из источников с большим количеством взвешенных наносов, оно предназначено для размещения в подводящих каналах, разделено на две части — приемную 1 и камеру чистой воды 2. Очистка воды обеспечивается сороудерживающими решетками 8, 10 и отстаиванием в камере 1. Для периодической промывки приемной камеры предусмотрен коллектор 11.

Учеными Российского научно-исследовательского института проблем мелиорации [7] предложена конструкция водозаборного сооружения из поверхностного источника для целей мелиорации. Конструкция сооружения (рис. 7) обеспечивает задержание взвешенных веществ из состава воды, что достигается с помощью сорозаградительной решетки и расположенной за ней фильтрующей

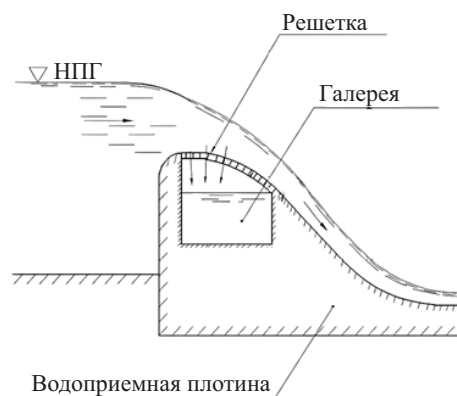


Рис. 3. Схема водоприемной плотины [4]

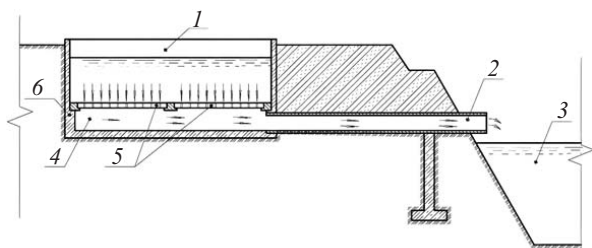


Рис. 4. Схема водозаборного сооружения из горного водотока [5]: 1 — водоприемник водозаборного сооружения; 2 — трубчатые водоотводы; 3 — водоприемный бассейн оросительной системы; 4 — водосборная галерея; 5 — фильтрующие панели водоприемника; 6 — опорные устои

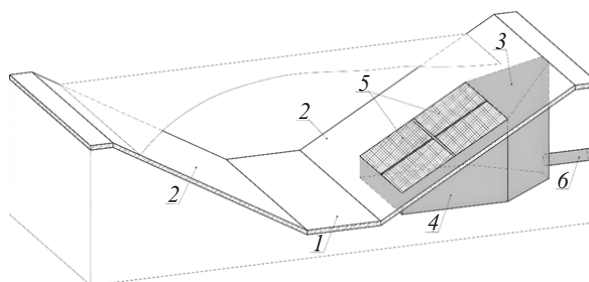


Рис. 5. Общий вид водозабора из канала для подачи предварительно очищенной воды в капельную оросительную систему [5]: 1 — оросительный канал; 2 — откосы канала; 3 — водозаборный оголовок; 4 — водоприемник; 5 — фильтрующие панели; 6 — водоотводящий трубопровод

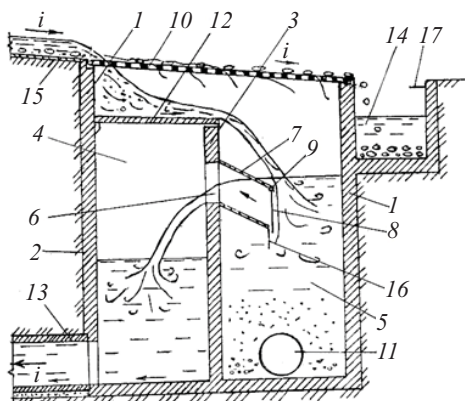


Рис. 6. Водозаборное очистительное сооружение [6]: 1 — отстойная камера; 2 — камера чистой воды; 3 — вертикальная перегородка; 4, 5 — секции водозабора; 6 — окно; 7 — патрубок; 8 — мусороудерживающая решетка; 9 — ось вращения; 10 — дополнительная сороудерживающая решетка; 11 — коллектор промывной воды; 12 — направляющая стенка; 13 — отводящий коллектор; 14 — мусороотводный лоток; 15 — подводящий водовод; 16, 17 — полки; i — уклон

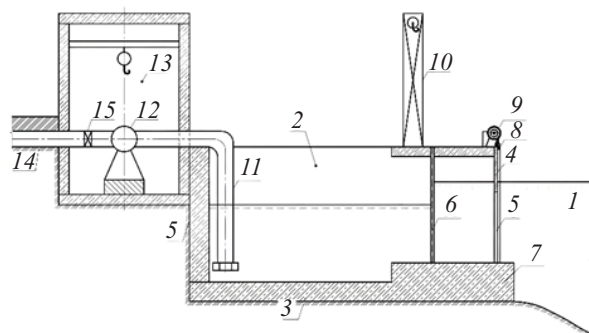


Рис. 7. Схема водозаборного сооружения (продольный профиль) [7]: 1 — водоем; 2 — секции водоприемника (аванкамеры насосной станции); 3 — днище аванкамеры; 4 — забральная стенка; 5 — сорозаградительная решетка; 6 — фильтрующие панели; 7 — входной порог; 8 — жесткий (стержневой) балласт водорегулирующего экрана; 9 — подъемно-опускной механизм экрана; 10 — козловой кран; 11 — всасывающие водоводы; 12 — насосы; 13 — насосная станция; 14 — напорный трубопровод; 15 — задвижки

панели. Фильтрующая панель представляет собой кассету из крупноячеистой сетки, заполненную фильтрующими элементами — порозластовыми или резиновыми шариками диаметром 10–30 мм. Отмечается, что шарики заполняют не все внутреннее пространство кассеты. Авторами изобретения подчеркиваются преимущества конструкции, заключающиеся в простой и эффективной очистке кассет от кольматанта: для выполнения чистки кассета вынимается краном из воды, в вертикальной плоскости поворачивается на 180° , за счет чего шарики приходят в интенсивное движение (сопровождающееся трением друг о друга) и освобождаются от скопившихся загрязнений.

Водозаборно-очистное сооружение [8], по утверждению разработчиков, способствует очистке воды от плавающего мусора, увеличению пропускной способности и упрощению условий эксплуатации (рис. 8). Сооружение представляет собой

полукруглый колодец, разделенный на секции перфорированными стенками. Секции предназначены для размещения в них корзин, выполненных из геосинтетических материалов и заполненных пенополистирольной загрузкой. Корзины оборудованы петлями для возможности их подъема в целях замены загрузки при засорении.

Таким образом, работа описанных конструкций водозаборных сооружений для водоисточников, характеризующихся высокими значениями взвешенных веществ, основана на создании условий для осуществления таких процессов очистки воды, как отстаивание и фильтрование. В качестве фильтрующей среды распространены синтетические материалы: пенополистирол, синтетический каучук, порозласт.

Забор воды из поверхностных источников Севера сопряжен с особой сложностью, обусловленной высокой вероятностью разрушения водоприемников торосящимися ледовыми полями, а также

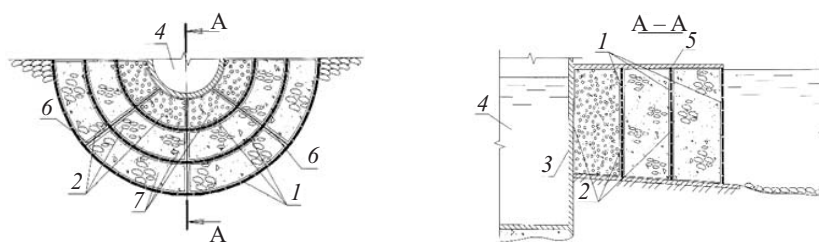


Рис. 8. Водозаборно-очистное устройство [8]: 1 — перфорированная перегородка; 2 — фильтрующие секции; 3 — береговая стена; 4 — колодец; 5 — крышка; 6 — фильтрующие панели; 7 — геосинтетические корзины с пенополистерольной загрузкой

ледовыми экзарациями. При проектировании водозаборного сооружения для таких районов необходимо учитывать особенности природных факторов, в частности мерзотно-гидрологические условия водоисточника.

В работе [9] описана конструкция руслового водозабора, разработанного для размещения в акватории Обской губы. Отличительной особенностью сооружения (рис. 9) являются защитные железобетонные крепления водоприемного оголовка и водоводов. Вокруг водоприемников предлагаются к устройству два ряда свайных фундаментов, состоящих из буронабивных свай и ростверков. Для дополнительной защиты водоприемников поверх ростверков укладываются решетчатые каркасы. Водоводы ограждаются ростверками прямоугольного сечения, шириной 1,35 м и высотой 0,85 м. Между собой ростверки соединяются железобетонными балками-связями. Авторами утверждается, что предложенная конструкция защитных сооружений способствует надежной защите водозабора от ледовых воздействий, но при этом ее стоимость более чем в два раза превышает стоимость строительства водозабора с насосной станцией 1-го подъема.

Говоря о зонах мерзлоты, нельзя ни упомянуть об устройствах шугозащиты в зоне размещения водозаборных сооружений. В целом шуга являет-

ся проблемой не только водоисточников Севера, но и водотоков и водоемов других регионов, температура воды в которых может снижаться до 0 °С. Рыхлые скопления льда у водоприемных окон способствуют снижению их пропускной способности и могут полностью препятствовать поступлению воды в водоприемник. В таблице перечислены мероприятия по снижению влияния шуги на функционирование водозаборов разной производительности.

При проектировании водозаборного сооружения немалое внимание должно уделяться рыбозащитным устройствам. По данным природоохранных органов ущерб рыбному хозяйству с 1 м³/с забираемой из источника воды составляет более 24 тыс. руб. [10]. СП 101.13330.2012¹ конкретизирует степень эффективности рыбозащитных устройств: необходимо обеспечить недопущение попадания в водозаборное сооружение рыбной молоди с длиной тела от 12 мм при эффективности не менее 70 %. В настоящее время находят применение три типа рыбозащитных сооружений: механические, гидравлические и физиологические (поведенческие). К механическим сооружениям относят

¹ СП 101.13330.2012. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095534>

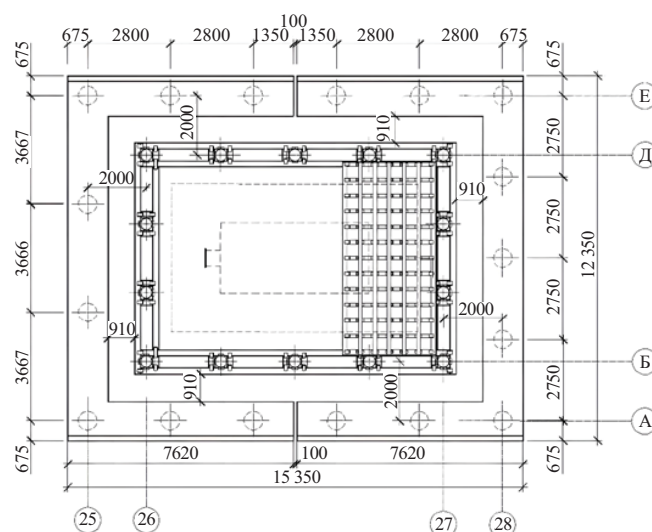


Рис. 9. План водоприемного оголовка с защитными железобетонными конструкциями [9]

Мероприятия по борьбе с шугой на водозаборах различной производительности

Производительность водозаборного сооружения	Количество шуги в водисточнике	Мероприятие по борьбе с шугой
Малая	Среднее	Гидрофобные покрытия решеток
		Струенаправляющие устройства
		Водовоздушные завесы
		Фильтрующие оголовки
		Импульсная промывка, промывка обратным током
		Шугоотбойники
	Большое	Перечисленные методы + дублирование водоприемников
Средняя	Среднее	Шугоотбойники + дублирование водоприемников
		Фильтрующие оголовки + дублирование водоприемников
		Импульсная промывка, промывка обратным током + дублирование водоприемников
		Обогрев стержней решеток
		Обогрев воды перед водозаборным сооружением + дублирование водоприемников
		Водовоздушные завесы + дублирование водоприемников
	Большое	Комбинация вышеперечисленных методов + дублирование водоприемников
Большая	Среднее	Шугоотбойники + обогрев стержней решеток
		Шугоотбойники + обогрев воды перед водозаборным сооружением
		Водовоздушные завесы + обогрев
	Большое	Водоприемный ковш

фильтрующие и сетчатые рыбозаградители. Они могут дополнительно оснащаться рыбоотводом. К гидравлическим устройствам относят запани, козырьки, рыбозаградители зонтичного и жалюзийного типов. Физиологические рыбозаградительные устройства основаны на действии каких-либо раздражителей — воздействии на слух, зрение, осязание рыбы. К таким устройствам относят электрические, световые, звуковые рыбозаградители. Ученые [11, 12] сходятся во мнении, что современные тенденции защиты рыбы от попадания в водозабор-

ное сооружение предполагают комплекс, состоящий из двух, а иногда и всех трех типов сооружений.

На рис. 10 представлено запатентованное [13] устройство для защиты рыбной молоди от попадания в водозаборное сооружение. Устройство предполагает наличие экрана 1, состоящего из съемных фильтрующих кассет 2. Размер ячейки сетчатого полотна должен составлять не менее 1 мм. Перед рыбозащитным экраном поперек реки (канала) устроены перфорированные трубы 5, по которым подается озоновоздушная смесь с концентрацией озона 0,001 мг/л. Авторы изобретения сообщают,

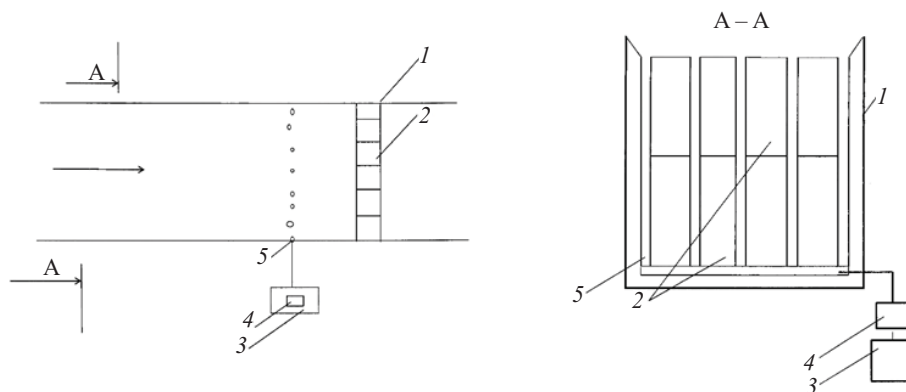


Рис. 10. Устройство для защиты молоди рыб от попадания в водозаборное сооружение [13]: 1 — рыбозащитный экран; 2 — фильтрующие кассеты; 3 — источник сжатого воздуха; 4 — генератор озона; 5 — перфорированные воздуховоды

что устройство способствует не только эффективной рыбозащите, но и поддержанию стабильного экологического состояния водного объекта, обеспечивая обеззараживающий эффект. Экспериментально доказано, что подача озонородной смеси с указанной концентрацией губительна для микробов, вирусов, паразитов рыб. Наиболее целесообразно функционирование рыбозащитного устройства в теплый период года (весной, летом).

Учеными ВолГГТУ [14] разработано рыбозащитное устройство (рис. 11), способное предотвращать попадание в водозабор рыбной молоди с размером тела менее 15 мм. Конструкция включает стальной каркас 1, обтянутый мелкоячеистой сеткой 3. Внутри каркаса располагается струегенератор, представляющий собой вращающуюся раму 2. Образующиеся при вращении рамы потоки воды не позволяют малькам рыбы приближаться к водозабору. Струегенератор вращается на подшипниках 5, скорость вращения подлелжит регулировке механизмом 7. Диаметр отверстия в верхней части рыбозащитного устройства должен равняться наружному диаметру всасывающего трубопровода насосной станции.

В труде [15] приводится описание водоприемного оголовка (рис. 12), обеспечивающего высокую барьерную функцию по отношению к рыбе. Создатели полезной модели рекомендуют ее применение в рыбохозяйственных водотоках. Водоприемный оголовок содержит рыбозащитную решетку, смонтированную на штанге подъемного механизма.

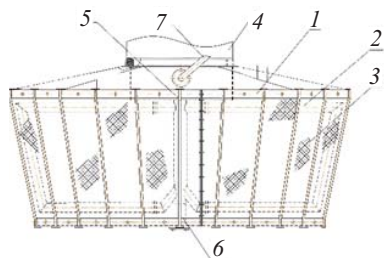


Рис. 11. Рыбозащитное устройство [14]

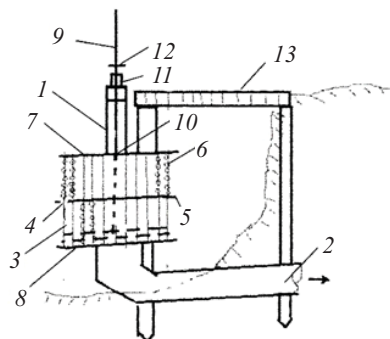


Рис. 12. Водоприемный оголовок [15]: 1 — рама с подъемным механизмом; 2 — водозаборная труба; 3 — решетка; 4 — отверстия; 5 — кольцо; 6 — шарики; 7 — верхняя крышка; 8 — плита оголовка; 9 — штанга с винтовой нарезкой; 10 — узел крепления; 11 — гайка; 12 — колесо вращения; 13 — береговой мостик

Рыбозащитная решетка выполнена из струн с нанизанными на нее шариками. Под воздействием гидродинамических нагрузок струны вибрируют и отпугивают рыбу. Шарик в свою очередь способствует незасоряемости решетки, поскольку их подвижность позволяет мусору проходить внутрь оголовка.

Описанные выше новые конструкции рыбозащитных сооружений для водозаборов имеют общую особенность: их конструкция одновременно включает физическую преграду для рыбной молоди и средство, отпугивающее ее (воздействующее на органы чувств).

Большое значение для хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения, а также мелиорации имеют подземные воды. Подземные воды ввиду большей своей защищенности от антропогенного воздействия (по сравнению с поверхностными водами) характеризуются достаточно высокими (в том числе стабильными) органолептическими показателями. Для их забора используют различные водозаборные устройства: скважины, горизонтальные и лучевые водозаборы, шахтные колодцы и каптажи. Пожалуй, наибольшей проблемой при эксплуатации водозаборов подземных вод является кольматация дренажных устройств и зафильтровых областей водоносных пород. Особую остроту проблема кольматации имеет при заборе воды из песчаных водоносных горизонтов. Кроме того, недостатком водозаборов высоко залегающих подземных вод служит их небольшой дебит.

Учеными [16] предложена конструкция комбинированного горизонтального водозабора (рис. 13). Водосборная галерея выполняется в виде лотка, перекрытого металлической сеткой. Поверх сетки укладываются габионные тюфяки. Отличительная особенность изобретения — дополнительное оснащение водосборных галерей каналами, укладываемыми перпендикулярно. Каналы представляют собой габионные тюфяки, укладываемые на водонепроницаемые основания. Они способствуют увеличению площади водоприемной поверхности и,

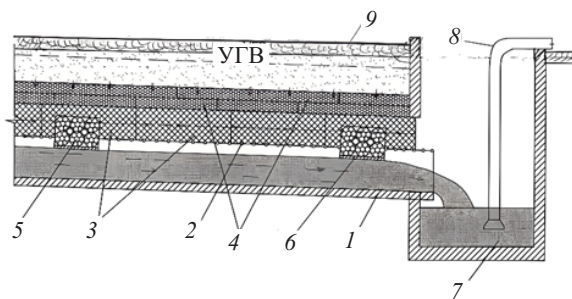


Рис. 13. Горизонтальный подземный водозабор комбинированной конструкции [16]: 1 — открытый лоток; 2 — металлическая решетка; 3 — габионные тюфяки; 4 — гибкие тюфяки; 5 — габионные тюфяки дополнительных водосборных каналов; 6 — каналы; 7 — водосборный колодец; 8 — водозаборный трубопровод; 9 — глинистый грунт

как результат, повышению дебита водозаборного сооружения. Водозабор подходит для водоносных горизонтов глубиной до 10 м.

Представляет интерес конструкция подруслового фильтрующего водозабора [17] (рис. 14), позволяющего осуществлять одновременно забор воды из русла реки и принимать подрусловые воды. Водосборная галерея устраивается вдоль русла реки. Она перекрывается двумя рядами габионных конструкций (продольными и поперечными). Нормально к водосборной галерее укладываются дополнительные водоприемники, предназначенные для приема подрусловых вод. Авторы рекомендуют к устройству описанное водозаборное сооружение для промерзающих источников, поскольку оно позволяет обеспечивать постоянный прием воды за счет сбора подрусловых вод.

В работе [18] предлагается конструкция колодца-скважины, позволяющего сократить стоимость устройства водозабора грунтовых вод. Сооружение сочетает в себе признаки шахтного колодца и скважины (рис. 15). Водозабор включает следующие элементы: ствол-шахту 1, предназначенную для накопления воды, поднимающейся из водоносного горизонта, а также прохода водоподъемных сооружений или размещения насоса; перфорированную

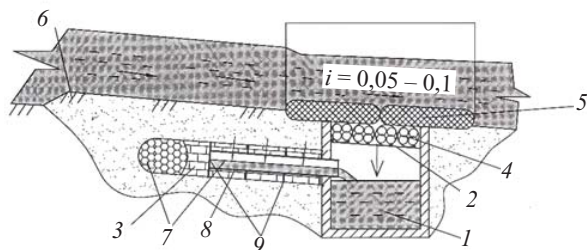


Рис. 14. Подрусловый фильтрующий водозабор комбинированной конструкции [17]: 1 — водосборная галерея; 2 — металлическая решетка; 3 — гибкие тюфяки; 4, 5 — габионные тюфяки; 6 — направляющий порог; 7 — водоприемник; 8 — перфорированные трубы; 9 — ребра жесткости; i — уклон

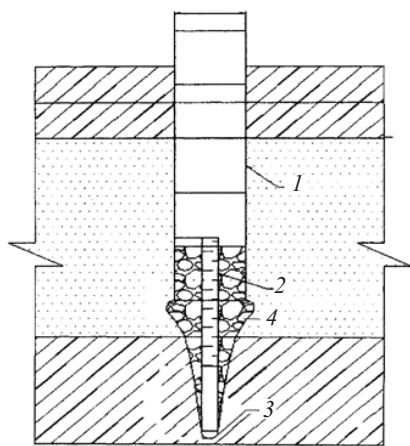


Рис. 15. Колодец-скважина [18]

полиэтиленовую трубу 2, являющуюся водоприемным элементом; отстойник-заглушку 3, в котором накапливаются частицы грунта, проскакивающие через дренажную обсыпку 4 (рис. 15). Технико-экономический эффект сооружения состоит в сокращении материалоемкости водозабора, что особенно ценно при добыче воды из глубоко залегающих водоносных горизонтов.

В публикации [19] предлагаются к использованию спирально-навитые фильтрующие элементы (рис. 16). Заявлена их достаточно широкая сфера применения: в качестве фильтров вертикальных и горизонтальных (в составе лучевых водозаборов) скважин, решеток на водоприемных окнах русловых и береговых водозаборов. Отличительной особенностью фильтров служит проволока треугольного сечения, привариваемая к металлическим стрингерам, являющимся каркасом конструкции. Производитель фильтров ПП «ТЭКО-ФИЛЬТР» сообщает об особом гидравлическом режиме, способствующем низкой коагуляции порового пространства наряду с возможностью быстрой промывки.

Представляет интерес исследование ученых Иранского университета, проведенное в целях решения проблемы устранения свинца из состава подземной воды, добываемой посредством шахтных колодцев. Причина насыщения свинцом подземных вод Центрального Ирана их контакт с вулканическими породами. В работе [20] предлагается использовать клиноптилолит в качестве фильтра колодцев. Доказано, что эффективность поглощения свинца может достигать 85 %. Клинноптилолит, как природный сорбент, рассматривался в ранее изданных трудах [21, 22].

Водозаборные скважины, эксплуатация которых по каким-либо причинам прекращается, принято тампонировать. Вместе с тем, согласно проведенным исследованиям [23], затампованная скважина наносит урон окружающей среде и создает предпосылки для невозможности использования территории для забора подземной воды. Проблема тампонируемых скважин состоит в следующем. Чаще всего из эксплуатации выводятся скважины, грунтовое пространство вокруг которых закольматировано, по причине чего предельно снижается дебит водозабора. Поскольку регенерация закольматированных зон требует привлечения значительных денежных средств, к сожалению, прекращение использования

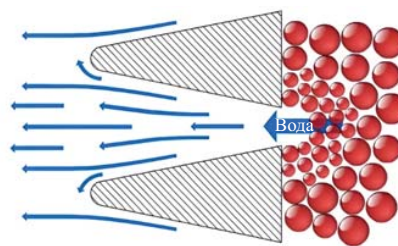


Рис. 16. Графическое изображение потока в спирально-навитых фильтрующих элементах [19]

закольматированных скважин является повсеместной практикой. При этом область закольматированной околоскважинной среды, превышающей на 500 мм диаметр скважины, — это зона скопления нерастворимых соединений, тяжелых металлов. Скопившиеся осадки способствуют изменению состава подземных вод, изменению гидродинамических параметров водоносного горизонта и физико-механических свойств водоносных грунтов. Аналогичную проблему представляют и бетонные стойки, образующиеся в результате тампонажа скважин цементным раствором. Решение описанной негативной практики исследователи видят в увеличении срока эксплуатации скважин, что должно достигаться плановыми регенерациями околоскважинных зон, проводимыми на основе наилучших доступных технологий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обзор научных публикаций за последние десять лет показал, что тенденция развития инженерных решений в области сооружений для забора поверхностных вод направлена на создание конструкций водозаборов, способствующих снижению концентрации взвешенных веществ, мусора в забираемой воде, повышению надежности работы в суровых климатических условиях Севера. Интерес ученых также проявлен к совершенствованию рыбозащитных сооружений, повышению их барьерной функции. Что касается водозаборов подземных вод, то здесь можно отметить новые конструктивные решения, обеспечивающие повышение дебита.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Dhivert E., Dendievel A.-M., Desmet M., Deviliers B., Grosbois C. Hydro-sedimentary dysfunctions as a key factor for the storage of contaminants in mountain rivers (Bienne River, Jura Mountains, France) // CATENA. 2022. Vol. 213. P. 106122. DOI: 10.1016/j.catena.2022.106122

2. Wiener J.S., Pasternack G.B. Scale dependent spatial structuring of mountain river large bed elements maximizes flow resistance // Geomorphology. 2022. Vol. 416. P. 108431. DOI: 10.1016/j.geomorph.2022.108431

3. Абилов Р.С. Водозабор для горных рек // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2015. № 3 (19). С. 150–158. EDN UISMLZ.

4. Агаев И.А., Ахмедов Б.М., Муслумов А.М. Водозаборные и водоочистные сооружения для горных рек // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2017. № 3 (111). С. 10–14. EDN YFUBVX.

5. Штанько А.С. Фильтрующие водозаборы из водотоков для подачи предварительно очищенной воды в системы капельного орошения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 3 (39). С. 123–139. DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-123-139. EDN JHVTLF.

6. Патент RU № 2667728. Водозаборное очистительное сооружение / Голубенко М.И.; заявл. № 2017131195 от 04.09.2017; опубл. 24.09.2018. Бюл. № 27. 10 с.

7. Шевченко А.В., Пукас Г.Н. Водозабор из поверхностного водного источника для рыбоводно-мелиоративных комплексов // Экология и водное хозяйство. 2021. Т. 3. № 3. С. 89–102. DOI: 10.31774/2658-7890-2021-3-3-89-102. EDN RDGOYL.

8. Патент RU № 2480555. Водозаборно-очистное устройство / Боронина Л.В., Абуова Г.Б., Зимица Н.В., Тажиева С.З.; заявл. № 2011113926/13 от 08.04.2011; опубл. 27.04.2013. Бюл. № 12. 6 с.

9. Созаев А.А., Курбанов С.О., Волосухин В.А. Эффективные конструктивные и технологические решения по устройству и защите водозаборных сооружений руслового типа в особых условиях Севера в районе залива Обской губы // Научный журнал КубГАУ. 2016. № 119. С. 435–452. EDN WAFKST.

10. Лысенков Е.В., Пьянов М.В., Керманова Е.И. Проблема гибели рыб на водозаборных сооружениях Мордовии // Проблемы экологии и природопользования в среднем Поволжье : мат. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 140-летию со дня рождения Б.М. Житкова. 2013. С. 57–61. EDN XAYFRF.

11. Бегляров Д.С., Бакишанин А.М., Костина Е.С. Влияние типов и конструкций рыбозащитных сооружений на сохранение рыбных популяций внутренних водоемов страны // Природообустройство. 2019. № 5. С. 64–71. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-5-64-71. EDN TVHMYS.

12. Tutzer R., Röck S., Walde J., Zeiringer B., Unfer G., Führer S. Ethohydraulic experiments on the fish protection potential of the hybrid system FishProtector at hydropower plants // Ecological Engineering. 2021. Vol. 171. P. 106370. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2021.106370

13. Патент RU № 2712566. Устройство для защиты молоди рыб от попадания в водозаборное сооружение / Драгунова С.М., Крылова Н.Н.; заявл. № 2018138824 от 02.11.2018; опубл. 29.01.2020. Бюл. № 4. 9 с.

14. Забродин А.В., Багайсков Ю.С. Разработка конструкции рыбозащитного устройства // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2021. № 8 (255). С. 68–72. DOI: 10.35211/1990-5297-2021-8-255-68-72. EDN HSJJPW.

15. Патент RU № 204996. Водоприемный оголовок / Петрашкевич В.В., Михеев П.А., Бенин Д.М., Петрашкевич А.В., Снежко В.Л.; заявл. № 2021111514 от 22.04.2021; опубл. 22.06.2021. Бюл. № 18. 5 с.

16. Патент RU № 2528836. Способ возведения горизонтального подземного водозабора комбинированной конструкции / Джамалудинов М.М., Курбанов С.О.; заявл. № 2012137318/13 от 31.08.2012; опубл. 20.09.2014. Бюл. № 26. 8 с.

17. Патент RU № 2518634. Подрусловой фильтрующий водозабор комбинированной конструкции / Джамалудинов М.М., Курбанов С.О.; заявл. № 2012135660/13 от 20.08.2012; опубл. 10.06.2014. Бюл. № 16. 8 с.

18. Патент RU № 130614. Колодец-скважина / Чемакин С.В.; заявл. № 2012123477/13 от 05.06.2012; опубл. 27.07.2013. Бюл. № 18. 18 с.

19. Фахреев Д.С., Лушкин И.А. О применении спирально-навитых фильтрующих элементов «ТЭКО-СЛОТ» в конструкциях водозаборных сооружений // Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии : сб. ст. XVI Междунар. науч.-практ. конф. 2014. С. 90–94. EDN SWUHWF.

20. Heidarian M.H., Nakhaei M., Vatanpour V., Rezaei K. Evaluation of using clinoptilolite as a filter in drinking water wells for removal of lead (small-scale physical sand box model) // Journal of Water Process Engineering. 2023. Vol. 52. P. 103558. DOI: 10.1016/j.jwpe.2023.103558

21. Ghadersarbazi Z., Ghiasi F., Ghorbani F., Johari S.A. Toxicity assessment of arsenic on common carp (*Cyprinus carpio*) and development of natural sorbents to reduce the bioconcentration by RSM methodology // Chemosphere. 2019. Vol. 224. Pp. 247–255. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.02.146

22. Kussainova M.Zh., Chernyakova R.M., Jussipbekov U.Z., Pasa S. Structural investigation of raw clinoptilolite over the Pb^{2+} adsorption process from phosphoric acid // Journal of Molecular Structure. 2019. Vol. 1184. Pp. 49–58. DOI: 10.1016/j.molstruc.2019.02.012

23. Цымбалов А.А. Экологическая проблема закоматированных водозаборных сооружений // Булатовские чтения. 2023. Т. 1. С. 298–301. EDN UFVZKP.

Поступила в редакцию 02 сентября 2023 г.

Принята в доработанном виде 13 сентября 2023 г.

Одобрена для публикации 13 сентября 2023 г.

ОБ АВТОРЕ: **Юлия Александровна Рыльцева** — кандидат технических наук, преподаватель кафедры водоснабжения и водоотведения; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 4138-6634; Scopus: 57214228101, ORCID: 0000-0002-1315-6907; yuliya.ryltseva@mail.ru.

INTRODUCTION

Water intake structures are the first link in the complex chain of the water supply system, therefore, ensuring high reliability of their operation cannot be questioned. The efficiency and cost-effectiveness of the water treatment process, the ecological condition of the water source and the prospects for its future use as such depend directly on the correct choice of the location of the intake, its design and equipment. Water intake facilities also have a significant impact on the inhabitants of the water body — its flora and fauna. The reliability of water intake structures functioning is especially acute in the conditions of the North and mountain rivers. Taking into account the unrelenting anthropogenic impact on surface and ground waters, water intake structures are currently subject to requirements to increase their barrier role with regard to natural water impurities. The objectives of food security of the state (in terms of providing the population with fish and fish products) indicate the relevance of equipping water intakes with effective means of fish protection.

Significant contribution to creation of scientific literature devoted to surface and ground water intakes was made by S.K. Abramov, N.N. Bindeman, V.S. Alekseev, K.S. Bogolyubov, M.G. Zhurba, J.M. Govorova, N.N. Lapshin, M.P. Semenov, N.A. Plotnikov, Y.I. Vdovin, I.A. Lushkin, A.F. Poryadin. These sci-

entists prepared the most remarkable textbooks and manuals, which formed the basis for academic training of specialists in the field of water supply until the early 2000s. The study of educational literature published for the last 10–15 years has shown that in terms of design features of water intake structures the authors mainly describe stereotypical designs of water intake devices, which have proved themselves by many years of practice. At the same time, the progressive movement of science entails the creation of innovations in all spheres of engineering and technology, which should not be left without attention. The author of this paper set a task consisting in reviewing the scientific and technical achievements in the field of water intake structures from various sources accumulated over the last decade.

MATERIALS AND METHODS

In order to collect information on modern scientific and technical developments in the field of water intake structures, scientific works of Russian and foreign scientists for the last 10 years were studied. Reflection of current trends, experience in design and construction of water intake facilities can contribute to modernization of existing facilities in order to improve their performance, reliability of operation, and to solve some issues of design of new water intakes.

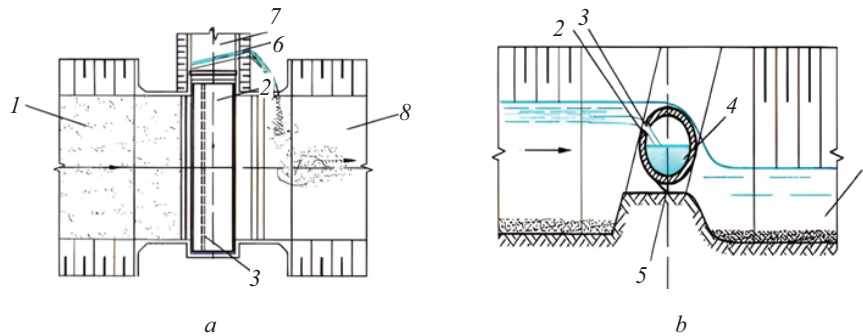


Fig. 1. Mountain water intake scheme: *a* — layout; *b* — longitudinal section [3]; 1 — upstream water; 2 — rolling-drum gate; 3 — slotted opening; 4 — intake gallery; 5 — segmented sheet; 6 — gravel traps; 7 — discharge channel; 8 — downstream water

RESEARCH RESULTS

Water intake from mountain rivers is associated with such difficulties: a large amount of suspended and bottom sediments, uneven flow, bank and channel erosion, which is caused by high water velocity [1, 2]. In order to improve the reliability of water intake structures from such water sources, scientists have proposed the following innovative designs of water intake devices.

The paper [3] reports the invention of a new design of water intake from mountain rivers (Fig. 1). The distinctive element of the intake structure is a roller gate located perpendicularly to the river bed. The surface of the penstock has culvert slits that allow it to receive water from the surface layers of the water flow, which contains a low concentration of bottom and suspended sediment. The roll gate forms an upper and lower embankment, with the upper embankment depositing all coarse impurities carried by the water flow. The penstock can be lifted for periodic cleaning of sediment and silt from the hydrosystem.

The water intake unit proposed by scientists [4] and developed for mountain rivers is of interest. Fig. 2 shows the layout scheme of the structure, which includes four dams, a flushing chamber, a settling tank and a sluice-regulator. The purpose of these elements is as follows. The blind dam overlaps the river channel to form the upper and lower embankment, the spillway and panel dams are designed to allow water to pass into the intake dam. The bottom-slatted intake dam is the main element of the structure: part of the water flow enters the intake and is discharged into the flushing chamber, while the other part transits downstream. The flushing chamber reduces the flow velocity and diverts it to the sedimentation tank. The sedimentation tank facilitates efficient sedimentation of suspended sediment and sediment load.

The intake dam (Fig. 3) is equipped with a lattice slab, which ensures the inlet of a given water flow rate. In [4] the hydraulic calculation of the described inlet weir is also presented.

In [5] an improved design of water intake from a mountain river for the purposes of drip irrigation is proposed. Scientists set the task to improve the technical and economic performance of water intake structures in order to ensure an acceptable degree of water purification from mechanical impurities. The design

of the water intake structure (Fig. 4) involves equipping the water intake with filter panels, which are a surface of several cassettes. The presented water intake structure has the following advantages: water intake is carried out from the surface layers of the stream (characterized by a low content of suspended solids); ensuring

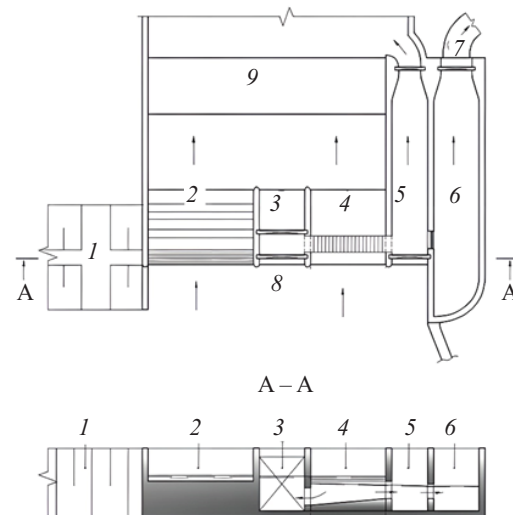


Fig. 2. Water intake hydrosystem scheme [4]: 1 — blind dam; 2 — spillway dam; 3 — gate dam; 4 — water intake dam; 5 — flushing chamber; 6 — sump; 7 — gateway regulator; 8 — upstream water of hydrosystem; 9 — downstream water of hydrosystem

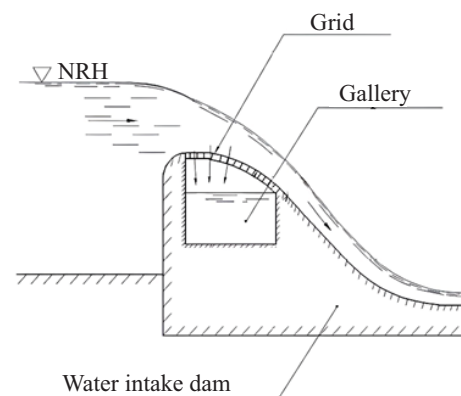


Fig. 3. Water intake dam scheme [4]

the transit of floating sod downstream of the water in the channel; retention of bottom sediments on the surface of filtering cassettes. The authors of the invention propose the possibility of placing filter cassettes not only parallel to the water mirror (Fig. 4), but also in the side walls of the canal (Fig. 5). At the same time, it is emphasized that the filter cassettes (depending on the elevation of the location) can provide water intake from different depths of the canal.

Patent [6] was obtained for the invention “Water intake treatment plant” (Fig. 6). The structure can be used for water intake from springs with a large amount of suspended sediment. The water intake structure, which is designed to be placed in supply canals, is divided into two parts — intake 1 and clean water chamber 2. Water purification is ensured by sedimentation grids 9, 10 and sedimentation in chamber 1. Collector 11 is provided for periodic washing of the receiving chamber.

Scientists of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems [7] proposed a design of a water intake structure from a surface source for land reclamation purposes. The design of the structure (Fig. 7) provides detention of suspended solids from water composition, which is ensured by a sedimentation grid and a filter panel located behind it. The filtering panel is a cassette made of coarse-mesh mesh, filled with filtering elements — poroelastic or rubber balls with a diameter of 10–30 mm. It is noted that the balls do not fill the entire internal space of the cassette. The authors of the invention emphasize the advantages of the design, consisting in simple and effective cleaning of the cassettes from colmatant: for cleaning the cassette is taken out of water by a tap, turned vertically by 180°, due to which the balls come into intensive movement (accompanied by friction against each other) and are freed from accumulated contaminants.

According to the developers, the water intake and treatment facility [8] promotes water purification from floating debris, increases the throughput capacity and simplifies the operating conditions (Fig. 8). The structure is a semicircular well divided into sections by perforated walls. The sections are designed to accommodate baskets made of geosynthetic materials and filled with polystyrene foam. The baskets are equipped with hinges for lifting them in order to replace the load in case of clogging.

Thus, operation of the described designs of water intake structures for water sources characterized by high values of suspended solids is based on creation of conditions for such water purification processes as sedimentation and filtration. Synthetic materials such as polyester foam, synthetic rubber, poroelast are used as a filtering medium.

Water intake from surface water sources in the North is particularly difficult due to the high probability of water intakes being destroyed by ice fields and ice exaggerations. When designing a water intake structure for such areas, it is necessary to take into account the peculiarities of natural factors, in particular, permafrost and hydrological conditions of the water source.

In [9] the design of a channel water intake developed for placement in the water area of the Gulf of Ob is described. The distinctive feature of the structure (Fig. 9) is the protective reinforced concrete fastenings of the water intake head and water conduits. Two rows of pile foundations consisting of bored piles and footings are proposed around the water intakes. For

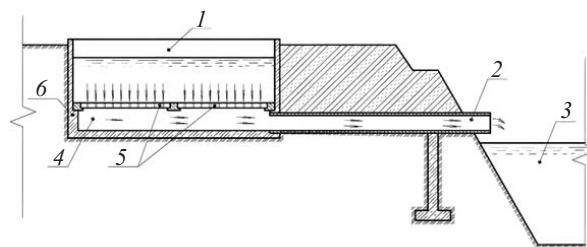


Fig. 4. Scheme of a water intake structure from a mountain watercourse [5]: 1 — water collector of intake structure; 2 — tubular drains; 3 — water intake basin of irrigation system; 4 — catch gallery; 5 — filter panels of water intake; 6 — abutments

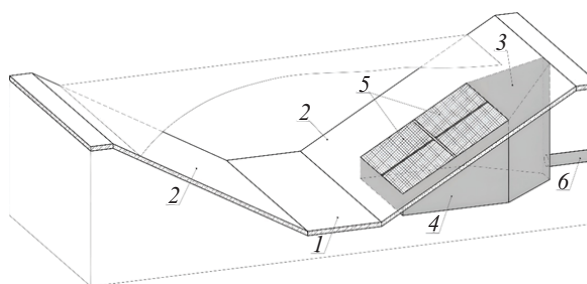


Fig. 5. General view of water intake from the channel for supplying pretreated water to the drip irrigation system [5]: 1 — irrigation channel; 2 — channel slopes; 3 — water intake mouth; 4 — water intake; 5 — filter panels; 6 — water pipeline

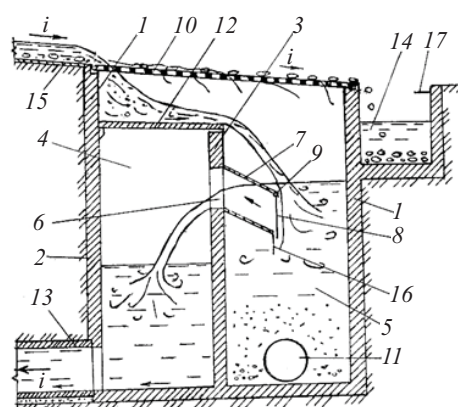


Fig. 6. Water intake treatment facility [6]: 1 — sludge chamber; 2 — clean water chamber; 3 — vertical baffle; 4, 5 — water intake sections; 6 — window; 7 — pipe; 8 — waste-retaining grid; 9 — axis of rotation; 10 — additional sedimentation grid; 11 — wash-water collector; 12 — guide wall; 13 — discharge header; 14 — trash disposal tray; 15 — water supply line; 16, 17 — shelves; *i* — declivity

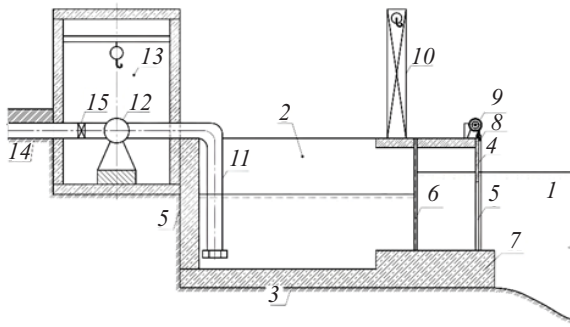


Fig. 7. Scheme of water intake structure (longitudinal section) [7]: 1 — reservoir; 2 — sections of the water intake (pump station antechambers); 3 — antechamber bottom; 4 — curtain wall; 5 — waste-retaining grid; 6 — filter panels; 7 — entrance threshold; 8 — rigid (rod) ballast of water screen; 9 — screen hoisting mechanism; 10 — gantry crane; 11 — suction water ducts; 12 — pumps; 13 — pumping station; 14 — pressure piping; 15 — valves

additional protection of the inlets, lattice frames will be placed on top of the footings. Water conduits are enclosed by rectangular cross-sectional piles, 1.35 m wide and 0.85 m high. Between themselves, the spans are connected by reinforced concrete tie beams. The authors claim that the proposed design of protective structures contributes to reliable protection of the water intake from ice impacts, but, at the same

time, its cost is more than twice as high as the cost of construction of a water intake with a pumping station of the 1st lift.

Speaking about permafrost zones, one cannot fail to mention the devices of snowstorm protection in the zone of water intake facilities location. In general, ice squelch is a problem not only for water sources in the North, but also for watercourses and reservoirs in other regions, where water temperature can drop to 0 °C. Loose ice accumulations at water intake windows contribute to the reduction of their capacity, and may even completely prevent water from entering the intake. Table lists the measures to reduce the influence of noise on the functioning of water intakes of different capacities.

When designing a water intake structure much attention should be paid to fish protection devices. According to the data of environmental authorities, the damage to fisheries from 1 m³/s of water withdrawn from the source is more than 24 thousand rubles. [10]. Code of Regulations SP 101.13330.2012¹ specifies the degree of effectiveness of fish protection devices: it is necessary to ensure the prevention of ingress into the water intake structure of fish juveniles with a body length of 12 mm or more, while ensuring an efficiency

¹ SP 101.13330.2012. Code of Practice. Retaining walls, shipping locks, fish passage and fish protection structures. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095534>

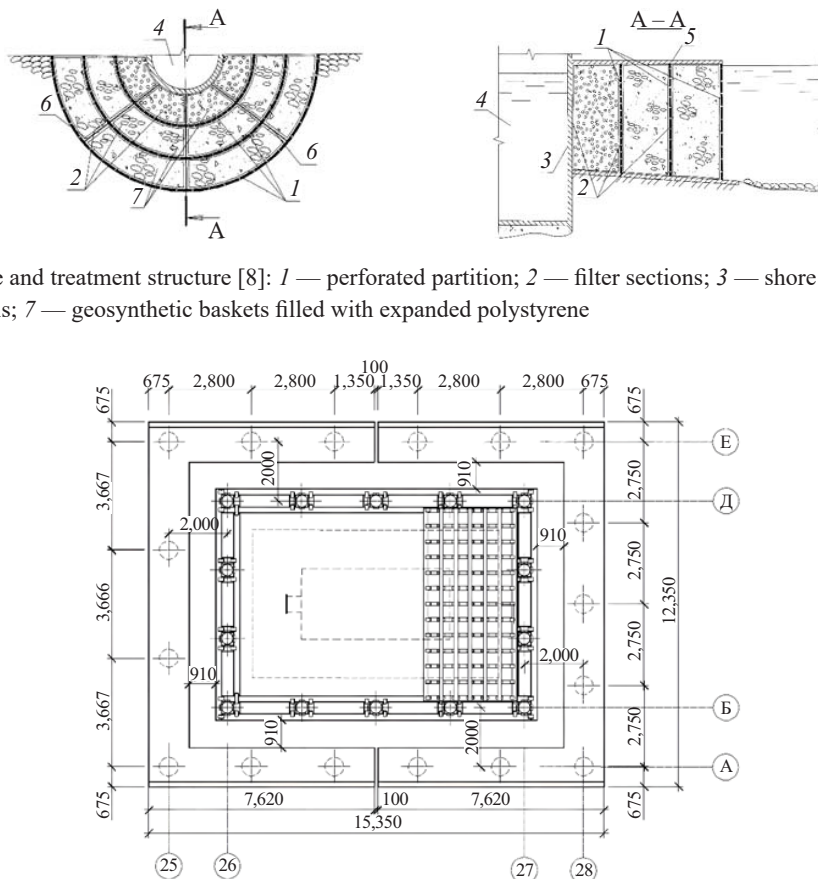


Fig. 8. Water intake and treatment structure [8]: 1 — perforated partition; 2 — filter sections; 3 — shore wall; 4 — well; 5 — lid; 6 — filter panels; 7 — geosynthetic baskets filled with expanded polystyrene

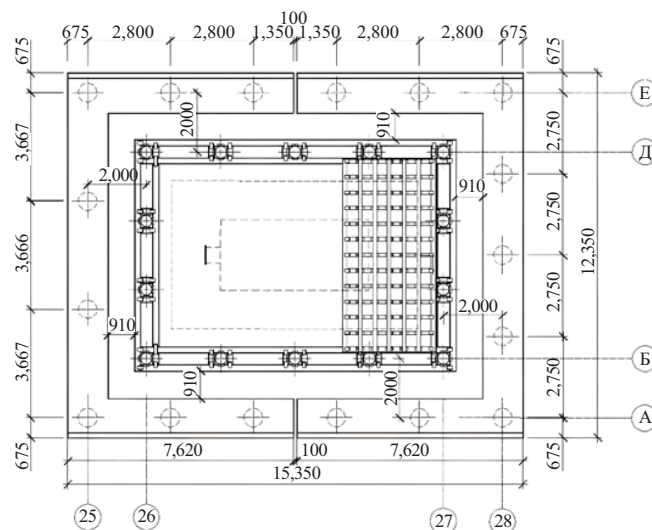


Fig. 9. Water intake mouth layout with protective reinforced concrete structures [9]

Measures to combat slush ice at water intakes of various capacities

Capacity of water intake structure	The amount of slush ice in the water source	Interventions against slush ice
Small	Medium	Hydrophobic rack coatings
		Guide devices
		Air-water curtain system
		Filter heads
		Pulse flushing, reverse current flushing
		Anti-slush ice devices
	Large	The listed methods + duplication of water intake structures
Medium	Medium	Anti-slush ice devices + duplication of water intake structures
		Filter heads + duplication of water intake structures
		Pulse flushing, reverse current flushing + duplication of water intake structures
		Heating of rack bars
		Water heating before water intake + duplication of water intake structures
		Air-water curtain system + duplication of water intake structures
	Large	Combination of the above methods + duplication of water intake structures
Large	Medium	Anti-slush ice devices + rack bars heating
		Anti-slush ice devices + water heating before water intake
	Large	Air-water curtain systems + heating
		Water intake bucket

of at least 70 %. At present, three types of fish protection structures are used: mechanical, hydraulic and physiological (behavioural). Mechanical structures include filter and mesh fish barriers. They can be additionally equipped with a fish outlet. Hydraulic devices include fences, canopies, fish barriers of umbrella and louvre types. Physiological fish barrier devices are based on involvement of any stimuli — impact on hearing, vision, touch of fish. Such devices include electric, light, sound fish barriers. Scientists [11, 12] agree in opinion that modern tendencies of fish protection from getting into water intake structure assume a complex consisting of two, and sometimes all three types of structures.

Fig. 10 shows a patented [13] device for protecting fish juveniles from entering a water intake structure. The device assumes the presence of a screen 1 consisting of removable filter cassettes 2. The mesh size of the net should be at least 1 mm. In front of the fish screen, perforated pipes 5 are arranged across the river (canal), through which an ozone-air mixture with an ozone concentration of 0.001 mg/l is supplied. The authors of the invention report that the device contributes not only to effective fish protection, but also to maintaining a stable ecological state of a water body, providing a disinfecting effect. It is experimentally proved that the supply of ozone-air mixture with the specified concentration is destructive for microbes, viruses, parasites of fish. It is most expedient to operate fish protection device in the warm period of the year (spring, summer).

VolgGTU scientists [14] have developed a fish protection device (Fig. 11) capable of preventing juvenile fish with body size less than 15 mm from entering the water intake. The design includes a steel frame 1 covered with a fine-mesh net 3. Inside the frame, there is a jet generator, which is a rotating frame 2. The water streams formed by the rotating frame prevent fish fry from approaching the water intake. Stream generator rotates on bearings 5, 6, the speed of rotation is subject to adjustment mechanism 7. The diameter of the hole in the upper part of the fish protection device should be equal to the outer diameter of the suction pipe of the pumping station.

In [15] there is a description of a water intake head (Fig. 12), which provides a high barrier function in relation to fish. The creators of the utility model recommend its application in fishery watercourses. The water-receiving head contains a fish-protective grating mounted on a boom of the lifting mechanism. The fish protection grid is made of strings with balls strung on it. Under the influence of hydrodynamic loads, the strings vibrate and deter fish. The balls, in their turn, contribute to the unclogging of the grid, as their mobility allows debris to pass inside the header.

The above-described new designs of working protection structures for water intakes have a common feature: their design simultaneously includes a physical barrier for fish juveniles and a means of deterring them (affecting their senses).

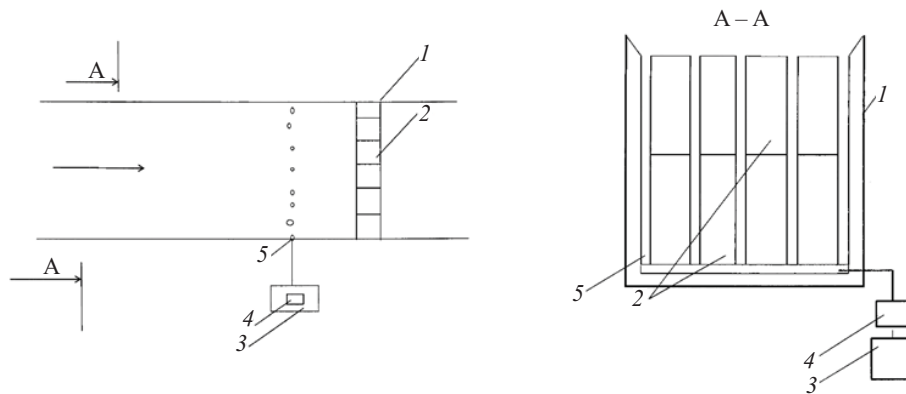


Fig. 10. Device used to prevent juvenile fish from entering water intake structure [13]: 1 — fish-protection screen; 2 — filter cassettes; 3 — compressed air source; 4 — ozone generator; 5 — perforated air ducts

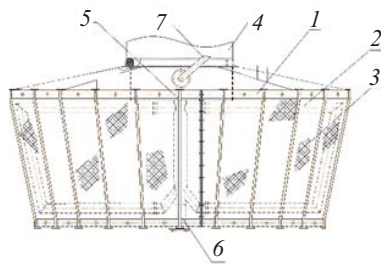


Fig. 11. Fish-protecting device [14]

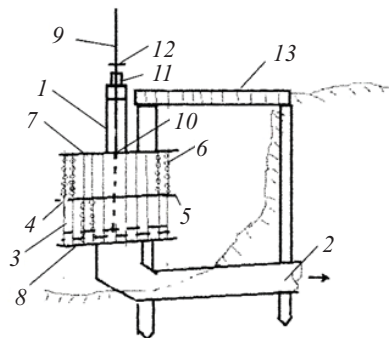


Fig. 12. Water intake head [15]: 1 — frame with lifting mechanism; 2 — water intake pipe; 3 — grid; 4 — holes; 5 — ring; 6 — balls; 7 — top cover; 8 — headliner plate; 9 — rod with screw thread; 10 — fastening unit; 11 — nut; 12 — rotation wheel; 13 — shore bridge

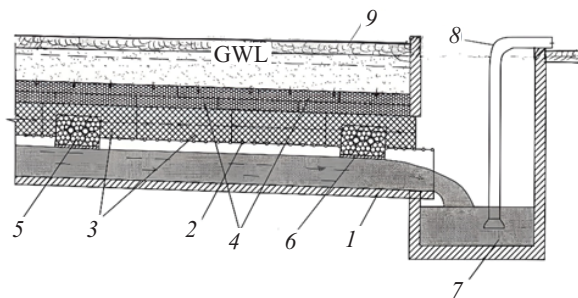


Fig. 13. Horizontal underground water intake of combined construction [16]: 1 — open flume; 2 — metal grid; 3 — gabion tubes; 4 — flexible tubes; 5 — gabion tubes of additional water intake channels; 6 — channels; 7 — water intake well; 8 — water intake pipeline; 9 — clay soil

Groundwater is of great importance for domestic and industrial water supply and land reclamation. Due to its greater protection from anthropogenic impact (compared to surface water), groundwater is characterized by rather high (including stable) organoleptic parameters. For their intake, various water intake devices are used: wells, horizontal and beam intakes, shaft wells and drip pits. Perhaps, the biggest problem at operation of groundwater intakes is ring matage of drainage devices and behind-filter areas of water-bearing rocks. The problem of colmatage is particularly acute when water is withdrawn from sandy aquifers. In addition, the disadvantage of water intakes of highly buried groundwater is their low flow rate.

Scientists [16] proposed a design of combined horizontal water intake (Fig. 13). The water intake gallery is made in the form of a flume covered with a metal grid. On top of the grid, gabion typhoons are laid. A distinctive feature of the invention is the additional equipping of the catchment galleries with channels laid perpendicularly. The channels are gabion mats laid on watertight bases. They help to increase the water intake surface area and, as a result, increase the flow rate of the water intake structure. The intake is suitable for aquifers up to 10 metres deep.

The design of the under-channel filtering water intake [17] (Fig. 14), which allows simultaneous water intake from the river bed and receiving under-channel water, is of interest. The water intake gallery is constructed along the river bed. It is covered by two rows of gabion structures (longitudinal and transverse). Additional water receivers are laid normal to the catchment gallery, designed to receive underflow water. The authors recommend the described water intake structure for freezing springs, as it allows to provide constant water intake due to underflow water collection.

In [18] the design of a borehole-well is proposed, which allows to reduce the cost of groundwater intake. The structure combines the features of a shaft well and a borehole (Fig. 15). The water intake includes the following elements: shaft-mine 1, designed for accumulation of water rising from the aquifer, as well as the passage of water-lifting structures or pump placement;

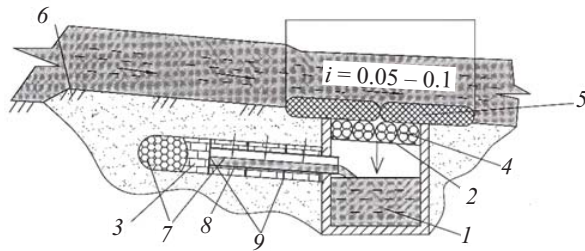


Fig. 14. Sub-channel filtering water intake of combined construction [17]: 1 — catchment gallery; 2 — metal grating; 3 — flexible bales; 4, 5 — gabion bales; 6 — guiding sill; 7 — water intake; 8 — perforated pipes; 9 — stiffening ribs

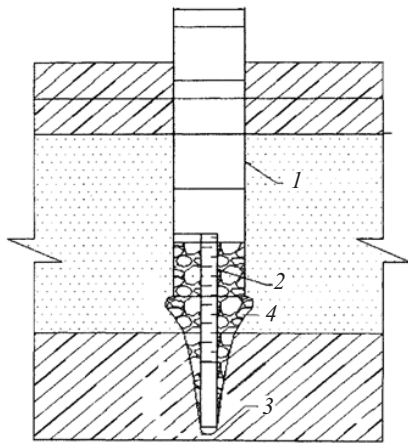


Fig. 15. Well-borehole [18]

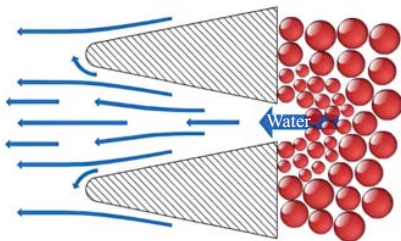


Fig. 16. Graphic representation of the flow in spiral-wound filter elements [19]

perforated polyethylene pipe 2, which is a water-receiving element; sump-shut-off 3, in which soil particles accumulate, jumping through the drainage cover 4. The technical and economic effect of the construction consists in reduction of material intensity of water intake, which is especially valuable for water extraction from deep aquifers.

In the paper [19] spiral, wound filter elements are proposed for use (Fig. 16). Their wide enough scope of application is declared: as filters of vertical and horizontal

(as a part of beam water intakes) wells, as grids on water intake windows of channel and coastal water intakes. A distinctive feature of the filters is a triangular cross-section wire welded to metal stringers, which are the frame of the structure. The manufacturer of the filters (MF “TEKO-FILTER”) informs about the special hydraulic mode, which promotes low colmatation of the pore space along with the possibility of fast washing.

A study by scientists at the University of Iran is of interest in order to solve the problem of lead elimination from the composition of groundwater extracted through mine wells. The reason for lead saturation of groundwater in Central Iran is its contact with volcanic rocks. In [20], it is proposed to use clinoptilolite as a well filter. It is proved that the efficiency of lead absorption can reach 85 %. Clinoptilolite as a natural sorbent was considered in previously published works [21, 22].

It is customary to plug water wells that are no longer in operation for any reason. However, according to studies [23], a tamped well damages the environment and creates preconditions for the impossibility of using the area for groundwater abstraction. The problem of plugged wells is as follows. Most often, wells are decommissioned if the ground space around them is obstructed, which reduces the flow rate of the water intake to the limit. As regeneration of obstructed zones requires attraction of considerable money, unfortunately, termination of use of obstructed wells is a widespread practice. At the same time, the area of obstructed near-well medium, exceeding by 500 mm the well diameter, is a zone of accumulation of insoluble compounds, heavy metals. The accumulated sediments contribute to the change of groundwater composition, change of hydrodynamic parameters of aquifer and physical and mechanical properties of water-bearing soils. Concrete struts formed as a result of cement slurry plugging of wells pose a similar problem. The researchers see the solution to this negative practice as increasing the life of wells, which should be achieved by planned regeneration of well zones based on the best available technologies.

CONCLUSION AND DISCUSSION

The review of scientific publications for the last ten years has shown that the tendency of development of engineering solutions in the field of surface water intake structures is aimed at creation of water intake structures, contributing to reduction of suspended solids concentration, debris in the intake water, increasing reliability of operation in severe climatic conditions of the North. Scientists are also interested in improving fish protection structures, increasing their barrier function. As for groundwater intakes, it is possible to note new constructive solutions providing increase of flow rate.

REFERENCES

1. Dhivert E., Dendievel A.-M., Desmet M., Devillers B., Grosbois C. Hydro-sedimentary dysfunctions as a key factor for the storage of contaminants in mountain rivers (Bienne River, Jura Mountains, France). *CATENA*. 2022; 213:106122. DOI: 10.1016/j.catena.2022.106122

2. Wiener J.S., Pasternack G.B. Scale dependent spatial structuring of mountain river large bed elements maximizes flow resistance. *Geomorphology*. 2022; 416:108431. DOI: 10.1016/j.geomorph.2022.108431

3. Abilov R.S.O. Water intake for mountain rivers. *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*. 2015; 3(19):150-158. EDN UISMLZ. (rus.).

4. Agaev I.A., Akhmedov B.M., Muslumov A.M. Water intake and water treatment plants for the mountain rivers. *Water purification. Water treatment. Water supply*. 2017; 3(111):10-14. EDN YFUBVX. (rus.).

5. Shtanko A.S. Filtering intake from watercourses for pre-treated water delivering into drip irrigation systems. *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*. 2020; 3(39):123-139. DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-123-139. EDN JHVTLF. (rus.).

6. Patent RU No. 2667728. *Water purification intake facility* / Golubenko M.I. appl. No. 2017131195 04.09.2017; publ. 24.09.2018. Byul. No. 27; 10. (rus.).

7. Shevchenko A.V., Puras G.N. Water intake from a surface water source for fish breeding and reclamation complexes. *Ecology and Water Management*. 2021; 3(3):89-102. DOI: 10.31774/2658-7890-2021-3-3-89-102. EDN RDGOYL. (rus.).

8. Patent RU No. 2480555. *Water intake and cleaning device* / Boronina L.V., Abuova G.B., Zimina N.V., Tazhieva S.Z.; appl. No. 2011113926/13 08.04.2011; publ. 27.04.2013. Byul. No. 12; 6. (rus.).

9. Sozaev A.A., Kurbanov S.O., Volosuhin V.A. Effective design and technological solutions for management and protection of channel type water intake buildings in the special conditions of the north in the gulf of Obskaya bay area. *Scientific journal Kubsau*. 2016; 119(05):435-452. EDN WAFKST. (rus.).

10. Lysenko E.V., Pyanov M.V., Karmanova E.I. The problem of death of fish on intakes of Mordovia. *Problems of ecology and environmental management in the middle Volga region : materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 140th anniversary of the birth of B.M. Zhitkova*. 2013; 57-61. EDN XAYFRF. (rus.).

11. Beglyarov D.S., Bakshtanin A.M., Kostina E.S. The influence of types and structures of fish protective constructions on conservation of fish populations of inland reservoirs of the country. *Environmental Management*. 2019; 5:64-71. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-5-64-71. EDN TVHMYS. (rus.).

12. Tutzer R., Röck S., Walde J., Zeiringer B., Unfer G., Führer S. Ethohydraulic experiments on the fish protection potential of the hybrid system FishProtector

at hydropower plants. *Ecological Engineering*. 2021; 171:106370. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2021.106370

13. Patent RU No. 2712566. *Device for protecting juvenile fish against into water intake construction* / Dragunova S.M., Krylova N.N.; appl. No. 2018138824 02.11.2018; publ. 29.01.2020. Byul. No. 4; 9. (rus.).

14. Zabrodin A., Bagaiskov Yu. Development of a fish protection device design. *Izvestia Volgograd State Technical University*. 2021; 8(255):68-72. DOI: 10.35211/1990-5297-2021-8-255-68-72. EDN HSJJPW. (rus.).

15. Patent RU No. 204996. *Water intake head* / Petrashkevich V.V., Mikheev P.A., Benin D.M., Petrashkevich A.V., Snezhko V.L.; appl. No. 2021111514 22.04.2021; publ. 22.06.2021. Byul. No. 18; 5. (rus.).

16. Patent RU No. 2528836. *Method of erection of underground horizontal water intake of a combined structure* / Dzhamaludinov M.M., Kurbanov S.O.; appl. No. 2012137318/13 31.08.2012; publ. 20.09.2014. Byul. No. 26; 8. (rus.).

17. Patent RU No. 2528836. *Method of construction of a horizontal underground water intake of a combined design* / Dzhamaludinov M.M., Kurbanov S.O.; appl. No. 2012137318/13 31.08.2012; publ. 20.09.2014. Byul. No. 26; 8. (rus.).

18. Patent RU No. 130614. *Well-borehole* / Chemakin S.V.; appl. No. 2012123477/13 05.06.2012; publ. 27.07.2013. Byul. No. 18; 18. (rus.).

19. Fahreev D.S., Lushkin I.A. Application of spiral wound filter elements "TECO-SLOT" in the construction of intake structures. *Cities of Russia: problems of construction, engineering support, improvement and ecology : collection of articles of the XVI International Scientific and Practical Conference*. 2014; 90-94. EDN SWUHW. (rus.).

20. Heidarian M.H., Nakhaei M., Vatanpour V., Rezaei K. Evaluation of using clinoptilolite as a filter in drinking water wells for removal of lead (small-scale physical sand box model). *Journal of Water Process Engineering*. 2023; 52:103558. DOI: 10.1016/j.jwpe.2023.103558

21. Ghadersarbazi Z., Ghiasi F., Ghorbani F., Johari S.A. Toxicity assessment of arsenic on common carp (*Cyprinus carpio*) and development of natural sorbents to reduce the bioconcentration by RSM methodology. *Chemosphere*. 2019; 224:247-255. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.02.146

22. Kussainova M.Zh., Chernyakova R.M., Jusipbekov U.Z., Pasa S. Structural investigation of raw clinoptilolite over the Pb²⁺ adsorption process from phosphoric acid. *Journal of Molecular Structure*. 2019; 1184:49-58. DOI: 10.1016/j.molstruc.2019.02.012

23. Tsymbalov A.A. Environmental problem of looped water intake facilities. *Readings of A.I. Bulatov*. 2023; 1:298-301. EDN UFVZKP. (rus.).

Received September 2, 2023.

Adopted in revised form on September 13, 2023.

Approved for publication on September 13, 2023.

BIONOTES: Yuliya A. Ryltseva — Candidate of Technical Sciences, lecturer of the Department of Water supply and water removal; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 4138-6634, Scopus: 57214228101, ORCID: 0000-0002-1315-6907; yuliya.ryltseva@mail.ru.

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ. ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ И ПЕРЕПОДГОТОВКА КАДРОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 001.2:711.1:351.91:004.832.28

DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.5

Модель взаимосвязи участников профессиональной деятельности в градостроительстве

Надежда Александровна Самойлова^{1,2}, Юрий Владимирович Алексеев¹

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

² Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства
и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (ЦНИИП Минстроя России);
г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Для градорегулирования в сложившихся условиях на современном этапе информационно-коммуникационных технологий в целях достижения устойчивого развития территорий, в том числе снижения негативных последствий от природных и техногенных бедствий, актуальными являются вопросы системного совершенствования качества профессионального образования и развития квалификаций всех участников градостроительной деятельности. Представлены предложения по формированию научных основ создания системы поддержки принятия градостроительных решений с акцентом на образовательное направление подготовки кадров по направлению «Градостроительство».

Материалы и методы. Проведены сравнительно-сопоставительный анализ нормативно-правовой документации, научно-практический обзор информации по теме междисциплинарного (архитектура, строительство, социология, экономика, экология, культура, геоинформатика, геокартография) градостроительного направления образования, в том числе анализ международной системы образования.

Результаты. Выполнен анализ сложившейся к настоящему времени в Российской Федерации ситуации в образовании по направлению «Градостроительство», предложены подходы по системному совершенствованию направлений «Архитектура» и «Строительство» в образовании для формирования научных основ создания системы поддержки принятия градостроительных решений.

Выводы. Научная школа градостроительства, в основе которой Модель структурной организации компонентов и типов объектов поселений, задает организацию системной взаимосвязи направления «Градостроительство» со множеством направлений в образовании и учитывает все многообразие задач концептуального прогнозирования, планирования, проектирования различных градостроительных типов территории (в том числе всего разнообразия градостроительных трансформаций на территории), формирования объемно-планировочных решений зданий, сооружений и их создания и эксплуатации на единой методологической основе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: градостроительство, основы процесса градостроительного регулирования, Модель и методология структурной организации компонентов и типов объектов (Модель), система градостроительного образования, система поддержки принятия градостроительных решений

Благодарности. Исследование апробировано в рамках Евразийского инновационного форума «Актуальные проблемы застройки и безопасности крупных городов» (Казахстан, г. Алматы, 15–17 июня 2022 г. URL: <http://gradoresurs.ru/gradol/>). Авторы выражают благодарности: директору Института архитектуры и строительства им. Т.К. Басенова Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева (КазНТУ), доктору архитектуры, профессору Б.У. Куспангалиеву; директору ЦНИИП Минстроя России, кандидату экономических наук Д.В. Михееву; члену Совета по профессиональным квалификациям в строительстве, эксперту научно-технической сферы Минобрнауки России, эксперту проектной документации и инженерных изысканий Минстроя России, кандидату технических наук Р.Т. Акбиеву; ректору Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ), академику Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), профессору, доктору технических наук П.А. Акимову, а также анонимным рецензентам. Исследование выполнено в рамках ФНИР по теме 2.2.3.1 «Формирование научных основ создания системы поддержки принятия градостроительных решений».

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Самойлова Н.А., Алексеев Ю.В. Модель взаимосвязи участников профессиональной деятельности в градостроительстве // Строительство: наука и образование. 2023. Т. 13. Вып. 3. Ст. 5. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.5

Автор, ответственный за переписку: Надежда Александровна Самойлова, SamoylovaNA@mgsu.ru.

Model of the interrelation of participants of professional activity in urban planning

Nadezhda A. Samoylova^{1,2}, Yuri V. Alekseev¹

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

² Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services
of the Russian Federation; Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Russia is in the process of establishing a new urban planning regulation using information and communication technologies to achieve sustainable development of territories. The relevant questions are: 1) improving education; 2) qualifications of all participants in urban development activities. The paper presents proposals for the formation of scientific foundations for the creation of a system to support the adoption of urban planning decisions in terms of personnel training.

Materials and methods. The comparative analysis of international and Russian regulatory and legal documentation, a scientific and practical review of the system of interdisciplinary urban planning education (architecture, construction, sociology, economics, ecology, culture, geoinformatics, geocartography) were carried out.

Results. The analysis of the situation in education in the direction of urban development in Russia is carried out. Approaches to the systematic improvement of education in the areas of "Urban Planning", "Architecture" and "Construction" are proposed. A model of the structural organization of components and types of settlement objects (briefly Model) is presented. The Model is the scientific basis for creating a Decision Support System (DSS) for urban planning.

Conclusions. It seems that the scientific school of urban planning should be based on the Model, a methodology of urban planning regulation using information and communication technologies. Such a scientific school of urban planning will contribute to the interconnection of all participants in urban planning activities. The direction of "Urban planning" in the Model provides the organization of a systemic relationship of participants in a variety of areas in education. The "model" takes into account all the variety of tasks of conceptual forecasting, planning, design of various urban types of the territory (all types of urban transformations in the territory), spatial planning solutions of buildings, structures, processes of creation and operation of buildings, structures on a single methodological basis.

KEYWORDS: urban planning, basics of the process of urban planning regulation, Model and methodology of the structural organization of components and types of objects (Model), the system of urban planning education, Decision Support System (DSS) for urban planning

Acknowledgments. The study was carried out for the Eurasian Innovation Forum "Actual problems of development and safety of large cities" (Kazakhstan, Almaty (15–17 June 2022, URL: <http://gradoresurs.ru/grado/>). The authors express their gratitude to: B.U. Kuspangaliyev, Director of the Satbayev university, Doctor of Architecture, Professor; D.V. Mikheev, Director of Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction, Housing and Communal Services of the Russian Federation, candidate of economic sciences; R.T. Akbiyev, member of the Council for professional qualifications in construction, expert of scientific and technical sphere of the Ministry of Education and Science of Russia, expert of design documentation and engineering surveys of the Ministry of Construction of Russia, candidate of technical sciences; P.A. Akimov, Rector of Institution of Higher Education Moscow State University of Civil Engineering (National Research University, MGSU), academic of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), professor, Doctor of Technical Sciences and also to anonymous reviewers. The research was carried out within the framework of the FSRD under the theme 2.2.3.1 "Formation of scientific foundations for the creation of a system of support for urban planning decision-making".

FOR CITATION: Samoylova N.A., Alekseev Yu.V. Model of the interrelation of participants of professional activity in urban planning. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2023; 13(3):5. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.5

Corresponding author: Nadezhda A. Samoylova, SamoylovaNA@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

После распада СССР в Российской Федерации еще не завершено становление нового регулирования:

1) участников профессиональной деятельности¹ в градостроительстве² (градостроители, ар-

¹ В статье использована терминология в интерпретации Ю.В. Алексеева, вместе с В.Н. Белоусовым и А.П. Кудрявцевым основавшим научное направление в отечественном градостроительстве.

Профессиональная деятельность — организованные и координируемые органами управления мероприятия при планировании, архитектурно-строительном проектировании поселений региона, обеспечивающие формирование новых и изменения существующих поселений в интересах каждого человека и общества, участники которых имеют квалификацию по основным направлениям в профессиональном образовании: «Градостроительство», «Архитектура», «Строительство».

Градостроительство — создание материально-пространственной среды жизнедеятельности людей в поселениях региона, в процессе которого участвуют представители всех отраслей народного хозяйства.

Градостроительная деятельность — система управляемых политических, экономических, финансовых, экологических, социальных, планировочных, строительных, научно-исследовательских, образовательных мероприятий, обеспечивающих создание материально-пространственной среды жизнедеятельности людей в поселениях региона на основе коллективного опыта, накопленного во всех отраслях народного хозяйства.

Градостроительное регулирование — управление формированием новых и изменениями, прежде всего процессами развития и роста, поселений региона.

В данной статье авторы акцентируют внимание на понятии «профессиональная деятельность», которое входит в состав понятия «градостроительная деятельность». Еще более широким и общим к понятию «градостроительная деятельность» является понятие «градостроительные отношения», для которых в ГК РФ определен круг субъектов — Российская Федерация, субъекты Российской Федерации, муниципальные образования, физические и юридические лица. На данном историческом этапе в России круг участников профессиональной деятельности в градостроительстве еще не устоялся и требует системного совершенствования качества профессионального образования и развития квалификаций всех участников градостроительной деятельности.

² В мире градостроительство (англ. Urban planning, Town planning, City planning, Regional planning, Rural planning) возникло как профессия в первые десятилетия XX в., в основном как система принятия решений на возникшие санитарные, социальные и экономические условия быстро растущих промышленных городов. Первоначально дисциплины архитектуры и гражданского строительства составляли ядро заинтересованных профессионалов, привлекаемых для решения этих проблем. В дальнейшем к ним присоединились специалисты в области санитарно-эпидемиологического контроля, экономисты, социологи, юристы и географы для решения специфических задач управления поселениями. Современные методы планирования градостроительных трансформаций на территории включают обследования, анализ, проектирование и реализацию разработок на основе синтеза междисциплинарных знаний.

Современное градостроительство — технический и политический процесс, связанный с благосостоянием людей, контролем за использованием земли, проектированием среды жизнедеятельности (включая транспортные и коммуникационные сети), а также защиту и охрану природных ресурсов (What is Urban Planning? // School of Urban Planning, McGill University. Montréal

хитекторы, строители, преподаватели учреждений различных уровней профессионального образования, руководители и специалисты различных уровней власти, принимающие решения по градостроительной трансформации на территории) [1];

(Québec) Canada. URL: <https://www.mcgill.ca/urbanplanning/planning>. Перевод Н.А. Самойловой). С примечанием «градостроительство» термин, используемый в России и понимаемый специалистами на территории постсоветского пространства, включает также термин на английском языке Urban development, любое физическое расширение или изменение видов землепользования в поселениях и прилегающих к ним территориях: разделение на зоны с различными регламентами использования; строительство, реновацию, ревитализацию или регенерацию зданий, дорог, инженерных сетей и других объектов; изменения природных территорий; а также рост населения и связанные с этим экономические, социальные и политические изменения (Cassandra M. Solutions to Solving Urban Sprawl / Bizfluent Leaf Group Ltd. URL: <https://bizfluent.com/13657584/ways-to-reduce-urban-sprawl>. Перевод Н.А. Самойловой).

Для сведения приведем несколько фактов:

1. Градостроительная наука на стыке технических и социально-гуманитарных наук, при этом ВАК России присуждает ученые степени по отраслям науки: архитектура и технические науки по научной специальности «Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов» (шифр 2.1.13.); (Приказ Минобрнауки России от 24.02.2021 № 118 «Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени...» (с изм. на 30.03.2023)).

2. В мире с начала XX в. в урбанистике произошло существенное разделение на три научные ветви: эстетическая (акцент на внешней форме города, на вариантах его композиционной структуры); технологическая (проблемы городской инфраструктуры, в том числе транспортные сети; вопросы экономики города и управления развитием, в том числе девелопмент); социальная (проблемы социальной жизни города и горожан, в том числе правовые) (Глазычев В.Л. Политическая экономия города. М.: Дело, 2009. 192 с.).

3. В начале 1920-х гг. возникает новая область деятельности градостроительства — территориальное планирование, или районная планировка (англ. spatial planning, regional planning), за исключением генпланов населенных пунктов; в советское время — это были разрабатываемые схемы районных планировок краев, областей и автономных республик. За рубежом первый такой проект планировки был разработан английскими архитекторами Л.П. Аберкромби и Т. Джонсоном для угольного района в Англии.

4. В СССР с 1917 по 1990-е гг. в период отсутствия свободного оборота земельных участков и рынка недвижимости действовала система социалистического градостроительства как понятие не экономического содержания, а конструкционного, что соответствует западному понятию «физическое региональное планирование».

5. Как система знаний в России градостроительство является подотраслью двух отраслей науки: архитектуры и строительства — и сложилась в таком виде в период активного строительства новых городов в 1930-е гг. и официального осуждения урбанистики (точнее отдельных ее двух ветвей — технологической и социальной) и запрета на социологию.

6. Городское планирование, имевшее место в 1930-е гг. в СССР, уступило идее градостроительного проектирования, когда вопросы формирования городской инфраструктуры были подчинены ведомственной системе государственного планирования, а представления о потребностях горожан были выстроены по нормативной модели на основе идеологических установок.

2) отдельных структурных элементов рынка труда: правовые акты форм труда и занятости (их сущностных признаков), о правовой квалификации личного труда в отдельных спорных случаях его использования [2];

3) профессионального образования по направлениям «Градостроительство», «Архитектура», «Строительство» с учетом профессиональных стандартов.

В статье кандидата юридических наук, адвоката М.А. Драчук [2] в журнале «Трудовое право в России и за рубежом» обозначено, что «государство при любом им сформулированном типе рынка труда (административно-плановом, саморегулируемом или их смешанных моделях) как минимум должно осуществлять:

- создание системы образования, коррелирующей с системой рынка труда и занятости;
- формирование, регулирование и обеспечение функционирования системы, структуры и инфраструктуры рынка труда;
- информационное обеспечение субъектов рынка труда» (от авторов данной статьи уточним, что для участников профессиональной деятельности особое значение имеет государственная информационная система обеспечения градостроительной деятельности Российской Федерации (ГИСОГД) и развивающийся портал пространственных данных РФ, в том числе федеральная государственная информационная система территориального планирования Российской Федерации (ФГИС ТП РФ), в рамках системы поддержки принятия градостроительных решений, в том числе с использованием «сквозных» цифровых технологий).

В каждой из указанных троек важна роль профессионального образования и введение новых знаний в использование всеми субъектами градостроительных отношений³, в том числе физическими и юридическими лицами, являющимися потребителями градостроительной среды и соучастниками по ее градостроительной трансформации.

В соответствии с действующим Градостроительным кодексом Российской Федерации (ГК РФ) градостроительная деятельность⁴, осуществляемая

в соответствии со всеми установленными в ГК РФ видами документов, в том числе градостроительными нормативами и градостроительными регламентами, как посредством подготовки установленных градостроительных документов⁵ на национальном, региональном и местном уровнях, а также непосредственно: строительства, капитального ремонта, реконструкции, сноса объектов капитального строительства, эксплуатации зданий, сооружений, комплексного развития территорий и их благоустройства; так и посредством научно-исследовательской деятельности, а также коммуникаций субъектов градостроительных отношений, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности, которая охватывает все три направления «Градостроительство», «Архитектура» и «Строительство» с учетом установленных федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС⁶) подготовки кадров⁷ различных квалификаций по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре, специалитете, высшего образования (ВО), среднего профессионального образования (СПО) для обеспечения долгосрочных потребностей отраслей экономики и социальной сферы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведены сравнительно-сопоставительный анализ нормативно-правовой документации, научно-практический обзор информации по теме градостроительного направления образования.

⁵ Документы территориального планирования, указанные в п. 2 ст. 9 ГК РФ, и материалы по их обоснованию, а также установленные в п. 3.1 ГК РФ нормативы градостроительного проектирования; документы градостроительного зонирования (п. 2 ст. 30 ГК РФ); документация по планировке территории (ст. 41 ГК РФ); проектная документация, рабочая документация, применительно к объектам капитального строительства и их частям, строящимся, реконструируемым, и инженерные изыскания для подготовки такой проектной документации, а также раздел проектной документации при проведении капитального ремонта объекта капитального строительства в установленных случаях (ст. 48 ГК РФ).

⁶ ФГОС 2022 онлайн. URL: <https://classinform.ru/fgos.html>

⁷ С 2022 г. для СПО реализуется проект «Профессионалитет» (Постановление Правительства РФ от 16.03.2022 № 387 «О проведении эксперимента по разработке, апробации и внедрению новой образовательной технологии конструирования образовательных программ среднего профессионального образования в рамках федерального проекта «Профессионалитет»»), а с 2023 г. для ВО — реализация пилотного проекта (Указ Президента Российской Федерации от 12.05.2023 № 343 «О некоторых вопросах совершенствования системы высшего образования»).

³ Субъектами градостроительных отношений являются Российская Федерация, субъекты Российской Федерации, муниципальные образования, физические и юридические лица (п. 1 ст. 5 Градостроительного Кодекса Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 01.09.2023)).

⁴ Градостроительная деятельность — деятельность по развитию территорий, в том числе городов и иных поселений, осуществляемая в виде территориального планирования, градостроительного зонирования, планировки территории, архитектурно-строительного проектирования, строительства, капитального ремонта, реконструкции, сноса объектов капитального строительства, эксплуатации зданий, сооружений, комплексного развития территорий и их благоустройства (п. 1 ст. 1 ГК РФ).

В разрезе отдельных стран и в общемировом масштабе международная стандартная классификация образования (МСКО) (International Standard Classification of Education — ISCED) как инструмент сопоставления статистических данных по образованию выделяет два крупных вида кодирования:

- горизонтальное: по уровням образования (табл. 1);
- вертикальное: по областям образования и профессиональной подготовке (табл. 2).

Вместе с тем в последние 30 лет, несмотря на принятие Федерального закона от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», приказа Росстандарта от 17.12.2013 № 2255-ст (в ред. от 23.06.2020) об утверждении «ОК 017-2013. Общероссийский классификатор специальностей высшей научной квалификации», приказа Минтруда России от 12.04.2013 № 147н «Об утверждении Макета профессионального стандарта», для любого рынка труда, дифференцированного в том числе по различным формам собственности, «особое место в механизме любого типа занимает систематизация и регламентация основных отраслей экономической деятельности» [2].

Ранее во времена СССР были сформированы и нормативно урегулированы отрасли народного хозяйства — ОКОНХ (Общесоюзный классификатор «Отрасли народного хозяйства» (утв. Госкомстатом СССР, Гос-планом СССР, Госстандартом СССР 01.01.1976)), в том числе «Строительство», код 60000.

В современной России технологические процессы в соответствии с обновленными кодами, установленными в Общероссийском классификаторе видов экономической деятельности ОК 029–2014 (КДЕС Ред. 2) «Строительство» и «Деятельность профессиональная, научная и техническая» (табл. 3), так же как и ранее невозможны в отрыве от использования труда человека, несмотря на стремительно развивающиеся информационные и «сквозные» цифровые технологии, в том числе искусственный интеллект [3].

Табл. 1. Международная стандартная классификация образования по уровням образования

Уровень	МСКО–2011
0	Дошкольное образование (01 Дошкольное образовательное развитие)
	Дошкольное образование (02 Дошкольное образование)
1	Начальное образование
2	Неполное среднее образование
3	Высшее среднее образование
4	Послесреднее нетривиальное образование
5	Высшее образование короткого цикла
6	Степень бакалавра или эквивалент
7	Степень магистра или эквивалент
8	Докторская степень или эквивалент

Экономическая деятельность имеет место тогда, когда ресурсы (оборудование, рабочая сила, технологии, сырье, материалы, энергия, информационные ресурсы) объединяются в производственный процесс, имеющий целью производство продукции (оказание услуг).

Привычные из СССР типовые должностные инструкции в профессиональных стандартах заменены на понятия «трудовые действия» («то есть заложены начала самостоятельной, творческой активности и персональной ответственности работника» [2]), а закрепленные в профессиональных стандартах «необходимые умения» и «необходимые знания» являются прямой связью с образовательными стандартами, в том числе со стандартами дополнительных общеобразовательных программ и дополнительных профессиональных программ (рис. 1).

Табл. 2. Коды и названия областей и групп образовательных программ по МСКО–2011 (фрагмент в части градостроительства)

Широкие области	Узкие области	Детализированные области
07 Машиностроение, производство и строительство	073 Архитектура и строительство	0731 Архитектура и градостроительство 0732 Постройка (сооружение) и гражданское строительство 0738 Междисциплинарные программы и квалификации, включающие архитектуру и строительство

Табл. 3. Общероссийский классификатор видов экономической деятельности ОК 029–2014 (КДЕС Ред. 2) (выписка по разделам F и M)

Код	Расшифровка
	Раздел F Строительство
41	Строительство зданий: 1) общее строительство зданий всех типов (в него включено строительство новых зданий, реконструкция, капитальный ремонт, текущий ремонт и дополнительные работы, монтаж сборных сооружений или конструкций на участке, а также строительство временных зданий); 2) строительство жилья, административных зданий, складов и прочих общественных и обслуживающих зданий, фермерских помещений и т.д.
Раздел M Деятельность профессиональная, научная и техническая	
71.1	Деятельность в области архитектуры, инженерных изысканий и предоставление технических консультаций в этих областях: 1) предоставление архитектурных, инженерно-технических услуг, услуг по разработке чертежей, по строительным изыскательским работам, услуг по картографии и т.п.; 2) оказание услуг по управлению проектами строительства, выполнению строительного контроля и авторского надзора

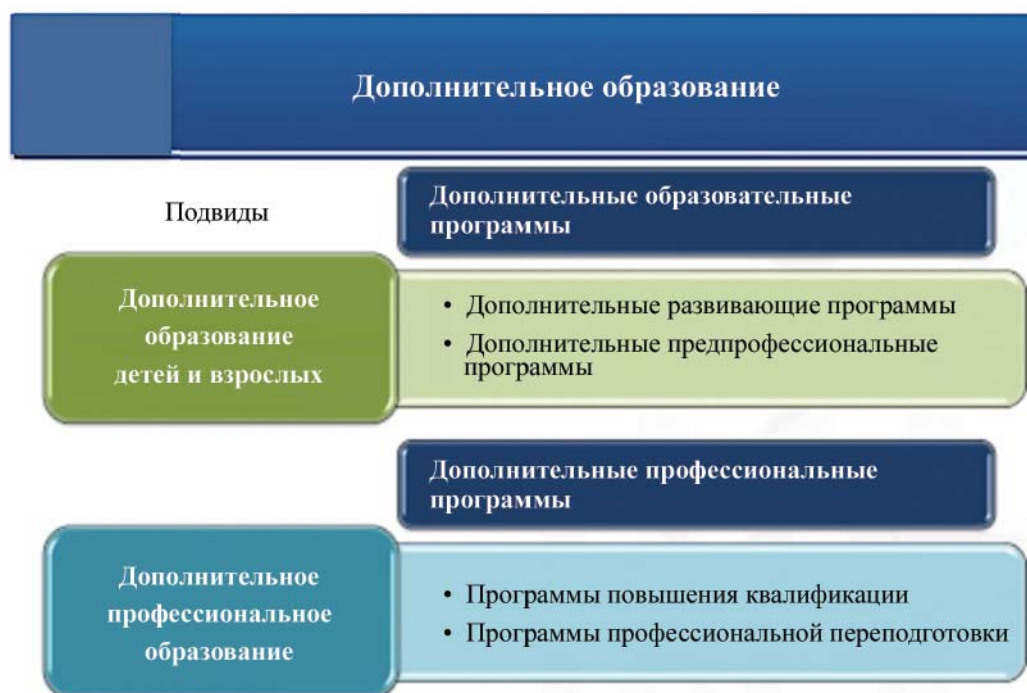


Рис. 1. Дополнительное образование в Российской Федерации

Любая типовая технология — типовая функция, а значит, она подчинена действию профессионального стандарта. В Трудовом кодексе Российской Федерации (ст. 195.3) установлено, что профессиональные стандарты обязательны для применения работодателями, а в частном секторе экономики применяются работодателями в качестве основы для определения требований к квалификации работников с учетом особенностей выполняемых работниками трудовых функций, обусловленных применяемыми технологиями и принятой организацией производства и труда.

В настоящее время действует 18 профессиональных стандартов в области профессиональной деятельности «Архитектура, проектирование, геодезия, топография и дизайн» (код 10), утвержденные Минтрудом России (табл. 4), и более 100 профессиональных стандартов в области «Строительство и ЖКХ» (код 16).

Для упорядочивания отдельных (особенно подлежащих лицензированию и/или разрешительной регистрации) видов экономической деятельности, таких как в сфере «Градостроительство», «Архитектура», «Строительство» (разделы F и M — ОК 029–2014 и код 073 Архитектура и строительство — МСКО–2011), необходимо обеспечить единообразие наименования работ для целей описания и поиска вакансий, организации занятости, в том числе молодых специалистов, а также сущностно-содержательной регламентации технологии.

В Общероссийском классификаторе специальностей по образованию ОК 009–2016 (ОКСО)

используется перечень укрупненных групп, установленный приказами Министерства образования и науки РФ от 12.09.2013 № 1061 «Об утверждении перечней специальностей и направлений подготовки высшего образования» и от 29.10.2013 № 1199 «Об утверждении перечней профессий и специальностей среднего профессионального образования».

При этом в области образования «Инженерное дело, технологии и технические науки» (табл. 5) среди таких укрупненных групп, как «Архитектура», «Техника и технологии строительства» (далее — «Строительство»), «Техносферная безопасность и природообустройство», «Информатика и вычислительная техника» и других, отсутствует укрупненная группа «Градостроительство», оно отнесено к укрупненной группе «Архитектура» как отдельная специальность.

К области образования «Математические и естественные науки» к укрупненной группе «Науки о Земле» отнесена специальность «Картография и геоинформатика», к области образования «Науки об обществе» к укрупненной группе «Экономика и управление» отнесена специальность «Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура», к области образования «Искусство и культура» к укрупненной группе «Искусствоведение» отнесена специальность «Социально-культурная деятельность (по видам)», которые как и многие другие, связанные с градостроительной деятельностью, в ОКСО представлены в разных укрупненных группах и их коды не взаимосвязаны.

Табл. 4. Реестр профессиональных стандартов в области профессиональной деятельности: 10. Архитектура, проектирование, геодезия, топография и дизайн^{8, 9}

Код ПС	Вид профессиональной деятельности	Наименование профессионального стандарта	Приказ Минтруда России		Дата введения в действие	Дата окончания действия
			номер	дата		
3	5	6	7	8	11	12
10.006	Деятельность по развитию территорий, в том числе городов и иных поселений, осуществляемая в виде территориального планирования, градостроительного зонирования, планировки территории	Градостроитель	27н	18.01.2023	01.09.2023	01.09.2029
10.010	Создание объектов ландшафтной архитектуры	Ландшафтный архитектор	48н	29.01.2019	10.03.2019	–
10.012	Осуществление деятельности для определения кадастровой стоимости объектов недвижимости, сведения о которых внесены в единый государственный реестр недвижимости	Специалист по определению кадастровой стоимости	562н	02.09.2020	05.10.2020	–
10.013	Выполнение работ и оказание услуг географической направленности	Географ (специалист по выполнению работ и оказанию услуг географической направленности)	954н	24.12.2020	15.02.2021	–
10.016	Осуществление архитектурно-реставрационной деятельности в области сохранения, использования и популяризации объектов культурного наследия — памятников, ансамблей и достопримечательных мест, историко-культурной среды обитания городов и поселений	Архитектор-реставратор	612н	31.08.2021	01.03.2022	01.03.2028
10.018	Осуществление аэрофотогеодезической деятельности	Специалист в области аэрофотогеодезии	169н	24.03.2022	01.09.2022	01.09.2028
10.019	Геодезические измерения на поверхности Земли, координатно-временное и навигационное обеспечение территорий	Специалист в области геодезии	168н	24.03.2022	01.09.2022	01.09.2028
10.020	Осуществление картографической и геоинформационной деятельности	Специалист в области картографии и геоинформатики	167н	24.03.2022	01.09.2022	01.09.2028
10.021	Расчет и проектирование бетонных и железобетонных конструкций	Специалист в области расчета и проектирования бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений	222н	19.04.2022	01.09.2022	01.09.2028

⁸ Профессиональные стандарты // Минтруд России. URL: https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/?sort=PROPERTY_RANGE_PROFACT&order=asc&PAGEN_1=2&SIZEN_1=20

⁹ Примеры оценочных средств // Портал НОПРИЗ. URL: https://spk.nopriz.ru/spk/nezavisimaya-otsenka-kvalifikatsii/primery-otsenochnykh-sredstv/index.php?sphrase_id=290612

Окончание табл. 4

Код ПС	Вид профессиональной деятельности	Наименование профессионального стандарта	Приказ Минтруда России		Дата введения в действие	Дата окончания действия
			номер	дата		
3	5	6	7	8	11	12
10.022	Расчет и проектирование деревянных и металлодеревянных конструкций	Специалист в области расчета и проектирования деревянных и металлодеревянных конструкций	220н	19.04.2022	01.09.2022	01.09.2028
10.023	Расчет и проектирование конструкций из полимерных и композиционных материалов	Специалист в области расчета и проектирования конструкций из полимерных и композиционных материалов	221н	19.04.2022	01.09.2022	01.09.2028
10.024	Расчет и проектирование конструкций из штучных материалов	Специалист в области расчета и проектирования конструкций из штучных материалов	230н	21.04.2022	01.09.2022	01.09.2028
10.025	Проектирование наружных сетей водоснабжения, водоотведения и канализации	Специалист в области проектирования наружных сетей водоснабжения, водоотведения и канализации	216н	18.04.2022	01.09.2022	01.09.2028
10.026	Разработка мероприятий по охране окружающей среды при проектировании объектов капитального строительства	Специалист в области разработки мероприятий по охране окружающей среды объектов капитального строительства	219н	18.04.2022	01.09.2022	01.09.2028
10.027	Проектирование транспортных тоннелей	Специалист в области проектирования транспортных тоннелей	218н	18.04.2022	01.09.2022	01.09.2028
10.028	Проектирование архитектурной среды	Архитектор-дизайнер	538н	14.09.2022	01.03.2023	01.03.2029
10.029	Инженерно-геологические изыскания в градостроительной деятельности	Специалист в области инженерно-геологических изысканий для градостроительной деятельности	615н	04.10.2022	01.03.2023	01.03.2029
10.030	Инженерно-гидрометеорологические изыскания в градостроительной деятельности	Специалист в области инженерно-гидрометеорологических изысканий для градостроительной деятельности	614н	04.10.2022	01.03.2023	01.03.2029
10.031	Проектирование систем пожарной сигнализации, оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, противодымной защиты, пожаротушения, противопожарного водоснабжения объектов капитального строительства	Специалист в области проектирования систем противопожарной защиты объектов капитального строительства	181н	20.03.2023	01.09.2023	01.09.2029

Табл. 5. Перечень укрупненных групп для области образования «Инженерное дело, технологии и технические науки»

Код	Перечень укрупненных групп
07	Архитектура
08	Техника и технологии строительства
09	Информатика и вычислительная техника
10	Информационная безопасность
11	Электроника, радиотехника и системы связи
12	Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии
13	Электро- и теплоэнергетика
14	Ядерная энергетика и технологии
15	Машиностроение
16	Физико-технические науки и технологии
17	Оружие и системы вооружения
18	Химические технологии
19	Промышленная экология и биотехнологии
20	Техносферная безопасность и природообустройство
21	Прикладная геология , горное дело, нефтегазовое дело и геодезия
22	Технологии материалов
23	Техника и технологии наземного транспорта
24	Авиационная и ракетно-космическая техника
25	Аэронавигация и эксплуатация авиационной и ракетно-космической техники
26	Техника и технологии кораблестроения и водного транспорта
27	Управление в технических системах
28	Нанотехнологии и наноматериалы
29	Технологии легкой промышленности

Примечание: жирным шрифтом выделены укрупненные группы в указанной области образования по направлениям «Градостроительство», «Архитектура», «Строительство».

Табл. 6. Перечень наименований специальностей и групп специальностей по федеральным государственным образовательным стандартам 2–6, 9 уровней по направлениям «Архитектура», «Градостроительство», «Строительство»¹⁰

Направления	Архитектура	Градостроительство	Строительство
Ассистентура-стажировки	07.00.00 Архитектура (уровень 9)¹¹		–
–	07.09.01 Архитектура	07.09.04 Градостроительство	–
–	07.09.02 Реконструкция и реставрация архитектурного наследия	–	–
–	07.09.03 Дизайн архитектурной среды	–	–
Аспирантура	07.00.00 Архитектура (уровень 6)		08.00.00 Техника и технологии строительства (уровень 6)
–	07.06.01 Архитектура		08.06.01 Техника и технологии строительства
Специалитет	–	–	08.00.00 Техника и технологии строительства (уровень 5)

¹⁰ Подготовлено Н.А. Самойловой и не претендует на полноту, лишь дает общее представление о выявленных несовершенствах учета необходимых специальностей в сфере градостроительной деятельности по терминологии ГК РФ и отсутствии единой укрупненной группы.

¹¹ По указанным специальностям организации, осуществляющие образовательную деятельность, реализуют образовательные программы до завершения обучения лиц, принятых на обучение до 1 сентября 2025 г. в соответствии с Приказом Минобрнауки России от 01.02.2022 (в ред. от 29.08.2022, дата вступления в силу 26.11.2022).

Продолжение табл. 6

Направления	Архитектура	Градостроительство	Строительство
—	—	—	08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений
—	—	—	08.05.02 Строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей
<i>Высшее образование</i>			
Магистры	07.00.00 Архитектура (уровень 4)	07.00.00 Архитектура (уровень 4)	08.00.00 Техника и технологии строительства (уровень 4)
—	07.04.01 Архитектура	07.04.04 Градостроительство	08.04.01 Строительство
—	07.04.02 Реконструкция и реставрация архитектурного наследия	—	—
—	07.04.03 Дизайн архитектурной среды	—	—
—	35.00.00 Сельское хозяйство и сельскохозяйственные науки (уровень 4)	—	—
—	35.04.10 Ландшафтная архитектура	—	—
Бакалавры	07.00.00 Архитектура (уровень 3)	07.00.00 Архитектура (уровень 3)	08.00.00 Техника и технологии строительства (уровень 3)
—	07.03.01 Архитектура	07.03.04 Градостроительство	08.03.01 Строительство
—	07.03.02 Реконструкция и реставрация архитектурного наследия	—	—
—	07.03.03 Дизайн архитектурной среды	—	—
—	35.00.00 Сельское хозяйство и сельскохозяйственные науки (уровень 3)	—	—
—	35.03.10 Ландшафтная архитектура	—	—
Среднее профессиональное образование	07.00.00 Архитектура (уровень 2)	21.00.00 Прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия (уровень 2)	08.00.00 Техника и технологии строительства (уровень 2)
—	07.02.01 Архитектура	21.02.06 Информационные системы обеспечения градостроительной деятельности ¹²	08.00.00 Техника и технологии строительства (40 специальностей, в том числе: 08.02.01 Строительство и эксплуатация зданий и сооружений, 08.02.02 Строительство и эксплуатация инженерных сооружений, 08.02.05 Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и аэродромов,

¹² Прием на обучение прекращается с 31 декабря 2022 г., а при реализации образовательной организацией образовательной программы по специальности 21.02.19 в условиях эксперимента по разработке, апробации и внедрению новой образовательной технологии конструирования образовательных программ среднего профессионального

образования в рамках федерального проекта «Профессионалитет» — с 1 августа 2022 г. (приказ Министерства просвещения РФ от 18.09.2022 № 339 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 21.02.19 Землеустройство»).

Окончание табл. 6

Направления	Архитектура	Градостроительство	Строительство
—	—	—	08.02.06 Строительство и эксплуатация городских путей сообщения, 08.02.10 Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство)
—	54.00.00 Изобразительное и прикладные виды искусств (уровень 2)	54.00.00 Изобразительные и прикладные виды искусств (уровень 2)	54.00.00 Изобразительные и прикладные виды искусств (уровень 2)
—	(27 специальностей, в том числе: 072200.04 Реставратор памятников каменного и деревянного зодчества, 072500.01 Исполнитель художественно-оформительских работ)	(27 специальностей, в том числе: 54.01.20 Графический дизайнер, 54.02.01 Дизайн (по отраслям), 54.02.06 Изобразительное искусство и черчение)	(27 специальностей, в том числе: 072200.02 Реставратор строительный)
—	35.00.00 Сельское хозяйство и сельскохозяйственные науки (уровень 2)	09.00.00 Информатика и вычислительная техника (уровень 2)	35.00.00 Сельское хозяйство и сельскохозяйственные науки (уровень 2)
—	35.03.10 Ландшафтная архитектура	09.02.04 Информационные системы (по отраслям)	35.02.12 Садово-парковое и ландшафтное строительство

А единственная специальность «Информационные системы обеспечения градостроительной деятельности», существующая только на уровне СПО в рамках укрупненной группы «Прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия», после 2022 г. утрачена (табл. 6).

В настоящее время в ОКСО по уровням подготовки: 2 — среднее профессиональное образование, 3 — бакалавриат, 4 — магистратура, 5 — специалитет, 6 — аспирантура, специальности в сфере градостроительной деятельности, в терминологии ГК РФ, в основном представлены по выделенным авторами направлениям «Архитектура», «Градостроительство», «Строительство» (табл. 6).

Уровень общего образования (школа) может быть представлен в дополнительных общеобразовательных программах (рис. 1) в сфере градостроительной деятельности по набору необходимых междисциплинарных знаний или знаний одной из специальностей образования и в данной статье не приводится.

По рассматриваемой теме проработаны публикации [4–26], в том числе: Н.Н. Жеблиенко [15, 16], К.В. Кияненко [17–19], А.В. Крашенинников [20–22], Н.Ф. Метленков [23], Ю.М. Моисеев [24], М.В. Шубенков [25, 26] и других авторов [27–29], а также Сборники научных трудов РААСН за 2017–2022 гг.¹³. Для достижения единого понимания научных проблем, задач управления

территориально-пространственной организацией и архитектурно-планировочным формированием устойчивого развития территории (включая все виды градостроительных трансформаций¹⁴ как отдельных объектов, так и различных градостроительных типов территории [30]) и формирования профессионального интеллекта у членов профессионального сообщества учтены идеи и обобщенный опыт в области совершенствования образования и содержательных положений в сфере архитектуры, градостроительства, городской среды (когнитивной урбанистики [21]) и в целом архитектурно-строительного комплекса.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате осуществления научно-практического обзора и сравнительно-сопоставительного анализа нормативно-правовой документации сформулированы научно-практические тезисы и предложения.

Организация образовательного процесса по направлениям «Градостроительство», «Архитектура»,

¹³ Сборники научных трудов РААСН // Российская академия архитектуры и строительных наук. 2017–2022. М. : Издательство АСВ. URL: www.raasn.ru/publication/sborniki-nauchnykh-trudov-raasn

¹⁴ Виды градостроительных трансформаций: освоение новых территорий, включая комплексное создание новых зданий и сооружений; реновация (обновление с сохранением существующего функционала); ревитализация (обновление с изменением существующего функционала); регенерация (реконструкция, реставрация или воссоздание облика исторических или существующих материальных объектов и территорий); рекультивация нарушенных территорий, являющихся накопленным «экологическим ущербом» в предыдущие периоды хозяйственной деятельности.

«Строительство» направлена на обеспечение подготовки обучающихся в образовательных учреждениях, в том числе для аспирантов (докторантов), подготовки специалистов в учреждениях по повышению квалификации, профессиональной переподготовке кадров, а также будущих специалистов, которые еще учатся в школах, для решения гуманитарных и технических задач планирования территории и архитектурно-строительного проектирования зданий и сооружений.

В соответствии с российскими нормами всем физическим лицам, участвующим в этой профессиональной деятельности, а это градостроители-планировщики, проектировщики, управленцы, предстоит пройти процедуру на соответствие положениям профессиональных стандартов в центрах оценки квалификаций (ЦОК). При этом образовательный процесс подготовки как будущих участников профессиональной деятельности, так и уже работающих, должен объединять их на основе единого понимания:

- эволюции научных проблем, задач управления территориально-пространственной организацией в стране и ее регионах, архитектурно-планировочным формированием зданий и сооружений в поселениях;
- способствовать поступательному формированию профессионального интеллекта у членов профессионального сообщества, включающего также инвесторов, жителей поселений.

При этом следует учесть, что социальные проблемы развития территориальных объектов только обретают свое место в составляющих профессии градостроителя. Приведем слова из статьи Ю.М. Моисеева [14]: «планирование то обретало весьма значительное положение, то довольствовалось какой-то маргинальной ролью. Многие в планировании можно связать с позиционированием роли государства в экономике. При его доминировании в управлении социально-экономическими процессами система градостроительного планирования играла видную роль и обладала большей силой, нежели в условиях либеральных реформ и в смешанной экономике. В рыночной экономике градостроительство играет менее заметную роль в управлении городскими изменениями. Эти тренды прослеживались повсеместно, а система градостроительного планирования стремилась использовать момент, а не доминировать в частных интересах развития. Однако глобальные перемены, произошедшие в течение двух последних десятилетий¹⁵, диктуют новые условия и подталкивают систему градостроительства обрести более властную позицию и не позволять рынку манипулировать процессом городских перемен. В политических устремлениях усилить баланс в пользу планировщика, эффекты пока не столь заметны, если не сказать просто — невелики».

¹⁵ Десятилетий (уточнение авторов статьи).

В результате был сформирован единый методологический подход к профессиональному образованию, обеспечивающий системную взаимосвязь направления «Градостроительство» с направлениями «Архитектура» и «Строительство», разработанный на базе Модели структурной организации компонентов и типов территориально-пространственных объектов, системы управления организацией и координацией взаимосвязанных позиций профессиональной деятельности и методологии оценки и учета условий, особенностей, специфики взаимосвязи компонентов и типов территориально-пространственных объектов (I, II, III, IV) (далее — Модель и методология структурной организации компонентов и типов объектов или кратко — Модель¹⁶, автор Ю.В. Алексеев [31]).

В общем виде Модель представлена как четыре подсистемы физической совокупности компонентов и типов территориально-пространственных объектов (I, II, III, IV). Объект (I) — пространство «замкнутого» построения (здания и сооружения); объект (II) — пространство «открытого» построения (территории поселений в уровне поверхности Земли); объект (III) — природный комплекс биосферы Земли; объект (IV) — пространство «полуоткрытого» построения (надземные территории). Модель представляет взаимосвязи и наполнение внутри всех типов территориально-пространственных объектов застройки поселения.

Модель содержит детализацию всех составляющих, которые представлены на отдельных фрагментах модели для каждого объекта (I, II, III, IV) и типов его компонента (рис. 2). Также Модель включает варианты сочетаний компонентов и типов территориально-пространственных объектов и системы ограничений для конкретных компонентов и типов.

Такая Модель породила особую методологическую комплексную оценку функционально-технологических, физико-технических, технических, эстетических, экологических «качеств» и экономических показателей, а также учет условий и особенностей, специфики взаимосвязи компонентов и типов территориально-пространственных объектов.

В целях организации и координации профессиональной деятельности Модель позволяет систематизировать критерии в виде компонентов и типов территориально-пространственных объектов, их частных функций и функциональных процессов, требований к объемно-планировочным решениям

¹⁶ Описание Модели кратко изложено в статье Н.А. Самойловой «Градостроительный “скелет” территории. Модель структурной организации компонентов и типов территориально-пространственных объектов поселений как своеобразный “скелет” (опорный каркас) или научная основа, только не “человека”, а территории» // ACADEMIA. Архитектура и строительство. 2022. № 3. С. 142–144. DOI: 10.22337/2077-9038-2022-3-142-144

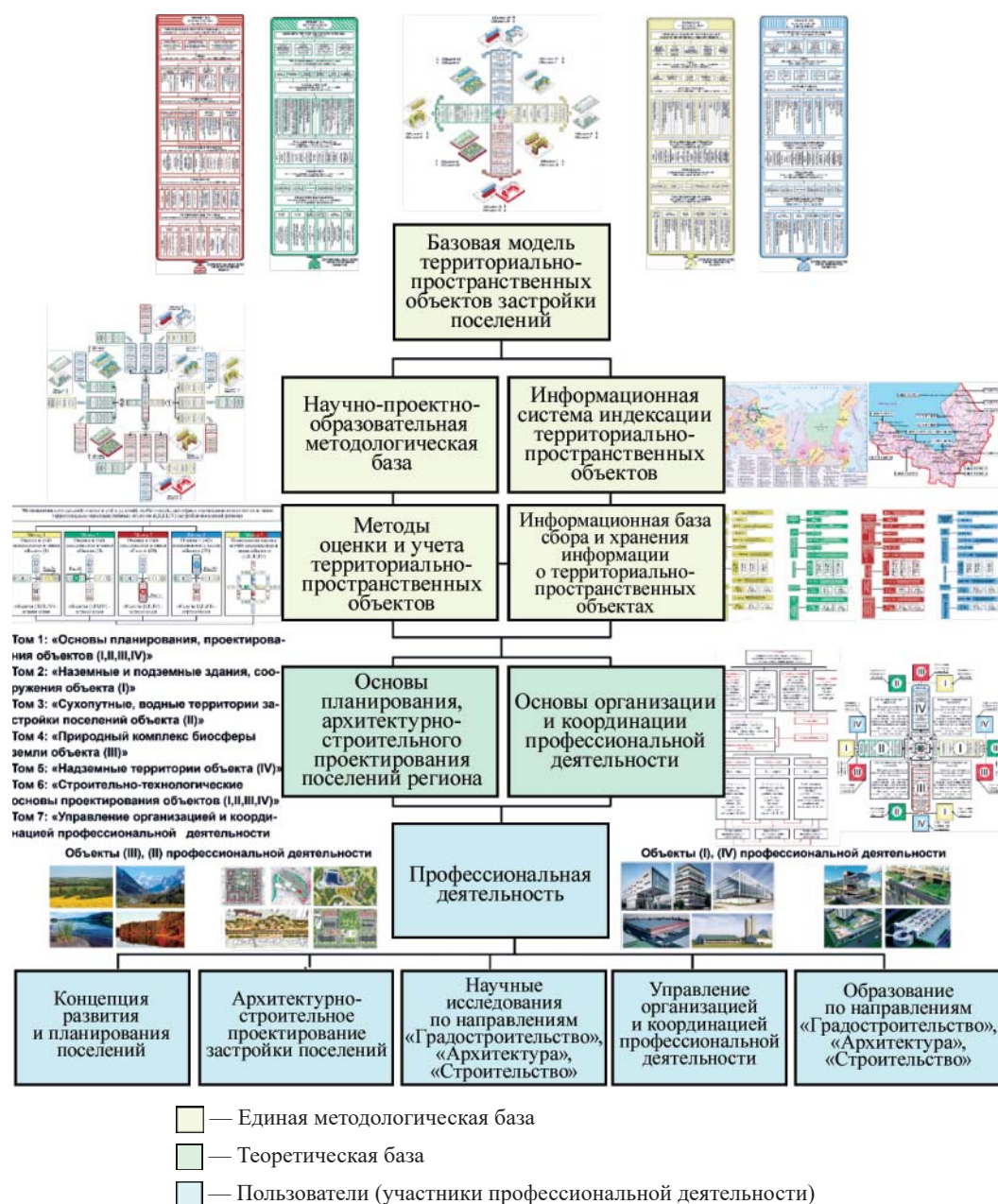


Рис. 2. Единая система обеспечения взаимосвязи способа мышления и комплекса действий всех участников профессиональной деятельности на основе Модели

типов компонентов объекта и их планировочным факторам, а также устанавливать системы ограничений для конкретных компонентов и типов территориально-пространственных объектов в уровне поверхности биосферы Земли, наземных и подземных зданий и сооружений, надземной территории, природного комплекса биосферы Земли.

Задачи динамично меняющейся системы профессионального образования связаны с развитием у будущих и действующих участников профессиональной деятельности способности обосновать и разработать социально экономически значимые, экологически ответственные планировочные и архитектурно-строительные решения компонентов территориально-пространственных объектов

застройки. Это задачи, направленные на формирование профессионального интеллекта.

С учетом изложенного, представляется, что системное совершенствование направлений «Градостроительство», «Архитектура», «Строительство» в профессиональном образовании (как по горизонтали, так и по вертикали МСКО), может быть построено на основе единой системы обеспечения взаимосвязи способа мышления и комплекса действий всех участников профессиональной деятельности, подготовленной на основе Модели (рис. 2).

Единая методологическая база на рис. 2 (выделено серым цветом) включает: научно-проектно образовательную методологическую базу, методы оценки и учета территориально-пространственных

объектов, информационную систему индексации территориально-пространственных объектов и информационную базу сбора и хранения информации о территориально-пространственных объектах [31].

Единая методологическая база опирается на: основы планирования архитектурно-строительного проектирования поселений региона и основы организации и координации профессиональной деятельности [31] (на рис. 2 выделено голубым цветом).

Профессиональная деятельность охватывает весь спектр ее участников: градостроители, архитекторы, строители, преподаватели учреждений различных уровней профессионального образования, руководители и специалисты различных уровней власти, принимающие решения по градостроительной трансформации на территории (такие пользователи по крупным блокам представлены на рис. 2: 1-й блок — концепции развития и планирования поселений; 2-й блок — архитектурно-строительное проектирование застройки поселений; 3-й блок — научные исследования по направлениям «Градостроительство», «Архитектура», «Строительство»; 4-й блок — управление организацией и координацией профессиональной деятельности; 5-й блок — образование по направлениям «Градостроительство», «Архитектура», «Строительство»).

При такой организационно-методической системе образования будет обеспечено:

- для градостроителей (планировщиков) понимание архитектурных и технических (строительных) особенностей, специфики формирования объемно-планировочных решений зданий, сооружений и комплексов; умение осмыслить их функционально и эстетически при планировании и проектировании таких компонентов объекта (II — территории поселений в уровне поверхности Земли), как транспортная система, оборудование и сети, благоустройство и озеленение и другие, на территориях с новой и сложившейся застройкой в поселениях и регионах;

- для архитекторов понимание задач планирования и проектирования нового поселения в конкретном регионе или градостроительной трансформации территории в конкретном поселении или регионе, строительных особенностей и специфики формирования их территорий; конструктивных решений, оборудования и сетей зданий и сооружений, умение осмыслить и перевести их в композиционно-художественную форму;

- для строителей умение решать технические задачи в области планирования и проектирования различных зданий и сооружений в конкретных поселениях и регионах по конкретным требованиям архитектуры, уметь поддерживать, обосновать и обеспечить реализацию результатов планирования и проектирования среды жизнедеятельности и архитектурной идеи в натуре.

Важно осознавать, что градостроителями (планировщиками), архитекторами, строителями ре-

шается широкий круг взаимосвязанных задач при планировании, архитектурно-строительном проектировании, строительстве поселений и регионов, соответствующих условиям, особенностям и специфике управления их территориально-пространственным и архитектурно-планировочным формированием. Такая взаимосвязь требует специальной организации образовательного процесса, основанного на системном учете взаимовлияния территориально-пространственных объектов согласно Модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представляется, что для органов публичной власти выгодно выстроить необходимую на современном этапе развития государства систему поддержки принятия и регулирования градостроительных решений (в том числе актуального и достоверного мониторинга с использованием информационно-коммуникационных технологий, пространственного многомерного анализа междисциплинарных данных, в том числе с применением современных цифровых технологий, включая искусственный интеллект).

Модель охватывает научно-исследовательскую деятельность, необходимую как для подготовки материалов по обоснованию градостроительных документов, так и совершенствованию нормативов градостроительного проектирования и градостроительных регламентов, отражающих междисциплинарный характер градостроительного направления образования.

Важным аспектом такой системы является совершенствование профессионального образования в сфере градостроительной деятельности с учетом необходимости обеспечения различными специалистами для строительства, капитального ремонта, реконструкции, в том числе инженерного оборудования зданий, сооружений и территорий, сноса объектов капитального строительства, эксплуатации зданий, сооружений, комплексного развития территорий и их благоустройства, в том числе озеленения, на основе градостроительных документов для гражданского, производственного, сельскохозяйственного, транспортного и иного специального назначения в составе различных градостроительных типов территории, в том числе элементов планировочной структуры (район, микрорайон, квартал, ТПУ, улично-дорожная сеть и др.) на территории страны, субъектов РФ, муниципальных образований.

«Градостроительство» как образовательное направление подготовки кадров в системе градостроительной деятельности должно занять координирующую роль на основе междисциплинарных взаимосвязей всех типов территориально-пространственных объектов в Модели на базе современных сквозных технологий. Такое предположение находит подтверждение в исследованиях Н.Н. Же-

блиенок, которая констатирует с учетом анализа отечественного «образовательного направления градостроительства» в мировом контексте, что отдельная профессия «градостроитель», фокус деятельности которой — «проект» (обеспечение документальной базы для пространственных инициатив государства, бизнеса, инвестиционных проектов) [16], в таком виде в мировой практике постепенно исчезает.

Таким образом, система поддержки принятия градостроительных решений на научной основе должна опираться на профессиональное образование и введение новых знаний с использованием всеми участниками профессиональной деятельности (субъектами градостроительных отношений по ГК РФ).

Создание условий в образовательном процессе в части системы управления координацией и организацией взаимосвязанных позиций профессиональной деятельности требует:

- новой системы координации и организации учебно-научно-методической деятельности кафедр высших образовательных учреждений. Например, НИУ МГСУ с 2015 г. участвует в образовательном проекте «Инженерный класс в московской школе» (около 150 школ), с 2020 г. кафедра градостроительства НИУ МГСУ работает во взаимодействии с Институтом Генплана Москвы¹⁷, а с 2023 г. в НИУ МГСУ образована корпоративная кафедра Минстроя России¹⁸;

- корректировки существующих и написания новых учебных планов, рабочих программ, учебников и пособий, соответствующих методологии оценки и учета условий, особенностей, специфики взаимосвязи компонентов и типов территориально-пространственных объектов Модели застройки поселений и регионов и принципов осуществления их анализа и синтеза, влияющих на управление территориально-пространственной организацией и архитектурно-планировочным формированием поселений и регионов, с учетом современных информационно-коммуникационных технологий. Такие учебники и пособия должны включать электронные библиотечные базы (такие базы имеются в НИУ МГСУ), интернет-технологии, включая видеоуроки и их записи, интерактивные доски для совместной работы над проектами (в НИУ МГСУ успешно функционирует единый образовательный портал «Строительство +», многие аудитории оборудованы интерактивными досками для проведения

занятий с выходом в интернет и оснащены лицензируемыми профессиональными программами);

- в организационных мероприятиях для участия в системе профессиональной деятельности — научных исследованиях, планировании и проектировании, разработке и совершенствовании научно-методической и нормативно-технической документации особое место занимает координирующий орган, осуществляющий государственное регулирование в части соответствия полученного образования и подтверждения уровня знаний и умений необходимым трудовым действиям, которые участники профессиональной деятельности уже осуществляют (т.е. уже работают). Такое подтверждение проводится в ЦОК, например в ЦНИИП Минстроя России.

Для будущих участников профессиональной деятельности (только планирующих осуществлять профессиональную деятельность) в части ВО с 2021 г. на базе НИУ МГСУ создан консорциум вузов, включающий все ведущие архитектурно-строительные вузы Москвы, Казани, Нижнего Новгорода, Новосибирска, Пензы, Санкт-Петербурга, Томска, выпускающих специалистов по направлениям «Градостроительство», «Архитектура», «Строительство». Такой консорциум создан для формирования национальной системы развития строительного профессионального образования, строительной науки, научно-технологического развития строительной отрасли, с участием профессионального сообщества, отраслевой науки, бизнес-структур, иных организаций. Особенности консорциума являются наличие в числе учредителей профильной государственной академии наук (Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН)), а также отраслевых (Национальное объединение строителей (НОСТРОЙ), Национальное объединение изыскателей и проектировщиков (НОПРИЗ)) и межотраслевого (Российский союз строителей (ОМОР «РСС»)) объединений работодателей. Консорциум взаимодействует с Минстроем России и Общественным советом при министерстве.

Проведенные исследования позволили установить, что создание, развитие градорегулирования (регулирования градостроительной деятельности по ГК РФ) могут проводиться на базе модели структурной организации компонентов и типов территориально-пространственных объектов (Модель) и принципов осуществления анализа и синтеза их особенностей и специфики формирования в застройке поселений и регионов.

При таком подходе достигается комплексность, системность подготовки от школьников (будущих студентов или просто грамотных пользователей в пространственной среде жизнедеятельности), обучающихся по средним и высшим профессиональным образовательным программам (в том числе послевузовских: аспирантов, докторантов), до работающих специалистов, обеспечивающих в профессиональ-

¹⁷ В 2022 г. в структуре институтов НИУ МГСУ образована самостоятельная базовая кафедра «Градостроительство».

¹⁸ В мае 2022 г. заместитель министра строительства и ЖКХ С. Музыченко озвучил решение о создании корпоративной кафедры Минстроя России в МГСУ. URL: <https://mgsu.ru/news/Universitet/MinstroyRossiipianiruetsozdatkorporativnuyukafedruvNIUMGSU/>

ной деятельности единое понимание планировочных, архитектурных, строительных и научно-исследовательских задач при выполнении требований к формированию компонентов и типов территориально-пространственных объектов застройки поселений и регионов, и учете соответствующих им планировочных факторов: не формализуемых (художественно-композиционных) и формализуемых (функционально-технологических, физико-технических, технических, экономических и др.).

Подготовленные на научной основе Модели градостроители, наряду с архитекторами и строителями, будут способны профессионально и системно учесть планировочные требования и факторы, свойственные объемно-пространственным, объемно-планировочным, территориально-пространствен-

ным решениям компонентов объектов, так как такие требования и факторы неотъемлемы от учета в организационно-методической системе образования характерных, взаимосвязанных условий, особенностей, специфики профессиональной деятельности (планировочной, проектной, научно-исследовательской, управленческой, инвестиционной).

Поэтому для системной взаимосвязи в образовании направлений «Градостроительство», «Архитектура», «Строительство», соответствующей условиям, особенностям, специфике профессиональной деятельности ее участников, организуемой на едином методологическом подходе, необходимо дифференцированное отношение к системе знаний, получаемых в довузовской, вузовской и послевузовской подготовке на основе представленной Модели.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Самойлова Н.А., Жирков О.А., Белкин С.В. Внедрение технологий стратегического техно-театра для коммуницирования участников градостроительной деятельности // Государственное управление и развитие России: глобальные тренды и национальные перспективы : сб. ст. междунар. конференции. 2023. С. 687–694. EDN VHQMJC.
2. Драчук М.А. Роль профессиональных стандартов в построении современной нормативной модели рынка труда // Трудовое право в России и за рубежом. 2016. № 3. С. 50–53. EDN WMSFCZ.
3. Ракитов А.И. Высшее образование и искусственный интеллект: эйфория и алармизм // Высшее образование в России. 2018. Т. 27. № 6. С. 41–49.
4. Кияненко К.В. Инфраструктура научного знания // Жилищное строительство. 2004. № 9. С. 2–3. EDN JXNVMV.
5. Ахмедова Е.А. Архитектурно-градо-строительное образование в ведущих зарубежных школах: тенденции и направления адаптационного опыта в Российской высшей школе // Фундаментальные исследования. 2007. № 7. С. 92–95.
6. Кияненко К.В. Предметное поле проектной деятельности и архитектурное образование // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 2. С. 15–20. EDN KZUBRL.
7. Тугарская П.М., Метленков Н.Ф. Проблемы российского архитектурного образования XXI века // Творчество и современность. 2017. № 2 (3). С. 50–53. EDN ZRPIBN.
8. Норенков С.В., Крашенинникова Е.С., Крашенинников А.В. Архитектор мыслит «кирпичным стилем», а производитель кирпича — кубатурой: о смягчении рисков взаимонепонимания // Строительные материалы. 2019. № 12. С. 13–17. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-777-12-13-17. EDN ECHVOY.
9. Перькова М.В., Алексеев Ю.В., Ахмедова Е.А., Метленков Н.Ф., Шубенков М.В. Архитектурное образование и вызовы современности // Архитектура и строительство России. 2020. № 2 (234). С. 6–13. EDN NIAUNA.
10. Посохин М.М. Формирование квалификации специалиста как основа цифровизации строительной отрасли // Вестник НОПРИЗ. 2021. № 5. С. 8–11.
11. Швидковский Д.О., Есаулов Г.В. Архитектурное образование и вызовы современности // Вестник НОПРИЗ. 2021. № 5. С. 13–15.
12. Ахмедова Е.А. Трансформация образования в цифровую эпоху: анализ возможностей // Интеллектуальные ресурсы — региональному развитию. 2021. № 2. С. 255–261. EDN ANZKWL.
13. Метленков Н.Ф. Архитектурная образованность // Архитектура и строительство России. 2022. № 1 (241). С. 2–3. EDN GLZEBM.
14. Моисеев Ю.М., Сеницына И.А. Инновации в постижении пространственной грамоты градостроительства // Города будущего: пространственное развитие, соучаствующее управление и творческие индустрии. 2021. С. 113–136. EDN WVMKIZ.
15. Жеблиенок Н.Н. Экосистемы градостроительства в постсоциалистическом контексте. Часть 1. Бывшие советские республики: между «архитектурой» и «планировкой» // Academia. Архитектура и строительство. 2021. № 3. С. 79–88. DOI: 10.22337/2077-9038-2021-3-79-88. EDN UJERZL.
16. Жеблиенок Н.Н. Экосистемы градостроительства в постсоциалистическом контексте. Часть 2. «Отставание», становящееся «лидерством» // Academia. Архитектура и строительство. 2021. № 4. С. 80–85. DOI: 10.22337/2077-9038-2021-4-80-85. EDN EFCIDQ.

17. Кияненко К.В. «Средовизация» архитектуры: истоки в феноменологическом видении // Архитектура и строительство России. 2021. № 4 (240). С. 94–99. EDN PSJLTX.
18. Кияненко К.В. Общество, среда, архитектура: социальные основы архитектурного формирования жилой среды : учеб. пос. Вологда : ВоГУ, 2015. 284 с.
19. Кияненко К.В. Рецензия на монографию Крашенинникова Алексея Валентиновича «Когнитивная урбанистика: архетипы и прототипы городской среды» // Архитектура и современные информационные технологии. 2021. № 1 (54). С. 15–20. DOI: 10.24412/1998-4839-2021-1-15-20. EDN UFQYIX.
20. Krasheninnikov A.V., Lebedev A.A., Ivanova A.A. Public spaces of small historical towns // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 740. Issue 1. P. 012004. DOI: 10.1088/1755-1315/740/1/012004
21. Крашенинников А.В. Когнитивная урбанистика: архетипы и прототипы городской среды. М. : КУРС, 2020. 208 с. EDN PKMGSH.
22. Крашенинников А.В. Градостроительные модели сверхмалых поселений // Проблемы современной урбанизации: преемственность и новации : сб. тр. Междунар. конф. 2022. С. 254–259. EDN YRLWMC.
23. Метленков Н.Ф. Парадигмальная динамика архитектурного метода. М. : Архитектура и строительство России, 2018. 428 с.
24. Моисеев Ю.М., Зиятдинов Т.З. Агломерации крупных городов: динамика периферии // Проблемы современной урбанизации: преемственность и новации : сб. тр. Междунар. конф. 2022. С. 78–85. EDN BYAALC.
25. Шубенков М.В., Шубенкова М.Ю. Поиск сбалансированного взаимодействия урбанизированных и природных территорий: концепция урбобио-ценозного зонирования // Архитектура и современные информационные технологии. 2021. № 4 (57). С. 296–312. DOI: 10.24412/1998-4839-2021-4-296-312. EDN AGMOAU.
26. Шубенков М.В. Ресурсные взаимосвязи градостроительных систем и внешних природных территорий // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году : сб. науч. тр. РААСН : в 2 т. Т. 1. 2021. С. 431–439. EDN HWKKRM.
27. Чэнь У., Мамаев И.И., Молоткова Н.В., Монастырев П.В. Проектирование образовательных программ архитектурных вузов Китая // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2015. Т. 20. № 12 (152). С. 13–18. DOI: 10.20310/1810-0201-2015-20-12(152)-13-18. EDN VHLSQV.
28. Энгель Б., Козлов В.В. Градостроительное образование в эпоху перемен // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 4 (19). С. 190–201. EDN XEDYTB.
29. Проблемы современной урбанизации: преемственность и новации : сб. тр. Междунар. конф. М. : Географический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, 2022. 291 с. EDN PAAIXN.
30. Самойлова Н.А. России нужна система градостроительных типов территории (территориальных объектов)? // Градостроительство. 2019. № 3 (61). С. 42–52. EDN RKEDOT.
31. Алексеев Ю.В. Основы планирования, проектирования поселений региона и организации и координации профессиональной деятельности : монография. М. : Изд-во АСВ, 2022. 295 с.

Поступила в редакцию 31 июля 2023 г.

Принята в доработанном виде 13 сентября 2023 г.

Одобрена для публикации 13 сентября 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Надежда Александровна Самойлова — кандидат технических наук, доцент кафедры градостроительства; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; старший научный сотрудник; Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (ЦНИИП Минстроя России); 119331, г. Москва, пр-т Вернадского, д. 29; РИНЦ ID: 214212, Scopus: 57202819286, ORCID: 0000-0001-8395-7358, ResearcherID: J-6606-2016, IstiniaResearcherID: 92608258; SamoylovaNA@mgsu.ru;

Юрий Владимирович Алексеев — доктор архитектуры, профессор кафедры градостроительства; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 690296, Scopus: 57202819657, ResearcherID: AFR-3481-2022, ORCID: 0000-0002-9095-3360; AlekseevYV@mgsu.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

After the collapse of the USSR, the independent Russian Federation is still in the process of establishing a new regulation:

1) participants of professional activity¹ in urban planning² (urban planners, architects, builders, teachers of institutions of various levels of professional education, managers and specialists of various levels of gov-

¹ The article uses terminology interpreted by Y.V. Alekseev, who together with V.N. Belousov and A.P. Kudryavtsev founded the scientific direction in the domestic urban planning.

Professional activity — activities organized and coordinated by management bodies in planning, architectural and construction design of settlements in the region, ensuring the formation of new settlements and changes in existing ones in the interests of each person and society, the participants of which are qualified in the main areas of professional education: “Town Planning”, “Architecture”, “Construction”.

Urban planning is the creation of material and spatial environment of people's life in the settlements of the region, in the process of which representatives of all branches of national economy participate.

Urban planning is a system of managed political, economic, financial, environmental, social, planning, construction, research and educational activities that ensure the creation of material and spatial living environment for people in the settlements of the region on the basis of collective experience accumulated in all sectors of the national economy.

Urban planning regulation — managing the formation of new and changing, primarily development and growth processes, settlements in the region.

² Urban planning (in English: Urban planning, Town planning, City planning, Regional planning, Rural planning) emerged as a profession in the first decades of the 20th century, mainly as a system of decision-making to address the emerging sanitary, social and economic conditions of rapidly growing industrial cities. Initially, the disciplines of architecture and civil engineering formed the core of the interested professionals involved in solving these problems. They were later joined by sanitary and epidemiological control specialists, economists, sociologists, lawyers and geographers to address the specific challenges of settlement management. Modern methods of planning urban transformations in the territory include surveys, analyses, design and implementation of developments based on the synthesis of interdisciplinary knowledge.

Modern urban planning is a technical and political process concerned with human well-being, control of land use, the design of living environments (including transport and communication networks), and the protection and conservation of natural resources (“What is Urban Planning”. School of Urban Planning, McGill University. Montréal (Québec) Canada. URL: <https://www.mcgill.ca/urbanplanning/planning>. Archived from the original on 8 January 2008, translation by N.A. Samoilova) with the note “Urban planning” the term used in Russia and understood by specialists in the territory of the post-Soviet socialist space also includes the term in English — Urban development, any physical expansion or change of land use in settlements and adjacent territories: division into zones with different regulations of use; construction, renovation, revitalization or regenera-

tion of buildings, roads, utilities and other facilities; changes in the natural environment; construction of new buildings, roads, utilities and other facilities; changes in the use of natural resources. (Solutions to Solving Urban Sprawl, Bizfluent Leaf Group Ltd. URL: <https://bizfluent.com/13657584/ways-to-reduce-urban-sprawl> Archived from the original on 19 January 2019 Date of access: 01.07.23, translation by N.A. Samoilova).

2) separate structural elements of the labour market: legal acts of forms of labour and employment (their essential features), on the legal qualification of personal labour in certain disputable cases of its use) [2];

3) professional education in the areas of “Urban Planning”, “Architecture”, “Construction” taking into account professional standards.

Here are a few facts for your information:

1. Urban planning science at the intersection of technical and socio-humanitarian sciences, with the Higher Attestation Commission of Russia awarding academic degrees in the branches of science: architecture and technical sciences in the scientific specialty “Urban planning, planning of rural settlements” (code 2.1.13.): (Order of the Ministry of Education and Science of Russia from 24 February 2021 No. 118 “On approval of the nomenclature of scientific specialties in which academic degrees are awarded...”. (as amended on 30.03.2023)).

2. In the world since the beginning of the twentieth century in urbanism, there has been a significant division into three scientific branches: aesthetic (emphasis on the external form of the city, on variants of its compositional structure); technological (problems of urban infrastructure, including transport networks; issues of urban economy and development management, including development); social (problems of social life of the city and citizens, including legal) (Glazychev V.L. *Political Economy of the City*. Moscow, Delo, 2009; 192).

3. In the early 1920s, a new field of urban planning activity emerged — spatial planning, or district planning (in English it is spatial planning, regional planning, except for general plans of settlements; in Soviet times — these were developed schemes of district planning of regions, areas and autonomous republics), abroad the first such planning project was developed by English architects L.P. Abercrombie and T. Johnson for a coal district in England.

4. In the USSR from 1917 to the 1990s — during the period of absence of free turnover of land plots and real estate market — the system of socialist urban planning operated as a concept of structural rather than economic content, which corresponds to the Western concept of “physical regional planning”.

5. As a system of knowledge in Russia, urban planning is a sub-branch of two branches of science: architecture and construction, and was formed in this form during the period of active construction of new cities in the 1930s and the official condemnation of urbanism (or rather, its two branches — technological and social) and the ban on sociology.

6. Urban planning, which took place in the 1930s in the USSR, gave way to the idea of urban planning, when the issues of urban infrastructure formation were subordinated to the departmental system of state planning, and the ideas about the needs of citizens were built on a normative model, based on ideological attitudes.

In the article by M.A. Drachuk, Candidate of Legal Sciences, Attorney-at-Law [2], in the journal “Labour Law in Russia and Abroad” states that “the state in any type of labour market formulated by it (administrative-planned, self-regulated or their mixed models) should at least implement:

- creating an education system that correlates with the labour market and employment system;
 - forming, regulating and ensuring the functioning of the system, structure and infrastructure of the labour market;
 - information support of labour market subjects”
- (from the authors of this article we would like to specify that for the participants of professional activity the state information system for urban planning activities of the Russian Federation (GISOGD) and the developing portal of spatial data of the Russian Federation, including the federal state information system of territorial planning of the Russian Federation (FGIS TP RF), are of particular importance within the framework of the system of support for urban planning decision-making, including with the use of.

In each of the above three, the role of professional education and introduction of new knowledge into use by all subjects of urban planning relations is important³, including individuals and legal entities that are consumers of the urban environment and co-participants in its urban transformation.

In accordance with the current Urban Planning Code of the Russian Federation (UPC), urban planning activities⁴, carried out in accordance with all types of documents established in the UPC, including urban planning standards and urban planning regulations, both through the preparation of established urban planning documents⁵ at the national, regional

and local levels, as well as directly: construction, capital repair, reconstruction, demolition of capital construction projects, operation of buildings, structures, integrated development of territories and their improvement; and through research activities, as well as communications of subjects of urban planning relations³, including the use of modern information and communication technologies in professional activities, which covers all three areas of “Urban planning”, “Architecture” and “Construction”, taking into account the established federal government educational standards (FSSES⁶) for training personnel⁷ of various qualifications according to training programs for scientific and pedagogical personnel in graduate school, specialty, higher education, secondary vocational education to meet the long-term needs of sectors of the economy and social sphere.

MATERIALS AND METHODS

The comparative analysis of normative-legal documentation, scientific and practical review of information on the topic of urban planning direction of education were carried out.

The International Standard Classification of Education (ISCED), as a tool for comparing education statistics, distinguishes two major types of coding by country and globally:

- horizontal: by level of education (Table 1);
- vertical: by field of education and training (Table 2).

However, in the last 30 years, despite the adoption of the Federal Law of 29.12.2012 No. 273-FZ “On Education in the Russian Federation”, the order of Rosstandart of 17.12.2013 No. 2255-st (in the edition of

³ The subjects of town-planning relations are the Russian Federation, subjects of the Russian Federation, municipalities, individuals and legal entities (clause 1 of article 5 of the Town-planning Code of the Russian Federation from 29.12.2004 No. 190-FZ (edition of 14.07.2022) — hereinafter referred to as the Civil Code of the Russian Federation).

⁴ Urban planning activities — activities for the development of territories, including cities and other settlements, carried out in the form of territorial planning, urban planning zoning, territory planning, architectural and construction design, construction, major repair, reconstruction, demolition of capital construction objects, operation of buildings, structures, integrated development of territories and their improvement (Clause 1, Article 1 of the Civil Code of the Russian Federation).

⁵ Territorial planning documents specified in Clause 2, Article 9 of the Civil Code of the Russian Federation and materials for their justification, as well as the norms of town-planning design established in Clause 3.1 of the Civil Code of the Russian Federation; documents of town-planning zoning (Clause 2, Article 30 RF Civil Code); documentation on territory planning (Art. 41 of the RF Civil Code); design documentation, working documentation in relation to capi-

tal construction objects and parts thereof under construction, reconstruction and engineering surveys for preparation of such design documentation, as well as the section of the design documentation during capital repair of a capital construction object in the established cases (Art. 48 of the RF Civil Code).

⁶ FSSES 2022 online. URL: <https://classinform.ru/fgos.html> (Accessed: 01.06.23)

⁷ From 2022, the “Professionalism” project will be implemented for secondary vocational education (Decree of the Government of the Russian Federation No. 387 of 16 March 2022 “On conducting an experiment to develop, test and implement a new educational technology for designing educational programmes of secondary vocational education within the framework of the federal project «Professionalism»”), and from 2023 for higher education — implementation of a pilot project (Decree of the President of the Russian Federation No. 343 of 12.05.2023 “On some issues of improving the system of higher education”), and from 2023 for higher education — implementation of a pilot project (Decree of the President of the Russian Federation No. 343 of 12.05.2023 “On some issues of improving the system of higher education”).

23.06.2020) on the approval of “OK 017–2013. All-Russian Classifier of Specialties of Higher Scientific Qualifications”, the order of the Ministry of Labour of Russia from 12.04.2013 No. 147n “On Approval of the Layout of Professional Standard” for any labour market, differentiated including by different forms of ownership, “a special place in the mechanism of any type takes systematization and regulation of the main branches of economic activity” [2].

Earlier in the times of the USSR were formed and normatively regulated branches of national economy (All-Union Classifier “Industries of National Economy” (approved by the USSR Goskomstat, Gosplan of the USSR, Gosstandart of the USSR 01.01.1976), including “Construction” code 60000.

In modern Russia technological processes in accordance with the updated codes established in the Russian Classifier of Economic Activities 029–2014 (KDES Ed.2) “Construction” and “Professional, Scientific and Technical Activities” (Table 3) are also impossible as before in isolation from the use of human labour, despite the rapidly developing information and “end-to-end” digital technologies, including artificial intelligence [3].

Table 1. International Standard Classification of Education (ISCED) by Level of Education

Level	ISCED–2011
0	Pre-school education (01 Pre-school educational development)
	Pre-school education (02 Pre-school education)
1	Primary education
2	Incomplete secondary education
3	Higher secondary education
4	Post-secondary non-trivial education
5	Short-cycle tertiary education
6	Bachelor’s degree or equivalent
7	Master’s degree or equivalent
8	Doctoral degree or equivalent

Economic activity takes place when resources (equipment, labour, technology, raw materials, materials, energy, information resources) are combined into a production process with the aim of producing products (providing services).

Typical job descriptions, familiar from the USSR, are replaced in professional standards by the concepts of “labour actions” (“i.e., the beginnings of independent, creative activity and personal responsibility of an employee are laid down” [2]), and the “necessary skills” and “necessary knowledge” enshrined in professional standards are a direct link to educational standards, including the standards of additional general education programmes and additional professional programmes (Fig. 1).

Table 2. ISCED 2011 codes and names of fields and groups of educational programmes (fragment for urban planning)

Wide areas	Narrow areas	Detailed areas
07 Mechanical engineering, production and construction	073 Architecture and Construction	0731 Architecture and urban planning
		0732 Building (construction) and civil engineering
		0738 Interdisciplinary programmes and qualifications involving architecture and construction

Table 3. Russian Classifier of Economic Activities 029–2014 (KDES Ed.2) (extract for sections F and M)

Code	Decipherment
	Section F Construction
41	Construction of buildings: 1) general construction of buildings of all types (it includes construction of new buildings, reconstruction, major repairs, current repairs and additional works, installation of prefabricated structures or structures on the site, and construction of temporary buildings); 2) construction of housing, administrative buildings, warehouses and other public and service buildings, farm buildings, etc.
	Section M Professional, scientific and technical Activities
71.1	Activities in the field of architecture, engineering surveys and provision of technical consultancy in these fields: 1) provision of architectural, engineering and technical services, drawing development services, construction surveying services, cartography services, etc.; 2) provision of construction project management, construction control and supervision services

Any typical technology is a typical function, which means that it is subject to a professional standard. The Labour Code of the Russian Federation (Article 195.3) stipulates that professional standards are mandatory for employers, and in the private sector of the economy they are applied by employers as a basis for determining requirements for the qualifications of employees, taking into account the specifics of the work functions performed by employees due to the technologies used and the production and labour organization adopted.

Currently there are 18 professional standards in the field of professional activity “Architecture, engineering, geodesy, topography and design” (code 10) approved by the Ministry of Labour of Russia (Table 4) and more than 100 professional standards in the field of “Construction and housing and communal services” (code 16).

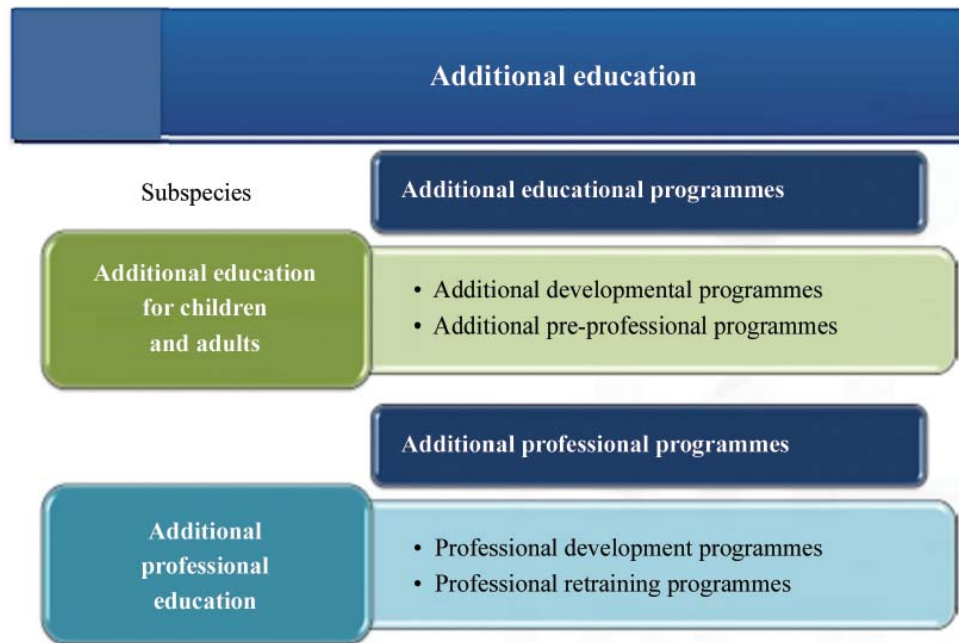


Fig. 1. Additional Education in the Russian Federation

In order to streamline certain types of economic activities (especially those subject to licensing and/or permit registration), such as “Town Planning”, “Architecture”, “Construction” (sections F and M — Russian Classification of Economic Activities 029–2014 and code 073 Architecture and Construction — ISCED–2011), it is necessary to ensure uniformity of the name of works for the purposes of description and search of vacancies, organization of employment, including young specialists, as well as substantive and content regulation of technology.

The Russian Classification of Professions by Education 009–2016 uses the list of enlarged groups established by the orders of the Ministry of Education and

Science of the Russian Federation No. 1061 of September 12, 2013 “On Approval of the Lists of Specialties and Training Areas of Higher Education” and No. 1199 of 29 October 2013 “On Approval of the Lists of Professions and Specialties of Secondary Vocational Education”.

At the same time in the field of education “Engineering, technology and technical sciences” (Table 5) among such enlarged groups as “Architecture”, “Engineering and technology of construction” (hereinafter briefly “Construction”), “Technospheric safety and environmental engineering”, “Informatics and computer science” and others, there is no enlarged group “Urban

Table 4. Register of Professional Standards in the Field of Professional Activity: 10. Architecture, Engineering, Geodesy, Topography and Design^{8, 9}

NOS code	Type of professional activity	Name of professional standard	Order of the Ministry of Labour of Russia		Date of implementation	Expiry date
			number	date		
3	5	6	7	8	11	12
10.006	Activities on the development of territories, including cities and other settlements, carried out in the form of territorial planning, town-planning zoning, territory planning	Town planner	27n	18.01.2023	01.09.2023	01.09.2029
10.010	Creation of landscape architecture objects	Landscape architect	48n	29.01.2019	10.03.2019	–

⁸ Profstandards. Ministry of Labour of Russia. URL: https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/?sort=PROPERTY_RANGE_PROFACT&order=asc&PAGEN_1=2&SIZEN_1=20

⁹ Examples of assessment tools. NOPRIZ Portal. URL: https://spk.nopriz.ru/spk/nezavisimaya-otsenka-kvalifikatsii/primery-otsenochnykh-sredstv/index.php?sphrase_id=290612

Continuation of the Table 4

NOS code	Type of professional activity	Name of professional standard	Order of the Ministry of Labour of Russia		Date of implementation	Expiry date
			number	date		
3	5	6	7	8	11	12
10.012	Carrying out activities to determine the cadastral value of real estate objects, information about which is included in the Unified State Real Estate Register	Specialist for determination of cadastral value	562n	02.09.2020	05.10.2020	–
10.013	Performance of geographical works and services	Geographer (Specialist in geographical works and services)	954n	24.12.2020	15.02.2021	–
10.016	Implementation of architectural and restoration activities in the field of preservation, use and popularisation of cultural heritage objects — monuments, ensembles and places of interest, historical and cultural environment of cities and settlements	Restoration architect	612n	31.08.2021	01.03.2022	01.03.2028
10.018	Implementation of aerial photographic and geodetic activities	Specialist in aerial photographic geodesy	169n	24.03.2022	01.09.2022	01.09.2028
10.019	Geodetic measurements on the Earth's surface, coordinate-time and navigation support of territories	Specialist in geodesy	168n	24.03.2022	01.09.2022	01.09.2028
10.020	Carrying out cartographic and geo-information activities	Specialist in cartography and geoinformatics	167n	24.03.2022	01.09.2022	01.09.2028
10.021	Calculation and design of concrete and reinforced concrete structures	Specialist in the field of calculation and design of concrete and reinforced concrete structures of buildings and structures	222n	19.04.2022	01.09.2022	01.09.2028
10.022	Calculation and design of wooden and metal-wooden structures	Specialist in calculation and design of wooden and metal-wooden structures	220n	19.04.2022	01.09.2022	01.09.2028
10.023	Calculation and design of structures made of polymer and composite materials	Specialist in calculation and design of structures from polymer and composite materials	221n	19.04.2022	01.09.2022	01.09.2028
10.024	Calculation and design of structures made of piece materials	Specialist in calculation and design of structures made of piece materials	230n	21.04.2022	01.09.2022	01.09.2028
10.025	Design of external water supply, water removal and sewerage networks	Specialist in the design of external water supply, water removal and sewerage networks	216n	18.04.2022	01.09.2022	01.09.2028
10.026	Development of environmental protection measures for the design of capital construction facilities	Specialist in the field of development of measures to protect the environment of capital construction facilities	219n	18.04.2022	01.09.2022	01.09.2028
10.027	Design of transport tunnels	Specialist in the field of transport tunnel design	218n	18.04.2022	01.09.2022	01.09.2028
10.028	Design of architectural environment	Architect-designer	538n	14.09.2022	01.03.2023	01.03.2029
10.029	Engineering-geological surveys in urban planning activities	Specialist in the field of engineering-geological surveys for urban planning activities	615n	04.10.2022	01.03.2023	01.03.2029

End of Table 4

NOS code	Type of professional activity	Name of professional standard	Order of the Ministry of Labour of Russia		Date of implementation	Expiry date
			number	date		
3	5	6	7	8	11	12
10.030	Engineering-hydrometeorological surveys in urban planning activities	Specialist in the field of engineering-hydrometeorological surveys for urban planning activities	614n	04.10.2022	01.03.2023	01.03.2029
10.031	Design of fire alarm systems, notification and control of evacuation of people in case of fire, smoke protection, fire extinguishing, fire water supply of capital construction facilities	Specialist in designing fire protection systems for capital construction facilities	181n	20.03.2023	01.09.2023	01.09.2029

planning”, it is referred to the enlarged group “Architecture” as a separate specialty).

The field of education “Mathematical and Natural Sciences” to the enlarged group “Earth Sciences” includes the specialty “Cartography and Geoinformatics”, the field of education “Social Sciences” to the enlarged group “Economics and Management” includes

the specialty “Housing and Communal Infrastructure”, the field of education “Art and culture” to the enlarged group “Art Studies” includes the specialty “Socio-cultural activity (by types)”, which as well as many others related to urban planning activity are represented in different enlarged groups and their codes are not inter-related.

Table 5. Enlarged Groups for the Education Field “Engineering, Technology and Technical Sciences”

Code	List of consolidated groups
07	Architecture
08	Construction techniques and technologies
09	Informatics and computer science
10	Information security
11	Electronics, radio engineering and communication systems
12	Photonics, instrumentation, optical and biotechnical systems and technologies
13	Electricity and heat power engineering
14	Nuclear energy and technology
15	Mechanical engineering
16	Physico-technical sciences and technologies
17	Weapons and weapon systems
18	Chemical Technologies
19	Industrial ecology and biotechnology
20	Technosphere safety and environmental engineering
21	Applied geology , mining, oil and gas engineering and geodesy
22	Material Technologies
23	Land transport engineering and technology
24	Aviation and rocket-space engineering
25	Aeronautical navigation and operation of aviation and rocket-space equipment
26	Shipbuilding and water transport engineering and technology
27	Control in technical systems
28	Nanotechnology and nanomaterials
29	Light industry technologies

Note: bold font indicates the enlarged groups in the specified field of education in the directions “Urban Planning”, “Architecture”, “Construction”.

Table 6. List of names of specialties and groups of specialties according to the educational standards of levels 2–6, 9 in “Architecture”, “Urban Planning”, and “Construction” as prescribed by the federal state¹⁰

Directions	Architecture	Urban planning	Construction
Assistant internships	07.00.00 Architecture (level 9) ¹¹		–
–	07.09.01 Architecture	07.09.04 Urban planning	–
–	07.09.02 Reconstruction and restoration of architectural heritage	–	–
–	07.09.03 Design of architectural environment	–	–
Postgraduate studies	07.00.00 Architecture (level 6)		08.00.00 Construction Engineering and Technology (Level 6)
–	07.06.01 Architecture		08.06.01 Techniques and technologies of construction
Specialization	–	–	08.00.00 Construction Engineering and Technology (Level 5)
–	–	–	08.05.01 construction of unique buildings and structures
–	–	–	08.05.02 Construction, operation, rehabilitation and technical coverage of highways, bridges and tunnels
<i>Higher education</i>			
Masters	07.00.00 Architecture (level 4)	07.00.00 Architecture (level 4)	08.00.00 Construction Engineering and Technology (Level 4)
–	07.04.01 Architecture	07.04.04 Urban planning	08.04.01 Construction
–	07.04.02 Reconstruction and restoration of architectural heritage	–	–
–	07.04.03 Design of architectural environment	–	–
–	35.00.00 Agriculture and Agricultural Sciences (level 4)	–	–
–	35.04.10 Landscape architecture	–	–
Bachelors	07.00.00 Architecture (level 3)	07.00.00 Architecture (level 3)	08.00.00 Construction Engineering and Technology (Level 3)
–	07.03.01 Architecture	07.03.04 Urban planning	08.03.01 Construction
–	07.03.02 Reconstruction and restoration of architectural heritage	–	–
–	07.03.03 Design of architectural environment	–	–
–	35.00.00 Agriculture and Agricultural Sciences (level 3)	–	–

¹⁰ Prepared by N.A. Samoylova and does not claim to be complete, but only gives a general idea of the identified imperfections in accounting for the necessary specialties in the field of urban planning, according to the terminology of the Civil Code of the Russian Federation, and the lack of a single enlarged group.

¹¹ For the specified specialties, organizations carrying out educational activities implement educational programmes until the completion of training of persons accepted for training before September 1, 2025 in accordance with the Order of the Ministry of Education and Science of Russia dated February 1, 2022 (as amended on August 29, 2022, effective date November 26, 2022).

End of Table 6

Directions	Architecture	Urban planning	Construction
–	35.03.10 Landscape architecture	–	–
Secondary vocational education	07.00.00 Architecture (level 2)	21.00.00 Applied Geology, Mining, Oil and Gas Engineering and Geodesy (level 2)	08.00.00 Construction Engineering and Technology (Level 2)
–	07.02.01 Architecture	21.02.06 Information systems of urban planning activity support ¹²	08.00.00 Techniques and technologies of construction (40 specialties, including: 08.02.01 Construction and exploitation of buildings and structures, 08.02.02 Construction and operation of engineering structures, 08.02.05 Construction and operation of motorways and aerodromes, 08.02.06 Construction and operation of urban transport routes, 08.02.10 Railway Construction, Track and Track Maintenance)
–	54.00.00 Fine and Applied Arts (level 2)	54.00.00 Fine and Applied Arts (level 2)	54.00.00 Fine and Applied Arts (level 2)
–	(27 specialties, including: 072200.04 Restorer of monuments of stone and wooden architecture, 072500.01 Performer of art and design works)	(27 specialties, including: 54.01.20 Graphic designer, 54.02.01 Design (by branches), 54.02.06 Fine arts and drawing)	(27 specialties, including: 072200.02 Construction restorer)
–	35.00.00 Agriculture and Agricultural Sciences (level 2)	09.00.00 Informatics and Computer Science (level 2)	35.00.00 Agriculture and Agricultural Sciences (level 2)
–	35.03.10 Landscape architecture	09.02.04 Information systems (by branches)	35.02.12 Gardening and landscape construction

And the only specialty “Information systems for urban planning” existing only at the level of secondary vocational education in the framework of the enlarged group “Applied geology, mining, oil and gas business and geodesy” after 2022 is lost altogether (Table 6).

Currently, in the OCSO by levels of training: 2 — secondary vocational education, 3 — bachelor’s degree, 4 — master’s degree, 5 — specialty, 6 — postgraduate studies, specialties in the field of urban planning, in

¹² Admission to training is terminated from December 31, 2022, and when an educational organization implements an educational programme for specialty February 21, 2019 in the conditions of the experiment on the development, testing and implementation of a new educational technology for the design of educational programmes of secondary vocational education within the framework of the federal project “Professionalism” — from August 1 2022 (Order of the Ministry of Education of the Russian Federation No. 339 of 18 May 2022 on the approval of the FSES of secondary vocational education in the specialty February 21, 2019 Land Management).

the terminology of the Civil Code of the Russian Federation, are mainly represented by the directions “Architecture”, “Urban planning”, “Construction” (Table 6).

The level of general education (school) can be represented in additional general education programmes (Fig. 1) in the field of urban planning by a set of necessary interdisciplinary knowledge or knowledge of one of the specialties of education and is not given in this article.

Publications [4–26] have been worked out on the topic under consideration, including: N.N. Zheblinok [15, 16], K.V. Kiyanenko [17–19], A.V. Krasheinnikov [20–22], N.F. Metlenkov [23], Y.M. Moiseev [24], M.V. Shubenkov [25, 26] and others [27–29], as well as Collections of scientific works of RAASN for 2017–2022¹³, to achieve a common understanding of

¹³ Collections of scientific works of RAASN. *Russian Academy of Architecture and Construction Sciences*. 2017–2022, Moscow, ASV Publishing House. URL: www.raasn.ru/publication/sborniki-nauchnykh-trudov-raasn

scientific problems, tasks of management of territorial-spatial organization and architectural-planning formation of sustainable development of the territory (including all types of urban development transformations¹⁴ of both individual objects and different urban types of the territory [30]) and the formation of professional intelligence among members of the professional community; ideas and generalized experience in the field of development of the territory are taken into account.

RESULTS OF THE RESEARCH

As a result of scientific and practical review and comparative analysis of regulatory and legal documentation, scientific and practical theses and proposals were formulated.

The organization of the educational process in the directions of “Town Planning”, “Architecture”, “Construction” is aimed at providing training for students in educational institutions, including postgraduate (doctoral) students, training of specialists in institutions for advanced training, professional retraining, as well as future specialists who are still in school, to solve humanitarian and technical problems of territory planning and architectural and construction design of buildings and structures.

In accordance with Russian norms, all individuals involved in this professional activity, such as urban planners, designers and managers, will have to undergo a procedure for compliance with the provisions of professional standards in qualification assessment centres (QAC). At the same time, the educational process of training both future participants of professional activity and those already working should unite them on the basis of a common understanding:

- evolution of scientific problems, tasks of management of territorial and spatial organization in the country and its regions, architectural and planning formation of buildings and structures in settlements;
- promote the progressive formation of professional intelligence among members of the professional community, including investors and residents of settlements.

At the same time, it should be taken into account that social problems of territorial objects development are only acquiring their place in the components of the urban planner's profession. Let us cite the words from the article by Y.M. Moiseyev [14]: “planning has been gaining a very significant position or settling for some marginal role. Much in planning can be asso-

ciated with the positioning of the role of the state in the economy. Under its dominance in the management of socio-economic processes, the system of urban planning played a prominent role and had more power than in the conditions of liberal reforms and in a mixed economy. In a market economy, urban planning plays a less prominent role in the management of urban change. These trends were evident everywhere, and the urban planning system sought to capitalize on the moment rather than dominate private development interests. However, the global changes that have taken place over the last two decades¹⁵ dictate new conditions and push the urban planning system to take a more powerful position and not allow the market to manipulate the process of urban change. In political aspirations to strengthen the balance in favour of the planner, the effects are not so noticeable, if not simply insignificant”.

As a result, unified methodological approach to professional education was formed, providing a systemic relationship between the direction “Urban Planning” and the directions “Architecture” and “Construction”, developed on the basis of the Model of structural organization of components and types of territorial-spatial objects, the management system of organization and coordination of interrelated positions of professional activity and the methodology of assessment and consideration of conditions, features, specifics of interrelation of components and types of territorial-spatial objects (I, II, III, IV) (hereinafter referred to as the Model and Methodology of Structural Organization of Components and Object Types or Model¹⁶ for short). author Y.V. Alekseev [31]).

In a “general” form, the Model is represented as four subsystems of the physical totality of components and types of territorial-spatial objects (I, II, III, IV). Object (I) — space of “closed” construction (buildings and structures); object (II) — space of “open” construction (territories of settlements at the level of the Earth's surface); object (III) — natural complex of the Earth's biosphere; object (IV) — space of “semi-open” construction (above-ground territories). The Model represents interrelationships and filling within all types of territorial-spatial objects of the settlement development.

The Model contains details of all its components, which are presented on separate fragments of the model for each object (I, II, III, IV) and its component types (Fig. 2). The Model also includes variants of combinations of components and types of territorial-spatial

¹⁴ Types of urban transformation: development of new territories, including complex creation of new material objects; renovation (renovation with preservation of the existing functionality); revitalization (renovation with change of the existing functionality); regeneration (reconstruction, restoration or recreation of the appearance of historical or existing material objects and territories); reclamation of disturbed territories, which are the accumulated “environmental damage” in previous periods of economic activity.

¹⁵ Decades (clarification by the authors of the article).

¹⁶ The description of the “Model” is summarized in the article by Samoilov N.A. Urban planning “skeleton” of the territory. The model of structural organization of components and types of territorial-spatial objects of settlements as a kind of “skeleton” (supporting framework) or scientific basis, only not of a “person”, but of a territory. *ACADEMIA. Architecture and Construction*. 2022; 3:142-144. DOI: 10.22337/2077-9038-2022-3-142-144

objects and systems of restrictions for specific components and types.

Such a Model gave rise to a special methodological integrated assessment of functional-technological, physical-technical, technical, aesthetic, environmental “qualities” and economic indicators, as well as taking into account the conditions and peculiarities, specificity of the interrelation of components and types of territorial-spatial objects.

In order to organize and coordinate professional activities, the Model allows to systematize criteria in the form of components and types of territorial-spatial objects, their private functions and functional processes, requirements to volume-planning solutions of the types of components of the object and their planning factors,

as well as to establish systems of restrictions for specific components and types of territorial-spatial objects at the level of the surface of the Earth’s biosphere, surface and underground buildings and structures, above-ground territory, and the natural complex of the Earth’s biosphere.

The tasks of the dynamically changing system of professional education are related to the development of future and current participants of professional activity in the ability to justify and develop socio-economically significant, environmentally responsible planning and architectural and construction solutions for the components of territorial-spatial objects of development. These are the tasks aimed at the formation of professional intelligence.

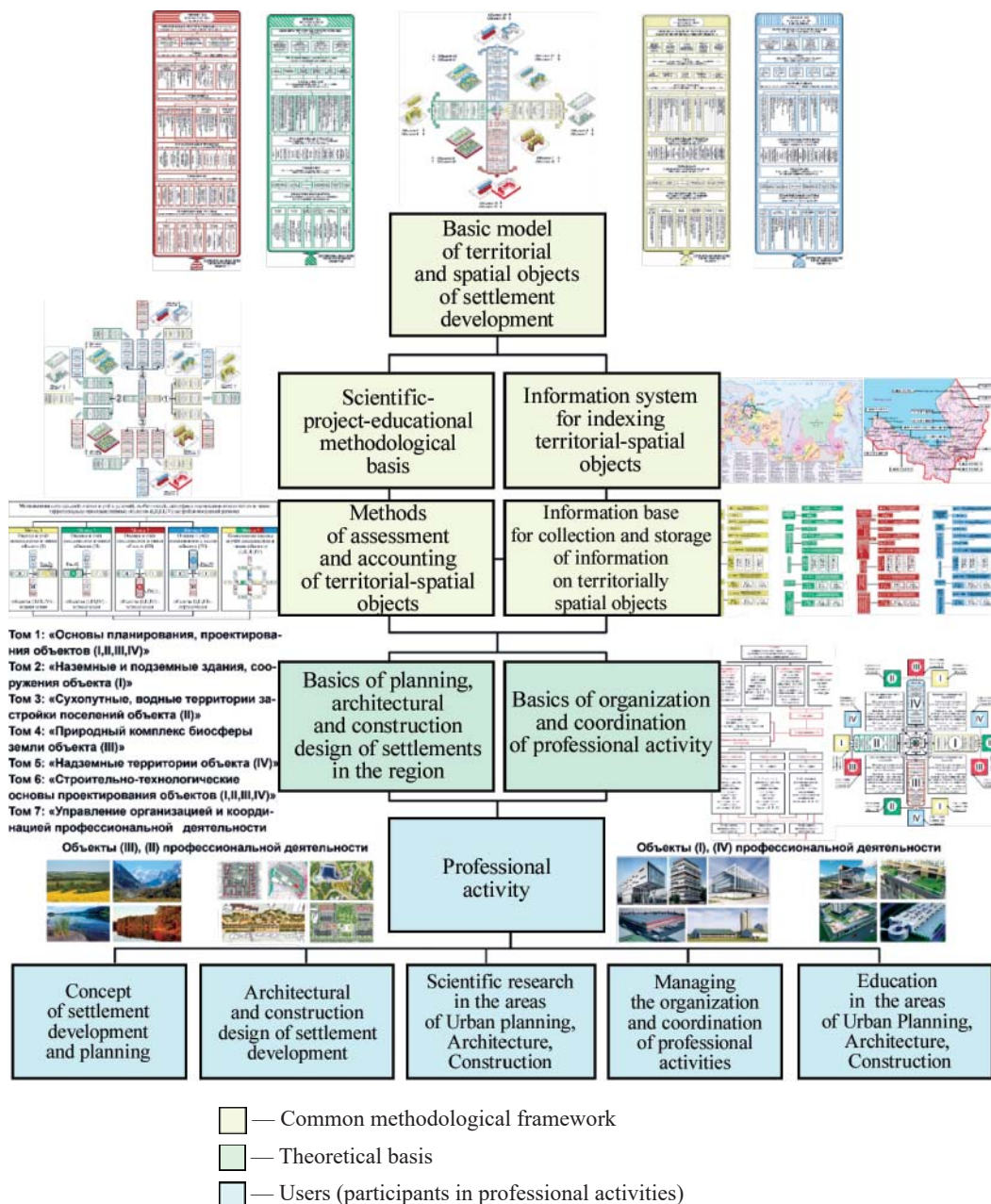


Fig. 2. Unified system of providing interrelation of the way of thinking and a set of actions of all participants of professional activity on the basis of the Model

In view of the above, it seems that the systemic improvement of “Urban Planning”, “Architecture”, “Construction” in professional education (both horizontally and vertically of the international standard classification of education — ISCED), can be built on the basis of the Unified system of ensuring the relationship between the way of thinking and a set of actions of all participants of professional activity prepared on the basis of the Model (Fig. 2).

The unified methodological base in Fig. 2 (highlighted in grey) includes: scientific and educational methodological base, methods of assessment and accounting of territorial-spatial objects, information system for indexing territorial-spatial objects and information base for collecting and storing information on territorial-spatial objects [31].

The unified methodological basis is based on: the basics of planning of architectural and construction design of settlements in the region and the basics of organisation and coordination of professional activity [31] (highlighted in blue in Fig. 2).

Professional activity covers the whole range of participants of professional activity: urban planners, architects, builders, teachers of institutions of various levels of professional education, managers and specialists of various levels of government making decisions on urban transformation in the territory (such users in large blocks are presented in Fig. 2: 1 block — concepts of development and planning of settlements, 2 block — architectural and construction design of settlement development; 3 block — scientific research in the areas of urban planning, architecture, construction; 4 block — management of organisation and coordination of professional activity; 5 block — education in the areas of urban planning, architecture, construction).

With such an organizational and methodological system of education will be provided:

- for urban planners (planners) understanding of architectural and technical (construction) peculiarities, specifics of formation of volume-planning solutions of buildings, structures and complexes; ability to comprehend them functionally and aesthetically when planning and designing such components of the object (II — territories of settlements at the Earth’s surface level) as transport system, equipment and networks, landscaping and gardening, etc., on the territories with new and established development in settlements and regions;
- for architects understanding of the tasks of planning and design of a new settlement in a particular region or urban transformation of the territory in a particular settlement or region, construction features and specifics of the formation of their territories; constructive solutions, equipment and networks of buildings and structures, the ability to comprehend and translate them into a compositional and artistic form;
- for builders the ability to solve technical problems in the planning and design of various buildings and structures in specific settlements and regions ac-

cording to specific architectural requirements, to be able to support, justify and ensure the implementation of the results of planning and design of the living environment and architectural idea in kind.

It is important to realize that urban planners, architects, builders solve a wide range of interrelated tasks in planning, architectural and construction design, construction of settlements and regions, corresponding to the conditions, peculiarities and specifics of managing their territorial-spatial and architectural-planning formation. Such interrelation requires a special organization of the educational process based on the systematic consideration of mutual influence of territorial-spatial objects according to the Model.

CONCLUSION

It seems to be advantageous for public authorities to build a system of support for making and regulating urban planning decisions (including relevant and reliable monitoring using information and communication technologies, spatial multidimensional analysis of interdisciplinary data, including the use of modern digital technologies, including artificial intelligence), which is necessary at the current stage of state development.

Model covers research activities necessary both for preparation of materials for substantiation of urban planning documents and improvement of urban planning design norms and urban planning regulations reflecting the interdisciplinary nature of urban planning direction of education.

An important aspect of such a system is the improvement of professional education in the field of urban planning, taking into account the need to provide various specialists for construction, major repairs, reconstruction, including engineering equipment of buildings, structures and territories, demolition of capital construction objects, operation of buildings, structures, integrated development of territories and their improvement, including landscaping, on the basis of urban planning documents for civil, industrial, agricultural and industrial sectors, as well as for the construction of new buildings and territories.

“Urban planning” as an educational direction of personnel training in the system of urban planning activity should take a coordinating role on the basis of interdisciplinary interrelations of all types of territorial-spatial objects in the Model on the basis of modern end-to-end technologies. This assumption is confirmed in the studies of N.N. Zheblienok, who states, taking into account the analysis of the domestic “educational direction of urban planning” in the world context, that a separate profession of “urban planner”, the focus of whose activities is “project” (providing the documentary base for spatial initiatives of the state, business, investment projects) [16], in this form in the world practice is gradually disappearing.

Thus, the system of support for urban planning decision-making on a scientific basis should be based on professional education and introduction of new knowledge into use by all participants of professional activity (subjects of urban planning relations under the Civil Code of the Russian Federation).

Creating conditions in the educational process in terms of the management system of coordination and organization of interrelated positions of professional activity requires:

- firstly, a new system of coordination and organization of educational, scientific and methodological activities of the departments of higher education institutions. For example, since 2015, NRU “Moscow State University of Civil Engineering” has been participating in the educational project “Engineering Class in Moscow School” (about 150 schools), since 2020, the Department of Urban Planning of NRU “MGSU” has been working in cooperation with the Institute of General Plan of Moscow¹⁷, and in 2023 NRU “MGSU” has formed the Corporate Chair of the Ministry of Construction of Russia¹⁸;

- secondly, adjusting existing and writing new curricula, work programmes, textbooks and manuals, corresponding to the methodology of assessment and consideration of conditions, peculiarities, specifics of interrelation of components and types of territorial-spatial objects Models of development of settlements and regions and the principles of their analysis and synthesis, affecting the management of territorial-spatial organization and architectural-planning formation of settlements and regions, taking into account modern information and communication technologies, such textbooks and manuals should include electronic library databases (such databases are available at the National Research University “MGSU”), Internet technologies, including video lessons and their recordings, interactive whiteboards for collaboration on projects (the National Research University “MGSU” successfully operates a unified educational port “Construction +” and many classrooms are equipped with interactive whiteboards for conducting classes, including those with Internet access and are equipped with licensed professional programmes);

- thirdly, in the organizational measures for participation in the system of professional activity, — scientific research, planning and design, development and improvement of scientific-methodological and normative-technical documentation, a special place is taken

by the coordinating body that carries out state regulation in terms of compliance of the received education and confirmation of the level of knowledge and skills with the necessary labour actions, which participants of professional activity already perform (i.e. already work). Such confirmation is carried out in qualification assessment centres (QAC), for example, in the Central Research and Development Institute of the Ministry of Construction of Russia.

For future participants of professional activity (only planning to carry out professional activity) in terms of higher education from 2021 on the basis of NRU “MGSU” a consortium of universities was created, including all leading architectural and construction universities of Moscow, Kazan, Nizhny Novgorod, Novosibirsk, Penza, St. Petersburg, Tomsk, graduating specialists in the fields of “Urban Planning”, “Architecture”, “Construction”. This Consortium was created to form a national system of development of construction professional education, construction science, scientific and technological development of the construction industry, with the participation of the professional community, industry science, business structures and other organizations. The peculiarities of the Consortium are the presence among the founders of the profile state academy of sciences (Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAASN)), as well as sectoral (National Association of Builders (NOSTROI), National Association of Surveyors and Designers (NOPRIZ)) and inter-sectoral (Russian Union of Builders (OMOR “RCC”)) associations of employers. The Consortium co-operates with the Russian Ministry of Construction and the Public Council under the Ministry.

The conducted research allowed to establish that the creation, development of urban regulation (regulation of urban planning activities under the Civil Code of the Russian Federation) can be carried out on the basis of the model of structural organization of components and types of territorial-spatial objects (Model) and the principles of analysis and synthesis of their features and specifics of formation in the development of settlements and regions.

This approach achieves a comprehensive, systematic training from schoolchildren (future students or just competent users in the spatial environment of life), students in secondary and higher professional educational programmes (including postgraduate: graduate students, doctoral students), working professionals providing in their professional activities a common understanding of planning, architectural, construction and research tasks when fulfilling the requirements for the formation of components and types of territorial-spatial development objects of settlements and regions, and taking into account the planning factors corresponding to them: non-formalized (artistic-compositional) and formalized (functional-technological, physical and technical, technical, economic, etc.).

¹⁷ In 2022, an independent basic department “Urban Planning” was formed in the structure of the institutes of NRU “MGSU”.

¹⁸ In May 2022, S. Muzychenko, Deputy Minister of Construction and Housing and Communal Services, announced the decision to establish a corporate chair of the Russian Ministry of Construction at MGSU. URL: <https://mgsu.ru/news/Universitet/MinstroyRossiipianiruetsozdatkorporativnuyukafedruvNIUMGSU/>

Urban planners trained on the scientific basis of the Model, along with architects and builders, will be able to professionally and systematically take into account the planning requirements and factors inherent in volumetric and spatial, volumetric-planning, territorial and spatial solutions of the components of objects, since such requirements and factors are inherent in taking into account in the organizational and methodological system of education the characteristic, interrelated conditions, features, specifics of

professional activity (planning, design, research and development, etc.).

Therefore, for the systemic relationship in the education of “Urban Planning”, “Architecture”, “Construction”, corresponding to the conditions, features, specificity of professional activity of its participants, organized on a common methodological approach, it is necessary to have a differentiated attitude to the system of knowledge received in pre-university, university and postgraduate training on the basis of the presented Model.

REFERENCES

1. Samoilova N.A., Zhirkov O.A., Belkin S.V. Introduction of strategic techno-theater technologies for communication of participants in urban planning activities. *Public administration and development of Russia: global trends and national perspectives : collection of articles from the international conference session*. 2023; 687-694. EDN VHQM. (rus.).
2. Drachuk M.A. Role of Professional Standards in Construction of a Modern Regulatory Model of the Labor Market. *Labor Law in Russia and Abroad*. 2016; 3:50-53. EDN: WMSFCZ. (rus.).
3. Rakitov A.I. Higher education and artificial intelligence: Euphoria and Alarm-ism. *Higher Education in Russia*. 2018; 27(6):41-49. (rus.).
4. Kiyanenko K. Infrastructure of scientific knowledge. *Housing Construction*. 2004; 9:2-3. EDN JXNVMV. (rus.).
5. Akhmedova E.A. Architectural and urban planning education in leading foreign schools: trends and directions of adaptation experience in Russian higher education. *Fundamental research*. 2007; 7:92-95. (rus.).
6. Kiyanenko K.V. Fields of design and architectural education. *Academia. Architecture and construction*. 2009; 2:15-20. EDN KZUBRL. (rus.).
7. Tugarskaya P.M., Metlenkov N.F. Problems of Russian architectural education of the xxi century. *Creativity and Modernity*. 2017; 2(3):50-53. EDN ZRPIBN. (rus.).
8. Norenkov S.V., Krashenninnikova E.S., Krashenninnikov A.V. The architect thinks “Brick style”, and the brick manufacturer — cubature: about mitigation of risks of mutual misunderstanding. *Construction Materials*. 2019; 12:13-17. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-777-12-13-17. EDN ECHVOY. (rus.).
9. Perkova M.V., Alekseyev Yu.V., Akhmedova E.A., Metlenkov N.F., Shubenkov M.V. Architectural education and modern challenges. *Architecture and Construction of Russia*. 2020; 2(234):6-13. EDN NIAUHA. (rus.).
10. Posohin M.M. Formation of qualifications as the basis for digitalization of the construction industry. *Vestnik NOPRIZ*. 2021; 5:8-11. (rus.).
11. Shvidkovsky D.O., Esaulov G.V. Architectural education and modern challenges. *Vestnik NOPRIZ*. 2021; 5:13-15. (rus.).
12. Akhmedova Y.A. Transforming education into the digital age: analyzing opportunities. *Intellectual Resources for Regional Development*. 2021; 2:255-261. EDN ANZKWL. (rus.).
13. Metlenkov N.F. Architectural scholarship. *Architecture and Construction of Russia*. 2022; 1(241):2-3. EDN GLZEBM. (rus.).
14. Moiseev Yu.M. Sinitsyna I.A. Innovations for Spatial Literacy Comprehension within Urban Planning. *Cities of the future: spatial development, participatory management and creative industries*. 2021; 113-136. EDN WVMKIZ. (rus.).
15. Zheblienok N.N. Ecosystems of urban planning in a post-socialist context. Part 1. Former Soviet Republics: Between “Architecture” and “Planning”. *Academia. Architecture and Construction*. 2021; 3:79-88. DOI: 10.22337/2077-9038-2021-3-79-88. EDN UJERZL. (rus.).
16. Zheblienok N.N. Ecosystems of urban planning in a post-socialist context. Part 2. “Lagging behind” becomes “Leadership”. *Academia. Architecture and Construction*. 2021; 4:80-85. DOI: 10.22337/2077-9038-2021-4-80-85. EDN EFCIDQ. (rus.).
17. Kiyanenko K.V. “Environmentization” of architecture: origins in phenomenological vision. *Architecture and Construction of Russia*. 2021; 4(240):94-99. EDN PSJLTX. (rus.).
18. Kiyanenko K.V. *Society, environment, architecture: social foundations of architectural formation of residential environment : textbook*. Vologda, VGU, 2015; 284. (rus.).
19. Kiyanenko K.V. Review of A.V. Krashenninnikova “cognitive urban studies: archetypes and prototypes of the urban environment”. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2021; 1(54):15-20. DOI: 10.24412/1998-4839-2021-1-15-20. EDN UFQYIX. (rus.).
20. Krashenninnikov A.V., Lebedev A.A., Ivanova A.A. Public spaces of small historical towns. *IOP*

Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021; 740(1):012004. DOI: 10.1088/1755-1315/740/1/012004

21. Krasheninnikov A.V. *Cognitive urbanism: archetypes and prototypes of the urban environment*. Moscow, KURS, 2020; 208. EDN PKMGSH. (rus.).

22. Krasheninnikov A.V. Urban structure of ultra small settlements. *Problems of modern urbanization: continuity and innovation*. 2022; 254-259. EDN YRLWMC. (rus.).

23. Metlenkov N.F. *Paradigmatic dynamics of architectural method*. Moscow, Architecture and construction of Russia, 2018; 428. (rus.).

24. Moisseev Y.M., Ziyatdinov T.Z. Agglomerations of large cities: dynamics of the periphery. *Problems of modern urbanization: continuity and innovation*. 2022; 78-85. EDN BYAALC. (rus.).

25. Shubenkov M.V., Shubenkova M.Yu. Search for a balanced interaction of urbanized and natural territories: the concept of urban-biocenosis zoning. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2021; 4(57):296-312. DOI: 10.24412/1998-4839-2021-4-296-312. EDN AGMOAU. (rus.).

26. Shubenkov M. Resource relationships of urban planning systems and external natural territories.

Resource Relationships of Urban Planning Systems and External Natural Territories. 2021; 431-439. EDN HWKKRM. (rus.).

27. Wu Ch., Mamaev I.I., Molotkova N.V., Monastirev P.V. Designing educational programs architectural schools in China. *Tambov University Review. Series: Humanities*. 2015; 20(12):13-18. DOI: 10.20310/1810-0201-2015-20-12(152)-13-18. EDN VHLSQV. (rus.).

28. Engel B., Kozlov V.V. Town planning education in the changing times. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2016; 4(19):190-201. EDN XEDYTB. (rus.).

29. *Problems of modern urbanization: continuity and innovation : collection of proceedings of the international conference*. Moscow, Faculty of Geography of Moscow State University. M.V. Lomonosova, 2022; 291. EDN PAAIXN. (rus.).

30. Samoilova N.A. Russia needs a system of urban types of areas (urban units)!? *City and Town Planning*. 2019; 3(61):42-52. EDN RKEDOT. (rus.).

31. Alekseev Yu.V. *Fundamentals planning of settlements and regions and organization and coordination of professional activities*. Moscow, Publishing house ASV, 2022; 295. (rus.).

Received July 31, 2023.

Adopted in revised form on September 13, 2023.

Approved for publication on September 13, 2023.

B I O N O T E S: **Nadezhda A. Samoylova** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Senior Researcher; **Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation**; 29 Vernadskogo ave., Moscow, 119331, Russian Federation; ID RSCI: 214212, Scopus: 57202819286, ORCID: 0000-0001-8395-7358, ResearcherID: J-6606-2016, IstinaResearcherID: 92608258; samoylovana@mgsu.ru;

Yuri V. Alekseev — Doctor of Architecture, Professor, Professor of the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 690296; Scopus: 57202819657, ResearcherID: AFR-3481-2022, ORCID: 0000-0002-9095-3360; alekseevyv@mgsu.ru.

Contribution of the authors: all of the authors made equivalent contributions to the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

О новой подготовке специалистов-механиков для строительной отрасли

Евгений Порфирьевич Плавельский^{1,2}, Дмитрий Юрьевич Густов¹,
Владимир Израилевич Скуль¹, Александр Михайлович Агарков¹

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

² Центральный научно-испытательный полигон строительных и дорожных машин (ЦНИП СДМ);
г. Ивантеевка, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Современная строительная площадка часто характеризуется применением ТИМ/ВІМ-технологий в качестве элемента перехода к цифровым двойникам (ЦД) строительного объекта. Создание ЦД подразумевает участие всех специалистов, область деятельности которых входит в строительный-технологический процесс, включая специалистов по средствам механизации строительства. Обзор публикаций разного уровня показывает актуальность поставленной задачи.

Материалы и методы. Для решения поставленной задачи вуз должен иметь ресурсы и людские, и материальные для обеспечения подготовки таких специалистов-механиков, которые могут участвовать в создании ЦД строительного объекта; ЦД строительных машин, механизмов и оборудования; в применении технологий ЦД при проектировании, конструировании, производстве, испытании, эксплуатации и утилизации строительных машин, механизмов и оборудования. Показана реальность решения задачи подготовки специалистов-механиков в области и цифровых технологий, и ЦД. Приводятся примеры применения ЦД в ряде отраслей промышленности с соответствующей подготовкой специалистов в таких вузах, как, например, СПбПУ, МГТУ «СТАНКИН», МГТУ им. Н.Э. Баумана. Подобная подготовка по строительным специальностям ведется и в НИУ МГСУ.

Результаты. В НИУ МГСУ при разработке проекта новой основной образовательной программы высшего образования по специальности 23.05.01 была добавлена дисциплина «Основы создания цифрового двойника строительных машин и оборудования».

Выводы. В качестве основных положений предлагается дополнить учебные планы подготовки кадров по специальности «Наземные транспортно-технологические средства» компетенциями в сфере создания ЦД; ввести дисциплину «Цифровые двойники подъемно-транспортных, строительных, дорожных средств и оборудования» или иную, отражающую профильность выпускающей кафедры, реализующей образовательную программу.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительный объект, строительная машина, цифровой двойник, новое в подготовке специалистов-механиков

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Плавельский Е.П., Густов Д.Ю., Скуль В.И., Агарков А.М. О новой подготовке специалистов-механиков для строительной отрасли // Строительство: наука и образование. 2023. Т. 13. Вып. 3. Ст. 6. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.6

Автор, ответственный за переписку: Владимир Израилевич Скуль, skelvi@mgsu.ru.

New training of mechanical specialists for the construction industry

Evgeny P. Plavelsky^{1,2}, Dmitriy Yu. Gustov¹, Vladimir I. Skel¹, Alexander M. Agarkov¹

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

² Central Scientific Testing Site for Construction and Road Machines; Ivanteevka, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The modern construction site is often characterised by the application of BIM technologies as part of the transition to digital twins of the construction project. The creation of digital twins implies the participation of all specialists, whose field of activity is included in the construction and technological process, including specialists in construction mechanization means. The review of publications of different levels shows the relevance of the task.

Materials and methods. To solve this problem, the university should have both human and material resources to ensure the training of such mechanical specialists who can participate in the creation of digital twins of the construction object; in the creation of digital twins of construction machines, mechanisms and equipment; in the application of digital twin technologies in the design, construction, production, testing, operation and disposal of construction machines, mechanisms and equipment. The paper shows the reality of solving the problem of training specialists in mechanics in the field of both digital

technologies and digital twins. Examples of application of digital twins in a number of industries are given with the appropriate training of specialists in such universities as, for example, SPbPU, MSUT "STANKIN", BMSTU. Also, similar training in construction specialties is carried out in MGSU.

Results. The discipline "Fundamentals of creating a digital twin of construction machines and equipment" was added in NRU MGSU during the development of the project of a new basic educational programme of higher education in the specialty 23.05.01.

Conclusions. As the main provisions, it is proposed to supplement the curricula of personnel training in the specialty "Land transport and technological means" with competencies in the field of creating digital twins; introduce the discipline "Digital twins of handling, construction, road facilities and equipment" or another discipline that reflects the profile of the graduating department implementing the educational programme.

KEYWORDS: building object, construction machine, digital twin, new in the training of mechanical specialists

FOR CITATION: Plavelsky E.P., Gustov D.Yu., Skel V.I., Agarkov A.M. New training of mechanical specialists for the construction industry. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2023; 13(3):6. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.6

Corresponding author: Vladimir I. Skel, skelvi@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

На современной строительной площадке с аддитивными, ТИМ/ВМ технологиями многократно возрастает роль инженера-механика. Это связано не только с подбором и эксплуатацией соответствующих машин и механизмов, включая, например, 3D-принтеры, но и участием в создании новых инновационных машин и механизмов современными методами. Все это подразумевает применение цифровых технологий (ЦТ), особенно при создании цифровых двойников (ЦД, Digital Twin — DT) объекта не только программистами, но и с привлечением технологов, логистов, экономистов, строительных материаловедов и т.д.

Таким образом, требуется подготовка специалистов (инженеров-механиков), которые могут на новом современном уровне проводить работы на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ) техники с применением ЦТ. К таким этапам относятся проектирование, производство, эксплуатация и ремонт подъемно-транспортных, строительных, дорожных средств и оборудования. Новый уровень касается в том числе и технологий ЦД [1]. Использование ЦД позволяет решать научно-исследовательские, проектно-конструкторские, производственно-технологические и организационно-управленческие задачи в области строительного машиностроения как части применяемых ЦТ в строительной области с получением наибольшего эффекта. Данные задачи направлены в конечном счете на получение огромного экономического эффекта. Именно поэтому мировые лидеры бизнеса вкладывают в исследование и создание ЦД, включая вложения и в соответствующее обучение.

Цифровые двойники, появившись в начале XXI в. [2], в последнее время прочно занимают публикационное поле [1–8], что показывает развитие и актуальность рассматриваемой темы в различных областях, по крайней мере материальной деятельности человека.

Фирма Gartner давно занимается информационными технологиями и, например, на 2022 г. пу-

бликует прогноз на прорывные технологии Hype Cycle for Emerging Technologies¹. Многие авторы публикаций по ЦД приводят кривую фирмы Gartner (рис. 1)². Она демонстрирует этапы развития прорывных технологий: технологическая идея, чрезмерные ожидания развития и применения новой идеи, избавление от иллюзий путем более реалистичной оценки плюсов и минусов от внедрения новой идеи, работа над максимальным уменьшением выявленных недостатков, этап получения (распространения) положительного эффекта, в первую очередь экономического. В наибольшей степени экономический эффект получают те, кто раньше других оценил и внедрил новую идею, хотя первопроходцам всегда трудно, особенно с учетом первоначального вложения капитала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эффективная реализация подготовки специалистов достойного уровня возможна только в условиях следования дисциплин (и их содержания) основной профессиональной образовательной программы в русле общих тенденций развития мировой промышленности, заключающихся в сквозной цифровизации.

Четвертая промышленная революция. В настоящее время в мировой истории развития промышленности проходит очередной четвертый революционный период, при котором идет интенсивное развитие техник, технологий и т.д., приводящее к значительному экономическому росту. Развивающаяся четвертая промышленная революция характеризуется наукоемкостью, мультидисциплинарностью,

¹ Emerging technologies for 2022 fit into three main themes: evolving/expanding immersive experiences, accelerated artificial intelligence automation, and optimized technologist delivery. URL: <https://www.gartner.com/en/articles/what-s-new-in-the-2022-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies>

² Кривая Гартнера. Как оценить возможности технологических инноваций для бизнеса. URL: <https://blog.bitobe.ru/article/krivaya-gartnera/>



Рис. 1. Периоды развития перспективных идей по Gartner

конвергенцией и синергией, цифровыми платформами и большими данными (Smart Big Date), ИИ (искусственный интеллект — интеллектуальные помощники), Smart Design & Smart Manufacturing³ [3]. К этому нужно добавить тот большой эффект, в первую очередь по качеству и скорости создания новой техники, который получается от совмещения этапов исследования, конструирования и проектирования на основе упомянутых выше конвергенции и синергии. К перечисленным характеристикам следует добавить и другие составляющие цифровизации, например непромышленный (IoT) и промышленный интернет вещей (IIoT), что в плане строительной отрасли более актуально. Также важно и то, что при создании ЦД одновременно получается и некоторый задел на будущее, как «побочный» продукт создания цифровых двойников.

Существует программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная Распоряжением Правительства РФ 28.07.2017 № 1632-р, по которой разработано семь дорожных карт в направлении ЦТ. Согласно этой программе, университеты участвуют в ее осуществлении. В этом же русле в мире разработаны и разрабатываются новые платформы, в том числе и для создания ЦД.

Понятие «цифровой двойник» подробно определено в работе [2]. Цифровой двойник представляет собой цифровую модель, включающую мно-

жество составляющих и отличающуюся от других моделей, например ТИМ и BIM, тем, что позволяет управлять изделием с высокой степенью адекватности, это очень важно на всем протяжении его ЖЦ от проектирования до утилизации.

Цифровые двойники уже применяются в ведущих отраслях промышленности: транспортном машиностроении, судостроении, атомной энергетике, аэрокосмической промышленности и так далее [1], включая и строительство⁴. Разработан первый стандарт по ЦД — ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения», вступивший в силу в 2022 г. Этот стандарт распространяется на изделия машиностроения и непосредственно касается средств механизации строительства, например, в части проведения виртуальных испытаний.

Можно отметить, что идея включения в образовательный процесс подготовки специалистов-механиков по строительным машинам и оборудованию дисциплины по ЦД появилась после опубликования ГОСТ Р 57700.37–2021, общения с производителями строительных машин и механического оборудования на профессиональных выставках в Москве, общения с сотрудниками лабораторий по сертификации строительной техники, а также после появления в интернете множества публикаций, связанных с четвертой промышленной революцией. В резуль-

³ Боровиков А. Лекция «Формирование цифровой промышленности на основе цифровых двойников». URL: <https://ok.ru/video/1798025381131>

⁴ Цифровой двойник здания: как технология применяется в строительстве. URL: <https://digital-build.ru/czifrovoy-dvojnjk-zdaniya-kak-tehnologiya-primenyaetsya-v-stroitelstve/>



Рис. 2. Цифровизация производства подразумевает сквозную интеграцию всех уровней производства

тате авторы выяснили, что при создании ЦД специалисты по созданию математических, имитационных и других видов моделей часто не могут представить объемную картину моделируемого объекта и им на помощь должны прийти специалисты-механики, глубоко знающие и разбирающиеся в строительных машинах, механизмах и оборудовании.

Сегодня существует много информации по ЦТ, сквозным ЦТ и т.п. и, как логическое продолжение, ЦД. В качестве примера сделаем ссылку на обзор работ [2]. По существу, цифровой двойник — это цифровая модель объекта, но имеющая много особенностей. В основном ЦД делят на двойник детали (элемента); двойник изделия (сборки), состоящего из двойников деталей; двойник объекта как системы (машины), состоящей из функционально связанных изделий-сборок; двойник процесса, состоящий из всех составляющих конкретного технологического процесса отрасли. В определенном смысле приведенное деление ЦД условно в своей терминологии и здесь не охватывает все их виды, но дает представление о многообразии возможных вариантов. На рис. 2 дана схема связи и перехода от цифровой модели к реальному объекту при создании ЦД⁵.

Содержание рис. 2 в разной интерпретации приводится во многих интернет-публикациях⁶. Они, если касаются ЦД, перечисляют возможные положительные эффекты при их внедрении. Применительно к строительной отрасли с помощью ЦД можно решать задачи относительно достоверного прогнозирования объемов строительного производства конкретного объекта при реально имеющихся материальных, трудовых, финансовых и природных ресурсах; прогнозирования эффективности при-

менения (ввода) новых строительных технологий; оптимизации применения средств механизации строительства как по номенклатуре, так и по всему комплексу машин и механизмов, необходимых для осуществления строительной технологии данного объекта; прогнозирования и анализа возможного появления отказов составляющих объекта по отдельным элементам и объекта в целом; оптимального решения управленческих задач разного рода и уровня. Перечисленные задачи с помощью ЦД решаются более качественно и в более короткие сроки (по разным интернет-оценкам выигрыш по времени может быть в несколько раз).

Связь цифровой модели с физическим объектом при переходе к ЦД технической системы или отдельному ее элементу может быть более глубокая, чем представлено на рис. 2 и описано выше.

Образовательная концепция 4.0. Четвертая промышленная революция вынуждает применять новые подходы к подготовке специалистов: появилась образовательная концепция 4.0, описанная, например, в работе [4]. Эта концепция во многом связана с цифровизацией экономики, производства, образования. Не останавливаясь на предыдущих периодах развития образования, что может быть отдельной темой, отметим черты образования 4.0. В современное образование включены вопросы самостоятельного обучения и выполнения исследовательских работ. Источником информации стал не только преподаватель, но и в большой степени интернет, информационные технологии, включая ИИ. Быстрое внедрение в производство новых технологий требует своевременной подготовки соответствующих специалистов. В 2020 г. на основе анализа открытых источников были выделены топ-15 цифровых технологий с уровнем значимости (в скобках) как относительная встречаемость в массиве источников: промышленные роботы (1), искусственный интеллект (0,86), машинное обучение (0,68), цифровое прототипирование (0,56), сенсо-

⁵ Цифровизация производства. URL: <https://raytec.pro/services/tsifrovizatsiya-proizvodstva/>

⁶ Digitalization Changes Everything. URL: <https://oneplm.com/oneplm-industry/>

рика (0,42), беспроводная связь WLAN, PAN, RFID (0,30), блокчейн (0,21), большие данные (0,20), виртуальная и дополненная реальность (0,12), товар как услуга (Product-as-a-Servis, 0,09), компьютерное зрение (0,03), смарт-контракты (0,03), промышленный интернет вещей (0,03), цифровой двойник (0,02), умные фабрики (0,01)⁷ (можно отметить, что в 2022 г. мировой рынок ЦД в прогнозе на 2025–2026 гг. уже оценивался порядка \$50 млрд). Что-то из перечисленного уже прочно вошло в производственную жизнь, например промышленные роботы и машинное (цифровое) зрение, но и они тоже меняются по своим возможностям и областям применения; другое интенсивно внедряется на транспорте, в добывающей промышленности и т.д. Естественно, что такая картина применения новых ЦТ и инструментов потребовала введения в учебный процесс соответствующих тем и направлений по всем образовательным программам.

Одно из определений университета 4.0 приводит А.И. Боровков: «4.0 — университет, способный решать проблемы-вызовы современной промышленности за счет изменения концепта самой промышленности, при помощи смещения центра тяжести в сторону проектирования, где на этапе проектирования закладываются все параметры будущей конструкции»⁸. Имеются и другие определения, но смысл концепции университета 4.0 сводится к применению ЦТ в образовании, в передаче обучающимся бизнес-навыков, переход к индивидуализации обучения. Все это имеет целью вооружить будущих специалистов такими знаниями, умениями и навыками, которые позволили бы им влиться в современный производственный процесс практически без дополнительного корпоративного обучения или при минимальной адаптации нового специалиста к условиям конкретной корпорации.

Разработку образовательных программ ведут не только преподаватели и обучаемые, но и профессиональное сообщество через профессиональные стандарты, практики и обеспечение. При этом должно быть современное и доступное программное обеспечение в виде чаще всего специализированных программных платформ для создания цифрового продукта. Иными словами, вуз должен иметь ресурсы и людские, и материальные для обеспечения подготовки таких специалистов, которые могут участвовать в создании ЦД строительного объекта; в создании ЦД строительных машин, механизмов и оборудования; в применении технологий ЦД при проектировании, конструировании, производстве, испытании, эксплуатации и утилизации строительных машин, механизмов и оборудования.

⁷ Топ-15 цифровых технологий в промышленности. URL: <https://issek.hse.ru/news/494926896.html>

⁸ Боровков А.И. Что такое университет 4.0. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=31kIW4WqCDw>

Такой подход предполагает определенную гибкость в формировании рабочих программ дисциплин, определяющих основную образовательную программу. Все это требует нового мышления от всех участников образовательного процесса: студента, преподавателя, руководителей вуза.

Прогрессивное новое не может быстро (относительно) завладеть умами всех участников процесса промышленной революции. Однако в наибольшей степени выиграет тот, кто сможет раньше других не только воспринять это новое, но и приступить к активному его внедрению. Это, как говорят, требует комплексного подхода, в который входит не только новое материальное, в частности программное обеспечение, но и, как сказано выше, новые подходы в образовании. Причем новые методы обучения необходимы как для подготовки специалистов, так и для подготовки преподавателей, наставников, тренеров [5]. Последнее интересно еще и тем, что источником образовательного контента и для студента, и для преподавателя зачастую могут быть одни и те же информационные ресурсы (интернет-ресурсы). Массовая целевая переподготовка преподавателей и общеобразовательной, и высшей школы, как показывает опыт, не всегда успевает за новыми требованиями.

В последнее время много дискуссий об искусственном интеллекте в образовании, его достоинствах и недостатках. Если отбросить крайние мнения, то можно констатировать, что ИИ в образовании уже существует и игнорировать этот факт контрпродуктивно. Можно провести аналогию с промышленными роботами, которых многие вначале встречали в штыки. Однако в полном соответствии с кривыми развития новых идей (технологий) фирмы Gartner (рис. 1) первые радужные предположения сменились реальностью: роботы не всемогущи и у них имеется много ограничений, особенно с учетом экономической составляющей их создания и эксплуатации.

Искусственный интеллект в образовании. Можно сказать, что ИИ в образовании пока еще ищет себе оптимальное место. К реальным достоинствам его можно отнести освобождение студента и преподавателя от рутинной работы. Например, для студента сегодня это оформление чертежей по требованиям соответствующих стандартов, создание типовой математической модели детали; для преподавателя — проверка определенного типа учебных работ и контрольных тестов. Практический, но больше лишь теоретический, итог применения технологий ИИ — это освобождение от шаблонной работы: освобождается время для творческой, например проектной, работы и студента, и преподавателя. Важной особенностью ИИ, например в виде нейронных сетей, является возможность их обучения и самообучения, и, соответственно, нахождение более современных возможных проектных реше-

ний. Однако в данном случае можно отметить важнейшую роль преподавателя в обучении студента вариантному формулированию задачи, требующей решения, с учетом ограничений, имеющихся в реальных условиях; в оценке адекватности предлагаемых сетью решений и при необходимости корректировке первоначальных формулировок. Это умение формулировать задачу и оценивать получаемые решения важно при создании ЦД машин или механизмов специалистами-механиками в комплексной бригаде IT-специалистов и специалистов другого профиля, участвующих в проекте.

Еще одна область применения ИИ в образовании — использование симуляторов. По назначению различают разные симуляторы. Например, симуляция физических процессов при разработке новых изделий, симуляция на основе цифровой модели разных видов испытаний продукции, игровая симуляция в образовании и др. [9]. Многие обучающие симуляторы основаны на виртуальной и дополненной реальности. Такие симуляторы могут работать в виртуальном и реальном пространстве и в реальном времени, что широко применяется в таких областях, в которых обучение связано с большими материальными затратами, с риском травмирования или даже гибели оператора и т.д. В качестве примера можно привести применение таких тренажеров в транспортной отрасли, особенно авиационной; в атомной и химической промышленности; в медицине и др. В области строительного машиностроения симуляторы-тренажеры используют в обучении управлением технологическими процессами, диагностировании машин и механизмов, приобретении навыков работы операторов машин, механизмов и оборудования. На кафедре механизации и автоматизации строительных машин НИУ МГСУ применяют имитаторы⁹ для обучения специалистов реагированию на возникновение разного рода отказов, возникающих при наладке и эксплуатации пассажирских и грузовых лифтов.

В современном мире многие первоначальные цифровые «инструменты» меняют или расширяют свою область назначения, например блокчейн — распределенный реестр. Технология блокчейна уже применяется в школьном и вузовском образовании, и перспективы ее дальнейшего использования увеличиваются. По своей структуре распределенная реальность становится все более объемной и доступной при определенных условиях практически везде, лишь бы было соответствующее оборудование (компьютер, ноутбук, гаджет). Основными характеристиками блокчейна являются децентрализация и безопасность, открытость и прозрачность, неизменность и доверие и др. Как следствие этих свойств, блокчейн удобен для хранения подлинных документов: дипломов, персональных документов

и достижений обучающихся и сотрудников (преподавателей), научных достижений и публикаций и т.п.; для идентификации студента и других сотрудников в разных подразделениях своего и других вузов; для повсеместной доступности онлайн-курсов, особенно новых авторских; и многое другое. В качестве примера применения и перспектив развития технологии блокчейна в образовании приведем ссылки на две работы [10, 11].

Еще одной возможностью прорыва в образовании являются технологии больших данных (Big Data). Технологии больших данных позволяют оперировать персональными данными в части собственно персональных данных студентов и преподавателей, успехов в разных областях деятельности, предпочтениях в выборе учебного контента и т.п., включая прогнозирование дальнейшей деятельности обучающихся и их наставников, например в рамках интересов вуза; возможности безопасности и администрирования в вузе [12].

Как известно, большие данные характеризуются несколькими признаками, например «пятью V» (рис. 3¹⁰): объем (Volume) — терабайты и более; скорость (Velocity) — увеличение объема информации в геометрической прогрессии, что требует программ быстрой обработки и анализа данных; разнообразие (Variety) — данные могут быть представлены в разнообразной форме и форматах; достоверность (Veracity) — точность и достоверность получения данных; ценность (Value) — важность информации для той или иной отрасли и т.п.



Рис. 3. Признаки Большие данные

Можно добавить: быстро растущий объем данных связан с трафиком облачных вычислений, IoT/IIoT (Internet of Things/Industrial Internet of Things — интернет вещей/промышленный интернет вещей), мобильным трафиком и т.д.; высо-

⁹ Лабораторный стенд «Имитация лифта с устройством управления серии УЛ (УКЛ) ИЛ-УЛ и серии ШУЛМ».

¹⁰ Data Science: The 5 V's of Big Data. URL: <https://medium.com/analytics-vidhya/the-5-vs-of-big-data-2758bfcc51d>



Рис. 4. Процессы и инструменты анализа больших данных

кая скорость, с которой данные накапливаются, в основном связана с интернетом вещей, мобильными данными, социальными сетями и т.д.; разнообразие данных связано со структурированными, полу-структурированными и неструктурированными данным из-за разных источников данных, генерируемых людьми или машинами; достоверность относится к обеспечению качества/целостности/достоверности/точности данных, так как они собираются из нескольких источников, то необходимо проверять точность информации, прежде чем использовать ее дальше; ценность относится к тому, насколько полезны сведения для принятия решений (нужно извлечь ценность из больших данных, используя надлежащую аналитику).

Важнейшая часть Big Data в техническом вузе — возможность на основе анализа больших данных выбрать, создать или уточнить проектируемую техническую конструкцию; это потенциал предсказания поведения, например, механической системы, созданной при курсовом проектировании или при разработке выпускной квалификационной работы. Как известно, любое проектирование многовариантно и возможность увидеть отдаленные последствия принятых конструктивных решений, по крайней мере, весьма заманчива. Таким образом, без анализа больших данных решение упомянутых задач затруднительно или требует много времени. Различают четыре вида анализа: описательный, фиксирующий случившуюся ситуацию; диагностический, определяющий причины случившегося; предиктивный, т.е. предсказательный или прогнозный, выполняемый на основе математической статистики, моделирования, машинного обучения, ИИ и т.д.

Для анализа больших данных, особенно при повторяющихся задачах, характерных, например, для высшей (любой) школы, вероятно применение Data Mining с возможностью машинного обучения, глубокого обучения и ИИ. Имеются и другие возможности (программы) механизировать анализ больших данных для решения разного рода задач

от описательных до прогнозных. Некоторое представление об анализе больших данных приведено в работе¹¹, на рис. 4 показаны техники и методы анализа, применяемые к Big Data¹².

Еще одной новой технологией, применяемой в образовании, является виртуальная (VR) и дополненная (DR) реальности. И та, и другая технологии используются для всех видов образования. Для школьного образования выпускается даже специализированное оборудование. Применение VR и DR в школе имеет много достоинств для создания у школьников мотивации к изучению гуманитарных дисциплин и дисциплин точных наук. Но эти же технологии применимы и в высшей школе¹³, но на несколько другом уровне. Существуют симуляторы и тренажеры на основе виртуальной реальности, позволяющие получить профессиональные навыки¹⁴. При этом используются технологии интерактивного обучения, игрового и других сопутствующих 3D-e-learning компьютерных программных комплексов. Для этого, кроме программного обеспечения, потребуется еще, например, иметь комплект очков виртуальной реальности.

Цифровые двойники. Этим перечислением не заканчивается характеристика университета 4.0. Однако указанные технологии, применяемые в высшей школе, в той или иной мере участвуют в создании и использовании ЦД. Адаптируя опыт, полученный в других отраслях, можно перечислить

¹¹ Big Data Analytics: How it works, tools, and real-life applications. URL: <https://www.altexsoft.com/blog/big-data-analytics-explained/>

¹² Большие данные (Big Data). URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Большие_данные_\(Big_Data\)?amp;action=edit§ion=6](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Большие_данные_(Big_Data)?amp;action=edit§ion=6)

¹³ Быть или не быть? VR и AR в сфере образования. URL: <https://virtre.ru/articles/augmented-reality/byt-ili-ne-byt-vr-i-ar-v-sfere-obrazovaniya.html>

¹⁴ Князева Г.В. Виртуальная реальность и профессиональные технологии визуализации.

основные пункты создания ЦД строительных и дорожных машин и оборудования¹⁵: создание адекватных математических моделей и электронных документов, описывающих поведение объекта (механизма, машины, оборудования, технологического процесса). Основные преимущества ЦД должны закладываться на этапе разработки изделия и далее на этапах производства и эксплуатации. И на каждом этапе создаются цифровые модели с высокой степенью соответствия реальным объектам и процессам. Создание моделей учитывает структурную схему и геометрию конструкции машины, ее кинематические и динамические зависимости; физико-механические свойства используемых материалов (конструкционных, эксплуатационных, защитных); параметры, характеризующие безопасность эксплуатации машины (прочность элементов и конструкции в целом, устойчивость от опрокидывания, вибробезопасность оператора, эргономические и санитарные требования, экологичность машины, ее эксплуатации и утилизации и др.). Учет всего перечисленного описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений, решаемых численными методами. Нелинейность уравнений связана, в первую очередь, со многими ограничениями, например по свойствам материалов, кинематике возможного движения, рабочей зоне машины и др. Эти системы дифференциальных уравнений должны аутентично описывать динамическое поведение машины и обязаны составляться механиками и математиками в работоспособном тандеме, что еще раз обосновывает необходимость соответствующей подготовки и механиков, и математиков.

Здесь можно заметить, что математическое моделирование строительных машин и оборудования давно применяется при исследовании динамики строительных машин с целью определения нагрузок в элементах конструкции и в главных механизмах строительных машин в переходных режимах работы; найденные динамические нагрузки позволяли выполнить расчет на прочность элементов конструкции или механизмов машин с учетом режима работы (кстати, определение реального режима работы на стадии проектирования машины является отдельной важной задачей); также математическое моделирование позволяло определить во времени протекание динамических процессов. Поэтому имеющийся опыт цифрового моделирования необходимо расширить решением дополнительно тех задач, которые ставятся при создании ЦД в конкретных условиях создания строительных, дорожных, подъемно-транспортных машин и оборудования с той или иной степенью детализации в зависимости от поставленных целей и задач. То есть в строительной отрасли создание ЦД машин, механизмов и технологических процессов с ними начинается

и происходит не на пустом месте, а с использованием соответствующего исследовательского опыта.

Цифровой двойник нуждается в информации о производительности, работоспособности, техническом обслуживании и т.д., которая поступает от датчиков [13]. Еще на этапе создания технического объекта определяются места установки датчиков ПоТ системы, информирующих ЦД о физическом состоянии машины. Выбор мест установки датчиков, способных информировать о жизненно важном состоянии элементов конструкции и машины, а также характеризующих текущие экономические показатели, является важнейшей и ответственной задачей для математиков, механиков, экономистов и т.д. Это перечисление можно продолжить с очевидной необходимостью совместной работы математиков и механиков, а вероятно и других специалистов, при адекватном создании ЦД строительной техники. Причем под механиками, математиками и т.п., как правило, следует понимать не отдельные персоналии, а соответствующие рабочие группы специалистов.

Ожидаемые «дивиденды» от разработки и применения ЦД могут и не оправдаться не только потому, что цифровая модель неадекватна реальному объекту, но и потому, что у ИИ в его широком понимании существуют определенные проблемы. К ним, например, относятся: ненадежная работа информационных датчиков, установленных в критических местах машины; выбор не в тех местах установки датчиков или невозможность их установки в нужном месте; неполная или искаженная, поступающая от датчиков, информация, и другие проблемы, связанные с интернетом вещей. Также среди проблем можно указать неадекватный алгоритм обработки данных, поступающих от датчиков; ограниченную или чрезмерную подробность построенной цифровой модели, связанную с формализацией задачи; нейронные сети, часто используемые для прогноза во времени поведения машины, могут ошибаться, хотя с формальной точки зрения принятое нейронной сетью решение правильное. Проблемы применяемых цифровых инструментов можно продолжить (примеры аварий можно найти в интернете для воздушного и наземного транспорта), но важно иметь о них представление и учитывать при создании ЦД. В настоящее время разрабатываются стандарты в рассматриваемой нами области для ограничения цифровых разработок с целью умышленного или неумышленного причинения вреда человеку, его дискриминации или необъективной оценки деятельности. К сожалению, пока упомянутые стандарты мало затрагивают производственную сферу, хотя работы ведутся и некоторые нормативные документы уже опубликованы. Глобально можно отметить, что еще в 2017 г. знаменитый британский ученый Стивен Хокинг предвидел, что искусственный интеллект для человечества может быть как

¹⁵ Роль цифрового двойника в современном машиностроении. URL: http://rosacademtrans.ru/cifrovoi_dvoinik/

величайшим добром, так и величайшей проблемой, включая гибель человечества¹⁶.

В ряде вузов России (например, СПбПУ, МГТУ «СТАНКИН», МГТУ им. Н.Э. Баумана, НИТУ МИСИС и др.) широко используются новые подходы в преподавании дисциплин, обеспеченных необходимыми программными продуктами (чаще всего в сфере технологии машиностроения, экономики и менеджмента) [1]. В сфере строительства НИУ МГСУ разработал программы и внедрил дисциплины, обеспечивающие применение ТИМ/ВІМ-технологий на основе информационных моделей, которые связаны и имеют много общего с вопросами создания ЦД, но все же отличаются от них^{17, 18} [6, 7]; в НИУ МГСУ существует дополнительное образование с обучением ТИМ-технологиям в строительстве.

Отметим, что применение ЦД в строительной отрасли подразумевает и включение в строительнотехнологический процесс соответствующей строительной техники, оборудования и средств малой механизации. Такая ситуация требует от специалистов в области строительных машин и оборудования иметь компетенции в области ЦТ вообще, и ЦД в частности. Дело в том, что при создании ЦД действующего строительного объекта (или части его) как многофакторного единого комплекса необходимо участие всех специалистов, в той или иной мере участвующих в полном цикле создания «изделия» от задания на проектирование и до полного исчерпания его ресурса. При этом все участвующие специалисты, включая специалистов-механиков, должны «говорить» на одном языке. Иначе «данные находятся в разных “колодцах”, которые не связаны между собой: разные базы данных, разные форматы, разная структура данных, разная методология их получения...» [7].

В области строительных, дорожных, коммунальных, подъемно-транспортных машин и механического оборудования уже ведутся разработки по созданию отдельных составляющих ЦД, в частности, в области математического, цифрового и имитационного моделирования. В 2021 г. в Институте машиноведения им. А.А. Благонравова создана лаборатория цифровых методов управления жизненным циклом изделий машиностроения, которая развивает научное направление, связанное с проек-

тированием конструкций, разработкой новых материалов и методов диагностирования и испытания конструктивных элементов, узлов, агрегатов, машин и оборудования в области машиностроения; в область интересов этой лаборатории входит и создание ЦД машин строительной отрасли.

Как известно, создание моделей вообще и математических, в частности, преследует цель исследования свойств реальных физических объектов, которые могут еще не существовать, а только планируются к производству. Такая возможность определяет огромный экономический эффект, получаемый от моделирования будущего изделия: ошибки в проекте на начальных стадиях могут привести к колоссальным затратам при их ликвидации на уже изготовленной машине. В связи с этим этап создания модели является очень важным.

В зависимости от поставленных целей и решаемых задач варианты разнообразных моделей, пригодных для реального проектирования, производства и эксплуатации очень многообразны. Например, для строительного машиностроения можно составить описательную модель, обучающую, имитационную, оптимизационную или комплексную; кроме того, модели могут быть статическими и динамическими с разной степенью абстракции. Также модели могут быть идеальными и формальными, с разной степенью приближения к реальности; детерминированными и стохастическими и т.д., включая комплексную модель со многими признаками. Практика моделирования показывает, что создание модели, особенно принципиально новой (инновационной) машины, часто носит интуитивный характер и зависит от профессиональных качеств автора модели. Эта профессиональная интуиция специалиста-механика должна закладываться еще в вузе, используя все составляющие своевременно актуализированной основной профессиональной образовательной программы.

Упомянутая выше многовариантность проектирования технического изделия касается и возможностей предприятия по изготовлению элементов этого изделия. Технология создания ЦД позволяет либо учитывать возможности этого предприятия (станочный парк, квалификация работников, применяемые производственные технологии, материальные ресурсы), либо выбрать предприятие с учетом всего перечисленного. Чтобы использовать эти возможности ЦД, нужна разнообразная информация о предприятиях требуемого профиля и в необходимом виде. Перечисление источников многовариантности можно многократно продолжить с той лишь целью, дабы показать необходимость научить будущего специалиста-механика не только профессиональным специальным «механическим» знаниям, умениям и навыкам, но и возможности применения их при моделировании машин, создавая в команде ЦД.

Таким образом, по специальности «Наземные транспортно-технологические средства» специ-

¹⁶ Стивен Хокинг увидел в искусственном интеллекте угрозу гибели человечества. URL: <https://www.forbes.ru/tehnologii/343535-stiven-hoking-uvidel-v-iskusstvennom-intellekte-ugrozu-gibeli-chelovechestva>

¹⁷ Цифровой двойник здания — новый этап в развитии строительных технологий. URL: <https://bim-info.ru/articles/tsifrovoy-dvoynik-zdaniya-novyy-etap-v-razvitii-stroitelnykh-tehnologiy/>

¹⁸ Цифровой двойник здания: как технология применяется в строительстве. URL: <https://digital-build.ru/czifrovoy-dvoynik-zdaniya-kak-tehnologiya-primenyaetsya-v-stroitelstve/>

ализации «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные средства и оборудование» давно возникла необходимость в обучении новейшим технологиям проектирования, производства, эксплуатации и утилизации строительных машин и механизмов. Основой реализации этих этапов ЖЦ машины должны быть машиночитаемые без участия человека SMART-стандарты, взаимодействующие с математической моделью и задающие виртуально требуемые режимы испытаний и контролирующие и регистрирующие действия ЦД, а также результаты виртуальных испытаний. И подготовленный специалист-механик должен разбираться в перечисленных задачах и на равных с другими специалистами участвовать в создании и эксплуатации ЦД.

Используя накопленный в строительной и других отраслях опыт создания и применения ЦД, несмотря на сложность задачи, можно получать временные, ресурсные, проектные, производственные, экологические и в итоге конкурентно экономические преимущества. Наглядные примеры перечисленных сложностей создания и достоинств применения ЦД приведены в работе [1].

Подготовка специалистов-механиков в строительной отрасли уже возможна на базе имеющегося и появления нового отечественного софта: например, вендор ООО «Нанософт разработка» (nanoCAD) предлагает много модулей, включая 3D, «Растр» и «Механика»¹⁹ [8].

Для специалиста-механика имеется много прикладных задач в области применения ЦД [14–26] теми командами, о которых шла речь выше. Например, испытания продукции. По стандарту²⁰ различают более 40 видов испытаний техники, включая сертификационные, что очень важно с учетом технического регламента таможенного союза в части строительных машин. Кроме того, ЦД позволяют производить ремонт машины по потребности, используя диагностические данные, получаемые от соответствующих датчиков. Есть и другие задачи.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Учитывая отмеченное, в НИУ МГСУ при разработке проекта новой основной образовательной программы высшего образования по специальности: 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства (специализация «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные средства и оборудование») в порядке эксперимента в «дисциплины (модули) по выбору» в «части, формируемой участниками образовательных отношений», была добавлена дис-

циплина «Основы создания цифрового двойника строительных машин и оборудования». За данной дисциплиной были закреплены профессиональные компетенции ПК-2 «Способность разрабатывать и анализировать конструктивные решения машин и отдельных узлов на стадиях производства, модернизации и ремонта подъемно-транспортных, строительных, дорожных средств и оборудования» и ПК-3 «Способность разрабатывать с использованием информационных технологий конструкторско-техническую документацию для производства новых или модернизируемых образцов подъемно-транспортных, строительных, дорожных средств и оборудования». Цифровой вектор развития вышеозначенных компетенций даст возможность выпускникам НИУ МГСУ адаптироваться в информационной среде организаций, разрабатывающих и производящих строительные машины и оборудование.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании отмеченного можно сделать следующие выводы и привести рекомендации.

Актуализированные учебные планы подготовки кадров по специальности «Наземные транспортно-технологические средства» должны быть дополнены компетенциями в сфере создания ЦД.

В дисциплинах, формирующих универсальные знания и умения («Информатика», «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика», «Математическое моделирование», «Уравнения математической физики» и т.п. по решению образовательной организации), необходимо ввести или усилить разделы: «Численное решение линейных и нелинейных дифференциальных уравнений», «Основы искусственного интеллекта», «Основы работы с большими данными», «Основы создания 3D-модели» и другие, формирующие у будущего специалиста компетенции, необходимые для участия в создании ЦД подъемно-транспортных, строительных, дорожных средств и оборудования.

В профессиональных дисциплинах необходимо ввести или более широко и акцентировано использовать современные понятия аддитивных и сквозных технологий, цифровизации производства и др.

С целью повышения качества подготовки специалистов перспективным является создание «объединенной дисциплины», в которой осуществляется групповая (объединенная) проектная работа студентов, обучающихся по разным направлениям подготовки, под руководством нескольких разнопрофильных преподавателей (предпочтительно практикующих представителей отрасли).

В области строительных, подъемно-транспортных, дорожных средств и оборудования существует много прикладных задач для применения ЦД, начиная от проектирования, изготовления, сертификации и до эксплуатации и утилизации.

¹⁹ Решения нового времени. Отечественный софт — от САПРа до цифрового двойника. URL: <https://ardexpert.ru/article/24694>

²⁰ ГОСТ 16504–81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / науч. ред. профессор А. Боровков. Изд. первое, исправ. и доп. М. : ООО «АльянсПринт», 2020. 401 с.
2. Царев М.В., Андреев Ю.С. Цифровые двойники в промышленности: история развития, классификация, технологии, сценарии использования // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2021. Т. 64. № 7. С. 517–531. DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-7-517-531. EDN QOKQJW.
3. Боровков А.И., Рябов Ю.А., Кукушкин К.В., Марусева В.М., Кулемин В.Ю. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК // Вестник Восточно-Сибирской открытой академии. 2019. № 32. С. 2. EDN ZAXCOT.
4. Голицына И.Н. Образование 4.0 в подготовке современных специалистов // Образовательные технологии и общество. 2020. Т. 23. № 1. С. 12–19. EDN DWTNHS.
5. Волков А. Нерешаемые задачи как основа высшего образования. Интервью с А.Е. Волковым // Вопросы образования. 2013. № 1. С. 273–277. DOI: 10.17323/1814-9545-2013-1-273-277. EDN QAJGNZ.
6. Ежкина Л.В., Курбатов В.Л. Применение технологии цифровых двойников в строительстве // Университетская наука. 2022. № 2 (14). С. 51–53. EDN TLBWDE.
7. Изряднова А.И., Целищева П.А., Бегунова Н.В. Цифровые двойники в современном строительстве: практика применения и перспективы использования // Фотинские чтения–2022 (весеннее собрание) : мат. IX Междунар. науч.-практ. конф. 2022. С. 102–111. EDN FKLQSP.
8. Fuller A., Fan Z., Day C., Barlow C. Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research // IEEE Access. 2020. Vol. 8. Pp. 108952–108971. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2998358
9. Липкин Е. Индустрия 4.0: умные технологии — ключевой элемент в промышленной конкуренции. М. : Остек-СМТ, 2017. 223 с.
10. Кирилова Д.А., Маслов Н.С., Астахова Т.Н. Перспективы внедрения технологии блокчейн в современную систему образования // International Journal of Open Information Technologies 2018. Т. 6. № 8.
11. Уваров А.Ю., Гейбл Э., Дворецкая И.В., Заславский И.М., Карлов И.А., Мерцалова Т.А. и др. Трудности и перспективы цифровой трансформации образования / под ред. А.Ю. Уварова, И.Д. Фрумина. М. : Высшая школа экономики, 2019. 344 с. DOI: 10.17323/978-5-7598-1990-5. EDN ANYGHO.
12. Утёмов В.В., Горев П.М. Развитие образовательных систем на основе технологии Big Data // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2018. № 6. С. 104–116. DOI: 10.24422/MCITO.2018.6.14501. EDN OUTAGP.
13. Хитрых Д. Цифровые двойники в промышленности: истоки, концепции, современный уровень развития и примеры внедрения // САПР и графика. 2020. № 7 (285). С. 8–12.
14. Sharapov R., Agarkov A. Determination of the aerodynamic characteristics of a concentrator with adjustable parameters // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 251. P. 03014. DOI: 10.1051/mateconf/201825103014
15. Ishkov A.D., Stepanov A.V., Miloradov S.V., Voronina I.V. Energy-efficient vibratory feeder of bulk construction materials // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 670–671. Pp. 458–461. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.670-671.458
16. Gustov Y.I., Gadolina I.V., Yushkov A.A. The deformation-topographic method for the study of the tribotechnical indicators of the working bodies of rotary excavators // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 786. Issue 1. P. 012031. DOI: 10.1088/1757-899X/786/1/012031
17. Drozdov A. Automation of vibration modes of soil compaction machines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 869. Issue 7. P. 072022. DOI: 10.1088/1757-899X/869/7/072022
18. Kaitukov B., Stepanov M., Kapyrin P. The choice of concrete mixers for the concrete preparation // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 178. P. 06016. DOI: 10.1051/mateconf/201817806016
19. Sevryugina N., Kapyrin P. Triad model: simulation — functional tensometry — information database in the assessment of the reliability of technological machines // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 263. P. 04063. DOI: 10.1051/e3sconf/202126304063
20. Kudryavtsev E.M. Automation of optimization of discrete technological processes // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 196. P. 04067. DOI: 10.1051/mateconf/201819604067
21. Plavelsky E.P., Sharapov R.R., Plavelsky A.E. The traffic performance of the wheeled carrying liquid materials study // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 744. Issue 1. P. 012024. DOI: 10.1088/1757-899X/744/1/012024
22. Skel V. Oscillation of gear mechanisms of construction machines // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 263. P. 04061. DOI: 10.1051/e3sconf/202126304061
23. Stepanov M.A., Gridchin A.M. Perspectives of construction robots // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. P. 042126. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042126
24. Stepanov M.A., Korolev A.A. Mathematical modeling of a process the rolling delivery // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 317. P. 012019. DOI: 10.1088/1757-899X/317/1/012019

25. Kaytukov B., Stepanov M. Current issues of mobile cranes unification // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 251. P. 03011. DOI: 10.1051/matec-conf/201825103011

26. Sharapov R.R., Kharlamov E.V., Yadykina V.V. The fluidized bed separator // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 324. P. 012052. DOI: 10.1088/1757-899X/324/1/012052

Поступила в редакцию 21 сентября 2023 г.

Принята в доработанном виде 21 сентября 2023 г.

Одобрена для публикации 27 сентября 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Евгений Порфирьевич Плавельский — доктор технических наук, профессор кафедры механизации, автоматизации и роботизации строительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; руководитель органа по сертификации; **Центральный научно-испытательный полигон строительных и дорожных машин (ЦНИП СДМ);** г. Ивантеевка, Санаторный проезд, д. 1; РИНЦ ID: 409359, Scopus: 57197824485, ResearcherID: AFN-4654-2022, ORCID: 0000-0002-6593-1100; eplavelsky@gmail.com;

Дмитрий Юрьевич Густов — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедры механизации, автоматизации и роботизации строительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 306937, ORCID: 0000-0002-1866-7327, Scopus: 6504605458, ResearcherID: AFM-2496-2022; GustovDU@gic.mgsu.ru;

Владимир Израилевич Скуль — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механизации, автоматизации и роботизации строительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 801889, ORCID: 0000-0002-8888-3500, Scopus: 57192374114, ResearcherID: ACY-2907-2022; skelvi@mgsu.ru;

Александр Михайлович Агарков — кандидат технических наук, доцент кафедры механизации, автоматизации и роботизации строительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 713145, ORCID: 0000-0002-4818-7949, Scopus: 55863123000, ResearcherID: U-5430-2018; AgarkovAM@mgsu.ru.

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

On a modern construction site with additive, TIM/BIM technologies, the role of the mechanical engineer increases manifold. This involves not only the selection and operation of appropriate machines and mechanisms, including, for example, 3D printers, but also participation in the creation of new innovative machines and mechanisms using modern methods. This implies the application of digital technologies, especially in the creation of digital twins of the object by not only programmers, but also involving technologists, logisticians, economists, construction material scientists and so on.

Thus, it is necessary to train specialists (mechanical engineers) who can carry out work at a new modern level at all stages of the life cycle of machinery with the use of digital technologies. These stages include design, production, operation and repair of lifting, transport, construction, road vehicles and equipment. At the same time, the new level concerns, among other things, digital twin technologies [1]. The application of digital twins allows solving research, design, production and technological, organizational and management tasks in the field of construction engineering as part of the applied digital technologies in the construction field with the greatest effect.

All these tasks are ultimately aimed at obtaining a huge economic effect. This is why global business leaders are investing in the research and creation of digital twins, including investments in relevant training.

Digital doubles, having appeared at the beginning of the 21st century [2], have recently firmly occupied the publication field [1–8], which shows the development and relevance of this topic in various fields, at least in material human activities.

Gartner has long been involved in information technology and, for example, for 2022 publishes a forecast for breakthrough technologies Hype Cycle for Emerging Technologies¹. Many authors of publications on digital twins cite the Gartner curve (Fig. 1)². It shows the stages of development of breakthrough technologies: technological idea, excessive expectations of

¹ Emerging technologies for 2022 fit into three main themes: evolving/expanding immersive experiences, accelerated artificial intelligence automation, and optimised technologist delivery. URL: <https://www.gartner.com/en/articles/what-s-new-in-the-2022-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies>

² URL: <https://blog.bitobe.ru/article/krivaya-gartnera/>

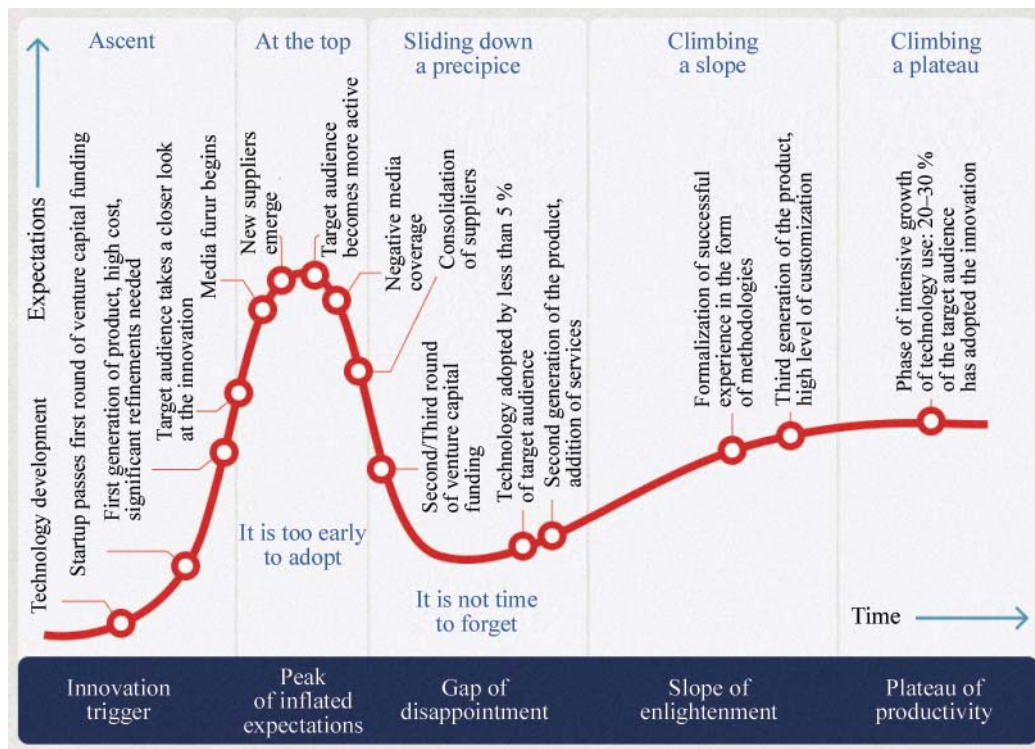


Fig. 1. Development periods of promising ideas according to Gartner

development and application of the new idea, getting rid of illusions through a more realistic assessment of the pros and cons of implementing the new idea, working to minimize the identified disadvantages and, finally, the stage of obtaining (spreading) a positive effect, and, first of all, economic. To the greatest extent, the economic effect is received by those who evaluated and implemented the new idea before others, although it is always difficult for pioneers, especially taking into account the initial investment of capital.

MATERIALS AND METHODS

Effective implementation of training of specialists of a worthy level is possible only in the conditions of following the disciplines (and their content) of the basic professional educational programme in line with the general trends in the development of the global industry, consisting in end-to-end digitalization.

Fourth Industrial Revolution. The world's industrial history is currently undergoing another fourth revolutionary period, with intensive development of techniques, technologies, etc., leading to significant economic growth. The developing fourth industrial revolution is characterized by knowledge intensive, multidisciplinary, convergence and synergy, digital platforms and big data (Smart Big Data), AI (Artificial Intelligence — intelligent assistants), Smart Design & Smart Manufacturing³ [3]. It is important to add

³ Borovikov A. Lecture "Formation of digital industry based on digital twins". URL: <https://ok.ru/video/1798025381131>

the great effect, first of all, on the quality and speed of creating new technology, which is obtained from combining the stages of research, construction and design on the basis of the above-mentioned convergence and synergy. In addition to the above characteristics, other components of digitalization should also be added, such as the non-industrial (IoT) and industrial Internet of Things (IIoT), which is more relevant in terms of the construction industry. It is also important that the creation of digital twins also provides some future-proofing as a by-product of the creation of digital twins.

There is a programme "Digital Economy of the Russian Federation", approved by the Government of the Russian Federation on 28.07.2017 No. 1632-r, under which seven roadmaps in the direction of digital technologies have been developed. Under this programme, universities participate in its implementation. In the same vein, new platforms have been and are being developed worldwide, including for the creation of digital twins.

The concept of "digital twin" is defined in detail in [2]. A digital twin is a digital model that includes many components and differs from other models, such as TIM and BIM, in that it allows the product to be managed with a high degree of adequacy, which is very important, throughout its life cycle from design to disposal.

Digital twins (DT, Digital Twin) are already used in leading industries: transport engineering, shipbuilding, nuclear power, aerospace and so on [1], including

**Forecasting based on numerical modelling of products, processes and resources
and their interaction in a virtual world**

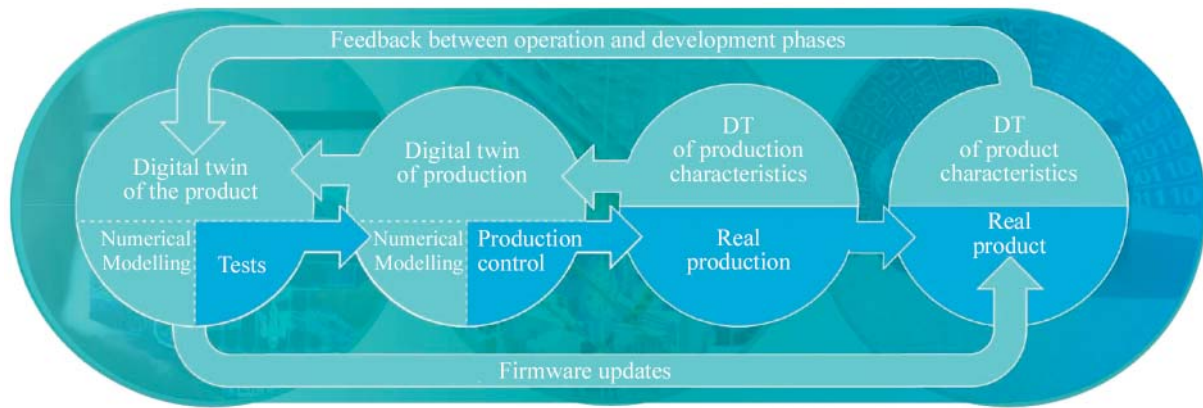


Fig. 2. Digitalization of production implies end-to-end integration of all levels of production

already construction⁴. The first standard on digital twins has been developed — GOST R 57700.37–2021 “Computer models and modelling. Digital twins of products. General provisions”, which will come into force in 2022. This standard applies to mechanical engineering products and already directly relates to construction mechanization equipment, for example, in terms of virtual testing.

It can be noted that the idea of including the discipline on digital twins in the educational process of training of mechanical specialists in construction machinery and equipment appeared after the publication of GOST R 57700.37–2021, communication with manufacturers of construction machinery and mechanical equipment at professional exhibitions in Moscow, communication with employees of laboratories for certification of construction equipment, as well as after the appearance on the Internet of many publications related to the fourth industrial revolution. As a result, we found out that when creating digital twins, specialists in creating mathematical, simulation and other types of models are often unable to present a volumetric picture of the modelled object, and they need to be assisted by mechanical specialists who have a deep knowledge and understanding of construction machines, mechanisms and equipment.

Today there is a lot of information on digital technologies, end-to-end digital technologies, etc., and, as a logical continuation, digital twins. As an example, let us refer to the review of works [2]. In essence, a digital twin is a digital model of an object, but with many peculiarities. Basically, digital twins are divided into a part (element) twin; a product (assembly) twin consisting of part twins; an object twin as a system (machine) consisting of functionally related products-assemblies; a process twin consisting of all components of a specific technological

process of an industry. In a certain sense, the given division of digital twins is conditional in its terminology and here does not cover all their types, but gives an idea of the variety of possible variants. Fig. 2 shows the scheme of connection and transition from a digital model to a real object when creating a digital twin⁵.

The contents of Fig. 2 are given in different interpretations in many Internet publications⁶. If they refer to digital twins, they list the possible positive effects of implementing digital twins. As applied to the construction industry with the help of digital twins it is possible to solve the problems of relatively reliable forecasting of volumes of construction production of a particular object with actually available material, labour, financial and natural resources; forecasting of efficiency of application (commissioning) of new construction technologies; optimization of application of construction mechanization means both by nomenclature and by the whole complex of machines and mechanisms necessary for implementation of construction technology of a given object; forecasting of the volume of construction production of a particular object; forecasting of the volume of construction production of a particular object with actually available material, labour, financial and natural resources. The listed tasks with the help of digital twins are solved more qualitatively and in shorter terms (according to different Internet estimates the time gain can be several times).

The connection of a digital model with a physical object when moving to a digital twin of a technical system or even a separate element of it may be even more profound than is presented in Fig. 2 and described above.

Educational Concept 4.0. The fourth industrial revolution forces to apply new approaches to the training of specialists: the educational concept 4.0, de-

⁴ Digital twin of a building: how the technology is being applied in construction. URL: <https://digital-build.ru/czifrovoy-dvojnik-zdaniya-kak-tehnologiya-primenyaetsya-v-stroitelstve/>

⁵ Digitalization of production. URL: <https://raytec.pro/services/tsifrovizatsiya-proizvodstva/>

⁶ Digitalization Changes Everything. URL: <https://oneplm.com/oneplm-industry/>

scribed, for example, in [4], has appeared. This concept is largely associated with the digitalization of the economy, production, and education. Without dwelling on the previous periods of education development, which can be a separate topic, let us note the features of education 4.0. The issues of independent learning and research work are included in modern education. The source of information is not only the teacher, but also, to a large extent, the Internet, information technologies, including artificial intelligence. The rapid introduction of new technologies into production requires timely training of relevant specialists. In 2020, based on the analysis of open sources, the top 15 digital technologies were identified with the level of significance (in brackets) as the relative occurrence in the array of sources: industrial robots (1), artificial intelligence (0.86), machine learning (0.68), digital prototyping (0.56), sensorics (0.42), WLAN, PAN, RFID (0.30), blockchain (0.21), big data (0.20), virtual and augmented reality (0.12), product-as-a-service (Product-as-a-Service; 0.09), computer vision (0.03), smart contracts (0.03), industrial internet of things (0.03), digital twin (0.02), smart factories (0.01)⁷ (it may be noted that as early as 2022. the global market for digital twins in the forecast for 2025–2026 was already estimated at around \$50bn). Some of the above have already entered the production life, for example, industrial robots and machine (digital) vision, but they are also changing in their capabilities and areas of application; others are already being intensively implemented in transport, mining and so on. Naturally, such a picture of the application of new digital technologies and tools required the introduction of relevant topics and directions in the educational process in all educational programmes.

One of the definitions of University 4.0 is given by A.I. Borovkov: “4.0 is a university capable of solving the challenges of modern industry by changing the concept of industry itself, by shifting the centre of gravity towards design, where all the parameters of the future design are laid down at the design stage”⁸. There are other definitions, but the meaning of the University 4.0 concept comes down to the application of digital technologies in education, the transfer of business skills to students, and the transition to individualization of learning. All this is aimed at equipping future specialists with such knowledge, skills and abilities that would allow them to enter the modern production process practically without additional corporate training or with minimal adaptation of a new specialist to the conditions of a particular corporation.

The development of educational programmes is not only led by teachers and learners, but also by the professional community through professional

standards, practices and provision. At the same time, there should be modern and accessible software in the form of, most often, specialized software platforms for creating digital products. In other words, the university should have both human and material resources to ensure the training of such specialists who can participate in the creation of digital twins of the construction object; in the creation of digital twins of construction machines, mechanisms and equipment; in the application of digital twin technologies in the design, construction, production, testing, operation and disposal of construction machines, mechanisms and equipment. This approach requires a certain flexibility in the formation of work programmes of disciplines that define the basic educational programme. All this requires new thinking from all participants of the educational process: student, teacher, university managers.

The progressive new cannot quickly (relatively) capture the minds of all participants in the industrial revolution process. However, the one who will benefit the most is the one who can first not only perceive this new thing, but also start to actively implement it. This, as they say, requires an integrated approach, which includes not only new material, in particular software, but also, as mentioned above, new approaches in education. In addition, new methods of education are required both for training specialists and for training teachers, mentors, coaches [5]. The latter is also interesting because the source of educational content for both students and teachers can often be the same information resources (Internet resources). Mass targeted retraining of teachers of both general and higher education, as experience shows, does not always keep up with the new requirements.

Recently there has been a lot of discussion about artificial intelligence in education, its advantages and disadvantages. If we put aside extreme opinions, we can state that artificial intelligence in education already exists and it is counterproductive to ignore this fact. One can draw an analogy with industrial robots, which many people initially met in a flinch. However, in full accordance with Gartner’s curves of new ideas (technologies) (Fig. 1), the first happy assumptions have been replaced by reality: robots are not omnipotent and have many limitations, especially considering the economic component of their creation and operation.

Artificial intelligence in education. It can be said that artificial intelligence in education is still looking for its optimal place. Its real advantages include freeing students and teachers from routine work. For example, for a student today it is the execution of drawings according to the requirements of the relevant standards, the creation of a typical mathematical model of a part; for a teacher it is the verification of a certain type of educational work and control tests. The practical, but more only theoretical, result of the application of artificial intelligence technologies is the liberation from template work: time is freed up for creative, for example, project work of both the student and the teacher.

⁷ Top 15 digital technologies in industry. URL: <https://issek.hse.ru/news/494926896.html>

⁸ Borovkov A.I. *What is University 4.0*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=31kIW4WqCDw>

An important feature of artificial intelligence, for example, in the form of neural networks is the possibility of their training and self-learning, and, accordingly, finding more modern possible design solutions. However, in this case we can note the crucial role of the instructor in teaching the student to formulate the problem requiring solution in a variant way, taking into account the constraints available in real-life conditions; in assessing the adequacy of the solutions proposed by the network and, if necessary, adjusting the initial formulations. This ability to formulate the problem and evaluate the resulting solutions is very important when creating digital twins of machines or mechanisms by mechanical specialists in an integrated team of IT and other specialists involved in the project.

Another area of application of artificial intelligence in education is the use of simulators. Different simulators are distinguished by their purpose. For example, simulation of physical processes in the development of new products, simulation based on a digital model of different types of product testing, game simulation in education and others [9]. Many training simulators are based on virtual and augmented reality. Such simulators can operate in virtual and real space and in real time, which is widely used in such areas in which training is associated with large material costs, with the risk of injury or even death of the operator and so on. Examples include the use of such simulators in the transport industry, especially aviation; in the nuclear and chemical industries; in medicine and others. In the field of construction, engineering simulators-trainers are used in training in technological processes management, in diagnostics of machines and mechanisms, in acquisition of skills of operators of machines, mechanisms and equipment. At the Department of Mechanization and Automation of Construction Machinery of the National Research University MGSU, simulators⁹ are used to train specialists to respond to various types of failures occurring during the adjustment and operation of passenger and freight lifts.

In today's world, many of the original digital "tools" are changing or expanding their purpose, such as blockchain, a distributed ledger. Blockchain technology is already used in school and university education and the prospects for its further application are only increasing. By its structure, distributed reality is becoming more and more voluminous and is available under certain conditions almost everywhere, as long as there is the appropriate equipment (computer, laptop, gadget). The main characteristics of blockchain are decentralization and security, openness and transparency, immutability and trust, and others. As a consequence of these properties, blockchain is convenient for storing authentic documents: diplomas, personal documents and achievements of students and staff (teachers), scientific achievements and publications and the like; con-

venient for student and other staff identification in different departments of their own and other universities; ubiquitous availability of online courses, especially new author's courses; and much more. As an example of the application and prospects of blockchain technology development in education, we refer to two papers [10, 11].

Another opportunity for breakthrough in education is Big Data technologies. Big Data technologies allow to operate with personal data in terms of personal data of students and teachers, as well as about successes in different areas of activity, preferences in the choice of educational content and so on, including prediction of future activities of students and their tutors, for example, within the interests of the university; security and administration capabilities in the university [12].

As is known, big data is characterized by several attributes, for example, the "five V" (Fig. 3¹⁰): Volume — terabytes and more; Velocity — the volume of information increases exponentially, which requires programs for fast data processing and analysis; Variety — data can be presented in a variety of forms and formats; Veracity — the accuracy and reliability of data acquisition; Value — the importance of information for a particular industry and the like.



Fig. 3. Big Data attributes

We can add: the rapidly growing amount of data is related to cloud computing traffic, IoT/IIoT (Internet of Things/Industrial Internet of Things), mobile traffic, etc.; the high speed at which data is accumulated is mainly related to Internet of Things, mobile data, social media, etc.; data diversity is related to structured, semi-structured and unstructured data due to different data sources generated by humans or machines; trustworthiness refers to ensuring quality/integrity/validity/accuracy/precision. Data diversity is related to structured, semi-structured and unstructured data due to

⁹ Laboratory stand "Simulation of a lift with control device of UL (UKL) series IL-UL and SHULM series".

¹⁰ Data Science: The 5 V's of Big Data. URL: <https://medium.com/analytics-vidhya/the-5-vs-of-big-data-2758bfcc51d>

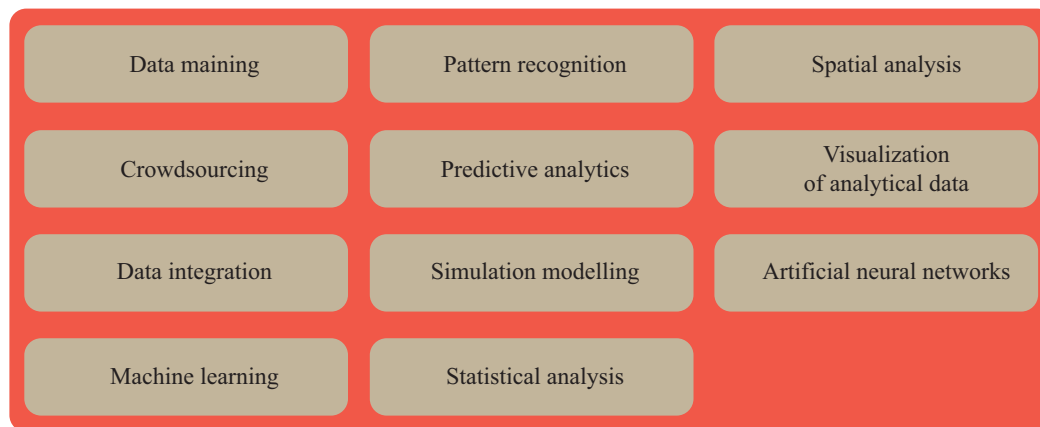


Fig. 4. Big Data analysis processes and tools

different sources of data generated by humans or machines; validity refers to ensuring the quality/integrity/validity/accuracy of data, since data is collected from multiple sources, it is necessary to check the accuracy of the data before using it further; value refers to how useful the data is for decision making (we need to extract value from big data using proper analytics).

The most important part of Big Data in a technical university is the possibility to select, create or refine a projected technical design on the basis of Big Data analysis; it is the potential to predict the behaviour of, for example, a mechanical system created during course design or during the development of a final qualification work. As we know, any design is multivariate and the ability to see the remote consequences of the design decisions made is at least very tempting. Thus, without analyzing big data the solution of the mentioned tasks is difficult or time-consuming. There are four types of analysis: descriptive type, which fixes the situation that happened; diagnostic type, which determines the causes of what happened; predictive type, i.e. predictive or forecasting, performed on the basis of mathematical statistics, modelling, machine learning, artificial intelligence and so on.

To analyse big data, especially for repetitive tasks, typical, for example, for higher (any) school, it is likely to apply Data Mining with the possibility of machine learning, deep learning and artificial intelligence. There are other possibilities (programmes) to machine analyse big data to solve different kinds of problems from descriptive to predictive. Some insight into big data analysis is given in¹¹ and Fig. 4 shows the analysis techniques and methods applied to Big Data¹².

Another new technology used in education is virtual reality (VR) and augmented reality (AR). Both technolo-

gies are used for all types of education. Even specialized equipment is being produced for school education. The use of VR and AR in school has many advantages for motivating students to study humanities and science disciplines. But the same technologies are also applicable in higher education¹³, but on a slightly different level. There are simulators and simulators based on virtual reality, allowing to obtain professional skills¹⁴. This uses technologies of interactive learning, gaming and other related 3D e-learning computer software systems. For this, in addition to software, it will be necessary to have, for example, a set of virtual reality glasses.

Digital twins. The characterization of University 4.0 does not end with this enumeration. However, the listed technologies used in higher education are involved to some extent in the creation and use of digital twins. Adapting the experience gained in other industries, it is possible, for example, to list the main points of creating digital twins of construction and road machinery and equipment¹⁵: creation of adequate mathematical models and electronic documents describing the behaviour of the object (mechanism, machine, equipment, technological process). The main advantages of the digital twin should be laid down already at the stage of product development and further at the stages of production and operation. In addition, at each stage digital models with a high degree of correspondence to real objects and processes are created. Creation of models takes into account the structural scheme and geometry of the machine design, its kinematic and dynamic dependencies; physical and mechanical properties of the materials used (structural, operational, protective); parameters characterizing the safety of machine opera-

¹¹ Big Data Analytics: How It Works, Tools, and Real-Life Applications. URL: <https://www.altexsoft.com/blog/big-data-analytics-explained/>

¹² Big Data. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Большие_данные_\(Big_Data\)?amp;action=edit§ion=6](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Большие_данные_(Big_Data)?amp;action=edit§ion=6)

¹³ To be or not to be? VR and AR in education. URL: <https://virtre.ru/articles/augmented-reality/byt-ili-ne-byt-vr-i-ar-v-sfere-obrazovaniya.html>

¹⁴ Knyazeva G.V. *Virtual Reality and Professional Visualization Technologies*.

¹⁵ The role of the digital twin in modern engineering. URL: http://rosacademtrans.ru/cifrovoy_dvoynik/

tion (strength of elements and the structure as a whole, stability against tipping, vibration safety of the operator, ergonomic and sanitary requirements, environmental friendliness of the machine itself, its operation and disposal, etc.). Taking into account all of the above is described by a system of nonlinear differential equations solved by numerical methods. Nonlinearity of the equations is connected, first of all, with many restrictions, for example, on the properties of materials, on the kinematics of possible motion, on the working area of the machine and others. These systems of differential equations must authentically describe the dynamic behaviour of the machine and must be prepared by mechanics and mathematicians in a workable tandem, which once again justifies the need for appropriate training of both mechanics and mathematicians.

It can be noted here that mathematical modelling of construction machines and equipment has long been used in the study of the dynamics of construction machines in order to determine the loads in the structural elements and in the main mechanisms of construction machines in transient modes of operation; the found dynamic loads allowed to perform strength calculations of structural elements or mechanisms of machines taking into account the mode of operation (by the way, the determination of the real mode of operation at the stage of machine design is a separate important task); also mathematical modelling of construction machines and equipment is used in the study of the dynamics of construction machines in order to determine the loads in the structural elements and in the main mechanisms of construction machines in transient modes of operation. Therefore, the available experience of digital modelling should be extended by solving additionally those tasks that are set when creating a digital twin in specific conditions of creation of construction, road, lifting and transport machines and equipment with this or that degree of detail depending on the goals and objectives. That is, in the construction industry, the creation of digital twins of machines, mechanisms and technological processes with them does not start and takes place from scratch, but with the use of relevant research experience.

The digital twin needs information about performance, operability, maintenance and so on, which comes from sensors [13]. Even at the stage of technical object creation, the installation locations of IIoT system sensors that inform the digital twin about the physical state of the machine are determined. The choice of installation locations for sensors capable of informing about the vital state of structural elements and the machine itself, as well as characterizing the current economic indicators is the most important and responsible task for mathematicians, mechanics, economists and so on. This enumeration can be continued with the obvious need for mathematicians and mechanics, and probably other specialists as well, to work together in the adequate creation of a digital twin of construction machinery. Moreover, mechanics, mathematicians and so on,

as a rule, should be understood not as individual persons, but as appropriate working groups of specialists.

The expected “dividends” from the development and application of digital twins may not be justified not only because the digital model is inadequate to the real object, but also because artificial intelligence in its broadest sense has certain problems. These include, for example: unreliable operation of information sensors installed in critical areas of the machine; wrong sensor locations or inability to install sensors in the right place; incomplete or distorted information coming from sensors, and other problems associated with the Internet of Things. Other problems include inadequate algorithms for processing sensor data; limited or excessive detail of the digital model built, related to the formalization of the problem; neural networks often used to predict the behaviour of the machine over time may be wrong, although from a formal point of view the decision made by the neural network is correct. The problems of the digital tools used can be continued (examples of accidents can be found on the internet for air and ground transport), but it is important to be aware of them and take them into account when creating digital twins. Standards are currently being developed in the field we are considering to limit digital designs to intentionally or unintentionally harm, discriminate against, or bias human performance. Unfortunately, so far the mentioned standards have little impact on the production sphere, although work is underway and some normative documents have already been published. Globally, it can be noted that back in 2017, the famous British scientist Stephen Hawking foresaw that artificial intelligence for humanity could be both the greatest good and the greatest problem, including the demise of humanity¹⁶.

A number of Russian universities (e.g., SPbPU, MSUT “STANKIN”, Bauman Moscow State Technical University, NUST MISIS and others) widely use new approaches in teaching disciplines provided with the necessary software products (most often in the field of mechanical engineering technology, economics and management) [1]. In the field of construction, NRU MGSU has developed programmes and introduced disciplines providing the application of TIM/BIM technologies based on information models, which are related and have much in common with the issues of creating digital twins, but still differ from them^{17, 18} [6, 7];

¹⁶ Stephen Hawking saw artificial intelligence as a threat to humanity's demise. URL: <https://www.forbes.ru/tehnologii/343535-stiven-hoking-uvidel-v-iskusstvennom-intellekte-ugrozu-gibelichelovechestva>

¹⁷ Digital twin of a building — a new stage in the development of building technologies. URL: <https://bim-info.ru/articles/tsifrovoy-dvoynik-zdaniya-novyy-etap-v-razviti-stroitelnykh-tehnologiy/>

¹⁸ Digital twin of a building: how the technology is being applied in construction. URL: <https://digital-build.ru/czifrovoy-dvoynik-zdaniya-kak-tehnologiya-primenyaetsya-v-stroitelstve/>

in NRU MGSU there is additional education with training in TIM technologies in construction.

It should be noted that the application of digital twins in the construction industry also implies the inclusion of appropriate construction machinery, equipment and small mechanization tools in the construction process. This situation requires specialists in the field of construction machinery and equipment to have competences in the field of digital technologies in general and in the field of digital twins in particular. The point is that when creating a digital twin of an existing construction object (or a part of it) as a multifactor unified complex, it is necessary to involve all specialists in one way or another involved in the full cycle of creating the “product” from the design task to the complete exhaustion of its resource. In this case, all participating specialists, including mechanical specialists, must “speak” the same language. Otherwise, “Data are in different «wells» that are not connected with each other: different databases, different formats, different data structure, different methodology of their obtaining...” [7].

In the field of construction, road, municipal, lifting, transport machines, and mechanical equipment, developments are already underway to create individual components of digital twins, in particular in the field of mathematical, digital and simulation modelling. In 2021 at the Blagonravov Institute of Machine Building Science, FSBI of Science. A.A. Blagonravov Institute of Mechanical Engineering named after A.A. Blagonravov established the laboratory “Digital methods of life cycle management of mechanical engineering products”, which develops the scientific direction related to the design of structures, development of new materials and methods of diagnostics and testing of structural elements, units, assemblies, machines and equipment in the field of mechanical engineering; the area of interest of this laboratory includes the creation of digital twins of machines in the construction industry.

As is known, the creation of models in general and mathematical models, in particular, pursues the goal of studying the properties of real physical objects, which may not even exist yet, but are only planned for production. This possibility determines a huge economic effect obtained from modelling of the future product: errors in the design at the initial stages can lead to huge costs when they are eliminated on the already manufactured machine. In this regard, the stage of model creation is very important.

Depending on the goals and tasks to be solved, the options of various models suitable for actual design, production and operation are very diverse. For example, a descriptive, training, simulation, optimization or complex model can be created for construction engineering; in addition, models can be static and dynamic with different degrees of abstraction. In addition, models can be ideal and formal, with different degrees of approximation to reality; deterministic and stochastic and so on, including a complex model with many features.

The practice of modelling shows that the creation of a model, especially a fundamentally new (innovative) machine, is often intuitive and depends on the professional qualities of the author of the model. This professional intuition of a specialist-mechanic should be laid down in the university using all components of the timely updated basic professional educational programme.

The above-mentioned multivariate design of a technical product also concerns the capabilities of the enterprise for manufacturing the elements of this product. The technology of digital twins creation allows either to take into account the capabilities of this enterprise (machine park, qualification of employees, applied production technologies, material resources), or to choose an enterprise taking into account all the above mentioned. In order to use these possibilities of digital twins, you need a variety of information about enterprises of the required profile and in the required form. The enumeration of sources of multivariability can be continued many times with the only purpose to show the necessity to teach the future specialist-mechanic not only professional special “mechanical” knowledge, skills and abilities, but also the possibility of their application in the modelling of machines, creating digital twins in a team.

Thus, in the specialty “Land transport and technological means” of specialization “Lifting and transport, construction, road vehicles and equipment” there has long been a need for training in the latest technologies of design, production, operation and disposal of construction machines and mechanisms. The basis for the implementation of these stages of the machine life cycle should be machine-readable without human participation (SMART) standards that interact with the mathematical model and set virtually required test modes and control and record the actions of the digital twin, as well as the results of virtual tests. Moreover, a trained specialist-mechanic should understand these tasks and participate equally with other specialists in the creation and operation of digital twins.

Using the experience accumulated in the construction and other industries in the creation and application of digital twins, despite the complexity of the task, it is possible to obtain time, resource, design, production, environmental and, ultimately, competitive and economic advantages. Clear examples of the listed difficulties of creation and advantages of digital twins application are given in [1].

Training of mechanical specialists in the construction industry is already possible on the basis of existing and new domestic software: for example, the vendor LLC “Nanosoft Development” (nanoCAD) offers many modules including 3D, “Raster” and “Mechanics”¹⁹ [8].

For the mechanical engineer, there are many applications in the field of digital twin [14–26] by those

¹⁹ Solutions of the new time. Domestic software — from CAD to digital twin. URL: <https://ardexpert.ru/article/24694>

commands discussed above. For example, product testing. According to the standard²⁰ distinguish more than 40 types of tests of machinery, including certification tests, which is very important in view of the technical regulations of the Customs Union in terms of construction machinery. In addition, digital twins allow the machine to be repaired on demand, using diagnostic data obtained from the relevant sensors. There are other tasks as well.

RESULTS

Taking into account the above-mentioned, in NRU MGSU during the development of the project of the new basic educational programme of higher education in the specialty: 23.05.01 Land transport and technological vehicles (specialization: Lifting and transporting, construction, road vehicles and equipment) in the order of experiment in the “disciplines (modules) of choice” in the “part formed by the participants of educational relations”, the discipline “Basics of creating a digital twin of construction machinery and equipment” was added. This discipline was assigned professional competences PC-2 “Ability to develop and analyse design solutions of machines and individual units at the stages of production, modernization and repair of lifting-transport, construction, road vehicles and equipment” and PC-3 “Ability to develop with the use of information technologies design and technical documentation for the production of new or upgraded samples of lifting-transport, construction, road vehicles and equipment”. The digital vector of development of the above competences will allow graduates of NRU MGSU to adapt in the information environment of organizations that develop and produce construction machinery and equipment.

²⁰ GOST 16504–81. System of state testing of products. Testing and quality control of products. Basic terms and definitions.

CONCLUSIONS

Conclusions and recommendations can be made on the basis of what has been noted.

The updated curricula of training in the specialty “Land transport and technological vehicles” should be supplemented with competences in the sphere of digital twin creation.

In the disciplines that form universal knowledge and skills (“Informatics”, “Descriptive geometry, engineering and computer graphics”, “Mathematical modelling” “Equations of mathematical physics”, etc. by the decision of the educational organization), it is necessary to introduce or strengthen the sections: “Numerical solution of linear and non-linear differential equations”, “Fundamentals of artificial intelligence”, “Fundamentals of working with big data”, “Fundamentals of 3D model creation”, etc., forming in the future specialist the competences necessary for participation in the creation of digital twins of lifting, transport, construction, road vehicles and equipment.

Modern concepts of additive and end-to-end technologies, digitalization of production, etc. should be introduced or more widely and accentuated in professional disciplines.

In order to improve the quality of specialist training, it is promising to create a “united discipline” in which group (united) project work of students studying in different areas of training is carried out under the guidance of several multidisciplinary teachers (preferably practicing representatives of the industry).

In the field of construction, material handling, road vehicles and equipment, there are many applications for the use of digital twins, ranging from design, manufacturing, certification to operation and disposal.

REFERENCES

1. Prokhorov A., Lysachev M. *Digital twin. Analysis, trends, world experience* / scientific ed. Professor A. Borovkov. First edition, revised and enlarged. Moscow, AlliancePrint, 2020; 401. (rus.).
2. Tsarev M.V., Andreev Yu.S. Digital twins in industry: development history, classification, technologies, use cases. *Journal of Instrument Engineering*. 2021; 64(7):517-531. DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-7-517-531 EDN QOKQJW. (rus.).
3. Borovkov A.I., Ryabov Yu.A., Kukushkin K.V., Maruseva V.M., Kulemin V.Yu. Digital twins and digital transformation of defense industry enterprises. *Bulletin of the East Siberian Open Academy*. 2019; 32:2. EDN ZAXCOT.
4. Golitsyna I.N. Education 4.0 in the training of modern specialists. *Educational Technologies and Society*. 2020; 23(1):12-19. EDN DWTHHS. (rus.).
5. Volkov A. Unsolvability problems as a basis of higher education. Interview with A. Volkov. *Educational Studies Moscow*. 2013; 1:273-277. DOI: 10.17323/1814-9545-2013-1-273-277. EDN QAJGNZ. (rus.).
6. Ezhkina L.V., Kurbatov V.L. Application of digital twin technology in construction. *University Science*. 2022; 2(14):51-53. EDN TLBWDE. (rus.).
7. Izryadnova A.I., Tselishcheva P.A., Begunova N.V. Digital doubles in modern construction: application practice and prospects of use. *Fedin readings — 2022 (spring meeting) : materials of the IX International Scientific and Practical Conference*. 2022; 102-111. EDN FKLQSP. (rus.).

8. Fuller A., Fan Z., Day C., Barlow C. Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research. *IEEE Access*. 2020; 8:108952-108971. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2998358
9. Lipkin E. *Industry 4.0: smart technologies are a key element in industrial competition*. Moscow, Ostek-SMT, 2017; 223. (rus.).
10. Kirilova D.A., Maslov N.S., Astakhova T.N. Prospects for the introduction of blockchain technology in the modern education system. *International Journal of Open Information Technologies*. 2018; 6(8). (rus.).
11. Uvarov A.Yu., Gable E., Dvoretzskaya I.V., Zaslavsky I.M., Karlov I.A., Mertsalova T.A. et al. *Difficulties and prospects of digital transformation of education* / Edited by A.Yu. Uvarova, I.D. Frumin. Moscow, Higher School of Economics, 2019; 344. DOI: 10.17323/978-5-7598-1990-5. EDN ANYGHO. (rus.).
12. Utemov V.V., Gorev P.M. Development of educational systems based on Big Data technology. *Scientific and methodical electronic journal "Concept"*. 2018; 6:104-116. DOI: 10.24422/MCITO.2018.6.14501. EDN OUTAGP. (rus.).
13. Khitrykh D. Digital doubles in Industry: origins, concepts, current level of development and examples. *CAD and Graphics*. 2020; 7(285):8-12. (rus.).
14. Sharapov R., Agarkov A. Determination of the aerodynamic characteristics of a concentrator with adjustable parameters. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 251:03014. DOI: 10.1051/mateconf/201825103014
15. Ishkov A.D., Stepanov A.V., Miloradov S.V., Voronina I.V. Energy-efficient vibratory feeder of bulk construction materials. *Applied Mechanics and Materials*. 2014; 670-671:458-461. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.670-671.458
16. Gustov Y.I., Gadolina I.V., Yushkov A.A. The deformation-topographic method for the study of the tribotechnical indicators of the working bodies of rotary excavators. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 786(1):012031. DOI: 10.1088/1757-899X/786/1/012031
17. Drozdov A. Automation of vibration modes of soil compaction machines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 869(7):072022. DOI: 10.1088/1757-899X/869/7/072022
18. Kaitukov B., Stepanov M., Kapyrin P. The choice of concrete mixers for the concrete preparation. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 178:06016. DOI: 10.1051/mateconf/201817806016
19. Sevryugina N., Kapyrin P. Triad model: simulation — functional tensometry — information database in the assessment of the reliability of technological machines. *E3S Web of Conferences*. 2021; 263:04063. DOI: 10.1051/e3sconf/202126304063
20. Kudryavtsev E.M. Automation of optimization of discrete technological processes. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 196:04067. DOI: 10.1051/mateconf/201819604067
21. Plavelsky E.P., Sharapov R.R., Plavelsky A.E. The traffic performance of the wheeled carrying liquid materials study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 744(1):012024. DOI: 10.1088/1757-899X/744/1/012024
22. Skel V. Oscillation of gear mechanisms of construction machines. *E3S Web of Conferences*. 2021; 263:04061. DOI: 10.1051/e3sconf/202126304061
23. Stepanov M.A., Gridchin A.M. Perspectives of construction robots. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 327:042126. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042126
24. Stepanov M.A., Korolev A.A. Mathematical modeling of a process the rolling delivery. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 317:012019. DOI: 10.1088/1757-899X/317/1/012019
25. Kaytukov B., Stepanov M. Current issues of mobile cranes unification. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 251:03011. DOI: 10.1051/mateconf/201825103011
26. Sharapov R.R., Kharlamov E.V., Yadykina V.V. The fluidized bed separator. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 324:012052. DOI: 10.1088/1757-899X/324/1/012052

Received September 21, 2023.

Adopted in revised form on September 21, 2023.

Approved for publication on September 27, 2023.

BIONOTES: Evgeny P. Plavelsky — Doctor of Technical Sciences Professor of the Department of Mechanization, Automation and Robotization of Construction; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; head of the certification body; **Central Scientific Testing Site for Construction and Road Machines**; 1 Sanatorny proezd, Moscow Region, Ivanteevka, Russian Federation; ID RSCI: 409359, ORCID: 0000-0002-6593-1100, Scopus: 57197824485, ResearcherID: AFN-4654-2022; eplavelsky@gmail.com;

Dmitriy Yu. Gustov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanization, Automation and Robotization of Construction; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 306937, ORCID: 0000-0002-1866-7327, Scopus: 6504605458, ResearcherID: AFM-2496-2022; GustovDU@gic.mgsu.ru;

Vladimir I. Skel — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanization, Automation and Robotization of Construction; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 801889, ORCID: 0000-0002-8888-3500, Scopus: 57192374114, ResearcherID: ACY-2907-2022; skelvi@mgsu.ru;

Alexander M. Agarkov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanization, Automation and Robotization of Construction; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 713145, ORCID: 0000-0002-4818-7949, Scopus: 55863123000, ResearcherID: U-5430-2018; AgarkovAM@mgsu.ru.

All authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Традиции и инновации в образовательном процессе и университетской науке для развития компетенций в сфере строительства

Игорь Владимирович Кущенко, Владимир Петрович Королёв

Приазовский государственный технический университет (ПГТУ); г. Мариуполь, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассматриваются актуальные вопросы применения традиционных и инновационных технологий при подготовке студентов строительных специальностей в структуре Приазовского государственного технического университета (ПГТУ). Выполнен анализ особенностей интеграции профильного строительного и широкого спектра направлений университетского образования. Предложена инфраструктура обеспечения компетентностного подхода с целью мотивации профессионального, научного и карьерного роста строительных кадров. Показана необходимость расширения взаимодействия образовательных, отраслевых, научных, общественных организаций и бизнеса для успешной реализации задач технологического развития строительной индустрии.

Материалы и методы. Проанализирована гносеологическая сущность современного технологического развития в условиях постиндустриального общества. На основе историко-системного метода рассмотрена взаимозависимость традиций и инноваций в сфере технико-экономического взаимодействия образования, архитектуры и строительства. Представлены пространственно-временные характеристики условий преемственности личностно ориентированного строительного образования. Сформулированы задачи программно-целевого управления творческим и инновационным потенциалом в интересах восстановления, технологического обновления и реконструкции промышленного комплекса Донбасса.

Результаты. Систематизированы практические результаты исследований и разработок, выполненных на основе научно-образовательной и производственной кооперации по проблеме технологической безопасности и коррозионной защищенности промышленных объектов. Выявлены приоритеты взаимодействия элементов инфраструктурной модели «наука – образование – бизнес», трансформации корпоративных знаний в образовательные программы и последипломное непрерывное образование. Обоснована перспектива деятельности научно-образовательного центра «Техноресурс» ПГТУ при отработке пилотных проектов продвижения цифровых технологий управления технологической безопасностью промышленных объектов.

Выводы. Предлагается выполнять реализацию образовательных программ и научных исследований в области строительства на принципах программно-целевого управления. Проблема ресурса, надежности и безопасности строительных объектов требует анализа региональных условий промышленно-технологического развития Донбасса. Сбалансированная на основе взаимосвязи традиций и инноваций инфраструктурная модель обеспечивает компетентностный подход и личностно ориентированное непрерывное строительное образование. Обоснованы направления углубления знаний строительного дела студентами политехнических специальностей ПГТУ с учетом существующей практики управления технологической безопасностью промышленных объектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительство и архитектура, университеты и наука, научно-образовательный центр, инфраструктура инноваций, технологическая безопасность, коррозионная защищенность, управление, цифровые технологии

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Кущенко И.В., Королёв В.П. Традиции и инновации в образовательном процессе и университетской науке для развития компетенций в сфере строительства // Строительство: наука и образование. 2023. Т. 13. Вып. 3. Ст. 7. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.7

Автор, ответственный за переписку: Владимир Петрович Королёв, korolyovskif@yandex.ru.

Traditions and innovations in the educational process and university science for development of competences in the construction sector

Igor V. Kushchenko, Vladimir P. Korolov

Priazovsk State Technical University (PSTU); Mariupol, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The article deals with the actual issues of application of traditional and innovative technologies in teaching students of construction specialities in Priazovsk State Technical University (PSTU). The peculiarities of integration of specialized civil engineering education and a wide range of directions of university education are analyzed. The infrastructure of competence-based approach to motivate professional, scientific and career development of construction personnel is

proposed. The necessity of expanding the interaction of educational, industry, scientific and public organizations and business for successful implementation of the tasks of technological development of the building industry is shown.

Materials and methods. The epistemological essence of modern technological development in the conditions of post-industrial society is analyzed. On the basis of the historical-systemic method, the interdependence of traditions and innovations in the sphere of technical and economic interaction between education, architecture and construction is considered. Spatial and temporal characteristics of continuity conditions in the process of personally oriented education in the field of construction are presented. The tasks of programme-targeted management of creative and innovative potential in the interests of restoration, technological modernization and reconstruction of the industrial complex of Donbass are formulated.

Results. Practical results of the research and development carried out on the basis of scientific, educational and industrial cooperation on the problem of technological safety and corrosion protection of industrial facilities are systematized. The priorities of interaction between the elements of the “science – education – business” infrastructure model, as well as transformation of corporate knowledge into educational programmes and postgraduate continuing education are revealed. The prospect of activity of “Tekhnoresurs” Scientific and Educational Centre in the development of pilot projects to promote of digital technologies of technological safety management of industrial facilities is substantiated.

Conclusions. It is proposed to implement educational programmes and scientific research in the field of construction based on the principles of programme-targeted management. The problem of resource, reliability and safety of construction facilities requires the analysis of regional conditions of industrial and technological development of Donbass. The infrastructure model, balanced on the basis of interrelation of traditions and innovations, provides the competence approach of personality-oriented continuing education in the field of construction. The directions of deepening the knowledge of PSTU students in the field of construction, with account for the existing practice of managing technological safety of industrial facilities.

KEYWORDS: building and architecture, universities and science, scientific and educational centre, infrastructure of innovation, technological safety, corrosion protection, management, digital technologies

FOR CITATION: Kushchenko I.V., Korolov V.P. Traditions and innovations in the educational process and university science for development of competences in the construction sector. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2023; 13(3):7. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.7

Corresponding author: Vladimir P. Korolov, korolyovskif@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Корни современного строительства связаны с фундаментальными основами астрономии, геометрии, механики и архитектуры античного периода. Как известно, смена технологических способов производства сопровождается изменением и развитием технико-экономических отношений. В условиях глобальных геополитических изменений реализация задач научно-технологического и производственного развития строительного комплекса обеспечивается на основе принципов философии познания путем синергетической взаимосвязи традиций и инноваций [1–6]. При этом соотношение инженерных знаний и практики в строительстве имеет конкретно историческое измерение от древности до настоящего дня.

В настоящее время центрами долгосрочных трендов глобального промышленного развития являются технические университеты, которые в соответствии с уставными принципами концентрируют внимание на образовательной составляющей научных и технологических знаний¹. Значительный мобилизационный ресурс в области совершенствования технико-технологических систем, форм и методов инновационной деятельности представляют выпускающие кафедры, координирующие требования к подготовке строительных кадров. В процессе разработки и актуализации учебных программ для

бакалавриата, специалитета и магистратуры формируется нормативная составляющая государственных стандартов образования. Таким образом, передовые технические идеи в области технологических инноваций и практик реального управления производством создают основу для эффективного использования материально-технических, трудовых, финансовых, интеллектуальных, информационных ресурсов в строительстве² [7–10].

История развития Приазовского государственного технического университета (ПГТУ) неразрывно связана с периодом индустриализации и восстановления народного хозяйства страны. Основанный 18 декабря 1928 г. как Мариупольский вечерний рабочий металлургический техникум, он стал кузницей инженерных кадров для металлургической и машиностроительной отраслей промышленности. В 1993 г. после обретения статуса университета расширяются возможности подготовки специалистов в условиях формирования рыночной экономики. Открываются новые специальности на факультетах: металлургическом, механико-машиностроительном, сварочном, транспортных технологий, экономическом, энергетическом, информационных технологий, инженерно-педагогическом, гуманитарном. Университет подтверждает высший четвертый уровень аккредитации вуза, получает международные

¹ О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года : Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474. Опул. 21.07.20. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45726>

² Акимов П.А. Укрепление кадрового потенциала: о разработке Концепции подготовки кадров для строительной отрасли до 2035 года. URL: <https://stroygaz.ru/publication/kadry/ukreplenie-kadrovogo-potentsiala-o-razrabotke-konceptsi-podgotovki-kadrov-dlya-stroitelnoy-otrasli/>

сертификаты ИСО-9000, ИСО-14000. В 2014 г. образовательная подготовка ведется по 50 магистерским и 35 бакалаврским специальностям.

В советский период Мариуполь, являясь крупным центром металлургической, машиностроительной и химической промышленности, производства строительных материалов и индустриального строительства, не обладал необходимой научной базой для создания специализированного инженерно-строительного института. Поэтому образование в 2010 г. кафедры строительства, технической эксплуатации и реконструкции (СТЭР) (зав. кафедрой д. т. н., проф. В.П. Королёв) стало важным событием в развитии многопрофильной системы образовательных программ ПГТУ. Вместе с этим открылись дополнительные возможности для удовлетворения региональной потребности в специалистах строительного профиля благодаря структуре политехнического образования.

Цель статьи — анализ традиций и инноваций архитектурно-строительной науки и образования для программно-целевого формирования компетенций и личностно ориентированного подхода с учетом региональных приоритетов университетской подготовки студентов строительных специальностей.

Сущность нововведений, развитых в процессе формирования кафедры СТЭР, включала трансформацию научно-методических разработок профессорско-преподавательского состава в вариативную составляющую образовательно-профессиональной программы подготовки студентов по направлению «Строительство». Вариативная часть основной профессиональной образовательной программы предполагает решение задач подготовки специалистов по условиям:

- целевого распределения (запроса работодателя);
- компетенций в области технологической безопасности и коррозионной защищенности промышленных объектов (выбор кафедры);
- дополнительной личностно ориентированной программы (индивидуальный выбор студентов).

Реализация установленных моделей вариативной подготовки студентов сопряжена с мобилизацией образовательных ресурсов, которые ограничены возможностями одной кафедры, требуют привлечения передового опыта в области строительных материалов и технологий, результатов научных исследований профильных институтов, университетских структур, научных организаций, бизнеса и общественных организаций.

Содержательная и организационная составляющие предлагаемой инфраструктурной модели «наука – образование – бизнес» апробированы на примерах программ развития структурных подразделений Научно-образовательного центра (НОЦ) «Техноресурс» (научный руководитель

проф. В.П. Королёв) и Центра карьеры ПГТУ (начальник к. т. н. И.В. Кущенко).

Центр карьеры ПГТУ, образованный в 2012 г. как социальный и общественный проект, направлен на совершенствование профессиональной подготовки, реализацию личностно ориентированной и целевой подготовки с учетом потребностей работодателей. НОЦ «Техноресурс» создан на базе кафедры СТЭР в составе научно-исследовательской части ПГТУ в 2014 г. с целью расширения компетентностной подготовки студентов на основе взаимодействия с Донецким научным центром НАН Украины, ООО «Укринсталкон им. В.Н. Шимановского», ПАО «Донецксталь-металлургический завод», ДП «Донецкий Промстройиниипроект», ООО «Конструкция» и др.

Деятельность НОЦ «Техноресурс» и Центра карьеры ПГТУ осуществлялась при поддержке регионального благотворительного фонда «Образование и наука для прогресса строительства», действующего на территории Донецкой и Луганской областей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Философия познания основана на принципах диалектики, историзма, практики, познаваемости, объективности и конкретности, что позволяет наиболее полно раскрывать структуру и особенности функционирования образовательных процессов [11–16]. Традиции и инновации в архитектурно-строительной науке и образовании, как предмет исследования и анализа условий устойчивого развития строительного комплекса, включают применение историко-системного метода для целостного рассмотрения действующей формы общественно-экономической формации.

В исторической ретроспекции традиции и инновации взаимосвязаны с творческим потенциалом и научно-педагогическим наследием выдающихся представителей архитектуры, строительной науки и образования [17, 18]. Среди предшественников, определивших расположение краеугольного камня в основание подготовки строительных кадров в ПГТУ, следует выделить творческий вклад научных школ и творческих объединений, обеспечивающих преемственность развития строительной отрасли на различных этапах государственного устройства.

Индустриализация в Российской империи

Развитие промышленности, транспорта и связи во второй половине XIX в. способствовало образованию профильных учебных заведений для подготовки архитекторов и строителей. В 1876 г. по рескрипту Александра II образовано Центральное училище технического рисования (ЦУТР) барона А.Л. Штиглица. Первым директором ЦУТР стал

блестящий архитектор М.Е. Месмахер. С училищем связаны имена талантливых художников и архитекторов. Представителем стиля петербургского модерна являлся академик Императорской Академии художеств, профессор училища технического рисования им. А.Л. Штиглица и Ксенинского института Л.Х. Маршнер. Выпускник института гражданских инженеров им. Императора Николая I В.А. Нильсен был приглашен в 1901 г. на должность главного архитектора Мариуполя. Разрешение на строительство городского водопровода и водонапорной башни (высота 33 м) по архитектурному проекту В.А. Нильсена подписал премьер-министр Российской империи П.А. Столыпин. В настоящее время творение В.А. Нильсена остается архитектурно-исторической доминантой Мариуполя.

Индустриализация в Советском Союзе

В 30-х годах на базе инженерных факультетов технических вузов создаются инженерно-строительные институты (ИСИ). Формирование научных школ отражает задачи строительства по созданию промышленной базы основных отраслей экономики и восстановления народного хозяйства. Научно-методической основой для становления кафедры СТЭР ПГТУ стали примеры деятельности научных школ д. т. н., проф. М.М. Жербина (Киевский ИСИ) и д. т. н., проф. Я.М. Лихтарникова (Макеевский ИСИ) в период 1960–1990 гг. Общим знаменателем для формирования требований подготовки кадров являлась тесная связь науки и производства.

Выпускник Ленинградского ИСИ М.М. Жербин начал трудовую деятельность в институте «Гипрошахт». После войны организовал деятельность Центрального бюро копров и шахтного оборудования (ЦБКО) по восстановлению угледобывающих предприятий Донбасса. За выдающиеся изобретения и коренные усовершенствования методов производственной работы М.М. Жербин был удостоен Сталинской премии (1948). С 1948 г. М.М. Жербин руководит деятельностью Западшахтпроекта, затем Укргипрошахта и УкрНИИпроекта в Киеве. Начиная с 1967 г. заведует кафедрой металлических и деревянных конструкций Киевского инженерно-строительного института. Основные направления научных разработок д. т. н., проф. М.М. Жербина связаны с внедрением сварки при возведении копров, созданием универсальных цилиндрических надшахтных и башенных копров. Получили внедрение высокопрочные стали и тонкостенные оболочки, разработаны транспортно-отвальные мосты в горной промышленности, предложены методы реконструкции жилых зданий с использованием легких металлоконструкций.

Выпускник Новосибирского ИСИ Я.М. Лихтарников начал трудовую деятельность на Новосибирском заводе «Стальконструкция» в должностях конструктора, начальника отдела подготовки про-

изводства, главного инженера. В 1948 г. направлен главным инженером Орского завода металлических конструкций Минтяжстроя. С 1954 по 1956 гг. — главный инженер на Донецком заводе металлоконструкций. В 1956 г. переходит на работу в Донецкий политехнический институт руководителем созданной им кафедры строительных конструкций. Область научных интересов д. т. н., проф. Я.М. Лихтарникова связана с развитием теории проектирования экономичных конструкций, исследованием связей конструктивной формы, технологии и трудоемкости изготовления металлических конструкций, разработкой методов их технико-экономического анализа на стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации строительных объектов.

Образовательные процессы традиционной высшей школы предполагали совершенствование форм и методов мотивации качества знаний студентов, организации самостоятельной и научной работы, практической подготовки на предприятиях строительной отрасли, целевую подготовку и распределение выпускников.

Деиндустриализация

Кризисные явления, вызванные распадом советской системы хозяйствования, привели к значительному ущербу в промышленной сфере и вызвали негативные последствия для развития строительной науки и техники. Значительный износ основных средств привел к потребности в технологическом обновлении и инновационном развитии основных отраслей экономики [19]. Методология постановки и реализации задач данного исследования связана с результатами работ [20], выполненных в рамках государственной целевой комплексной программы (ГЦКП) НАН Украины «Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин» под научным руководством академика Б.Е. Патона. Это позволило развить новые подходы к решению проблемы ресурсосбережения, обеспечения коррозионной защищенности путем реструктурирования технологий безопасности и формирования когерентных требований, приемов и процедур технического обслуживания по фактическому состоянию промышленных объектов [21]. Таким образом, появилась потребность в становлении образовательной составляющей технологической безопасности, направленной на обеспечение устойчивого развития предприятий, предотвращение аварийных ситуаций конструкций зданий и сооружений при модернизации, реконструкции и продлении срока эксплуатации.

Переход от индустриальной «ресурсной» модели к постиндустриальному развитию определил приоритеты задачи инновационного преобразования во всех сферах экономики, промышленности, науки, образования, культуры и искусства. В условиях ограниченных ресурсов государственной под-

держки вузов основным инструментом для создания профильного строительного образования в структуре ПГТУ стал программно-целевой метод, устанавливающий принципы управления инфраструктурной средой «наука – образование – бизнес». Укреплению взаимосвязи традиций и инноваций способствовало объединение усилий в сфере обеспечения технологической безопасности на объектах металлургической, машиностроительной, коксохимической и горнорудной промышленности Донбасса. Увязывание воедино целей и ресурсов науки, образования и производства выполнено на совместном расширенном заседании Донецкого научного центра НАН и МОН Украины «Состояние и методы по обеспечению технологической безопасности в основных отраслях экономики Донбасса» с участием заинтересованных специалистов производства и бизнеса (г. Донецк, 19 мая 2009 г.).

По результатам обсуждения проблемы предложен комплекс мер, направленных на совершенствование управленческих технологий для решения задач поддержания и восстановления работоспособности, технологического обновления и реконструкции промышленных объектов Донбасса. Переход от функционального к процессному управлению вопросами обеспечения качества, надежности и безопасности конструкций и сооружений стал возможным благодаря разработке и внедрению технических регламентов (стандартов предприятий).

В строительной науке высокий уровень опасности производственных процессов при проектировании учитывается мерами конструктивной безопасности с учетом положений концепции предельных состояний и отбора расчетных ситуаций с наиболее неблагоприятными воздействиями на протяжении проектного срока службы конструкций. Как важнейший приоритет теории познания и управления в области технологической безопасности следует рассматривать слова английского поэта и драматурга У. Шекспира: «Залог успешного руководства — видеть многовариантность будущего, умение предусматривать самые мрачные сценарии».

Основной научный результат программно-целевого обоснования ресурсов технологической безопасности связан с отработкой инфраструктурной модели взаимодействия «наука – образование – бизнес» и формированием критериев предельных состояний для резервирования коррозионной защищенности стальных конструкций и сооружений. Сущность инновационного потенциала коррозионной защищенности определяют возможности системы противокоррозионной защиты конструкций (СПЗК) удовлетворять требованиям технологической безопасности с учетом приемлемого риска [22, 23].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Программно-целевой подход в управлении технологической безопасностью в основных отраслях экономики Донбасса связан с задействованием ресурсов науки, образования, производства и бизнеса для поэтапной реализации задач информационного, методического, нормативно-технического, организационного, квалификационного обеспечения безаварийной эксплуатации и выявления рисков технико-экономической защищенности основных средств предприятий.

Прагматизм предлагаемой инфраструктурной модели взаимодействия «наука – образование – бизнес» состоит в достижении конечного результата:

- наука — научно-техническое сопровождение, мониторинг и риск-диагностика, обоснование ресурсосберегающих материалов и разработка информационных технологий;
- образование — актуализация учебных программ, повышение квалификации при внедрении инновационных технологий;
- бизнес — обеспечение ресурса и снижение инвестиционных рисков промышленных объектов на основе технологий инженерной защиты и управления технологической безопасностью.

Решению *проблемы технико-экономического обоснования* параметров работоспособности строительных объектов, исходя из условий эксплуатации, надежности и долговечности, посвящены работы научной школы проф. Я.М. Лихтарникова, становление которой в Донбассе связано с 60–70 годами прошлого столетия [24, 25]. Кандидатская диссертация на тему «Трудоемкость изготовления металлоконструкций промзданий и методика ее определения» была подготовлена инженером Я.М. Лихтарниковым под руководством проф. Н.С. Стрелецкого. В 1968 г. к. т. н. Я.М. Лихтарниковым защищена докторская диссертация по теме «Влияние конструктивной формы и технологии на трудоемкость изготовления стальных стержневых конструкций». Сущность сформированного методического подхода отражают базовые показатели качества металлоконструкций. Проведенные исследования строительных коэффициентов позволили проф. Я.М. Лихтарникову разработать интегральную структуру рангов показателей качества (их весовых коэффициентов).

На *проблеме технико-экономической защищенности* промышленных объектов сконцентрировано внимание в работах Донбасского центра технологической безопасности (ДонЦТБ, г. Макеевка) ООО «Украинский институт стальных конструкций им. В.Н. Шимановского» [21, 26]. При этом оценку работоспособности строительных металлоконструкций предлагается выполнять на основе современной квалитологии с использованием моделей и алгоритмов риск-диагностики конструкций и сооружений [27].

Использование квалитетических характеристик для управления технико-экономической защищенностью, согласно процедуре HAZOP (HAZARD & OPERABILITY) и нормам менеджмента рисков IEC/ISO 31010, снижает влияние человеческого фактора и позволяет принимать решения на основе процедур, определенных регламентом безопасности промышленных объектов. Методика регистрационной оценки уровня риска по показателям технико-экономической защищенности использована при разработке информационно-аналитической базы данных «Ресурс», состав и функции которой регламентированы положениями «Интегрированной системы управления качеством, экологией и охраной труда» стандарта предприятия СТП 101С-6.3-05–2007 «Обеспечение технологической безопасности при эксплуатации строительных конструкций зданий и сооружений» Частного акционерного общества (ЧАО) «Донецксталь-металлургический завод». Реализация процессного подхода к управлению технологической безопасностью произведена на объектном уровне для конструкций зданий и сооружений Публичного акционерного общества (ПАО) «Металлургический комбинат “Азовсталь”». Управленческая технология предупреждения аварийных ситуаций построена на основе оценки рисков с учетом уровней уязвимости и угроз, живучести и ремонтпригодности при обслуживании объектов по фактическому состоянию. Таким образом, обеспечиваются необходимые условия для построения вертикально-интегрированной системы управления безопасностью конструкций и сооружений промышленных объектов на основе принципов менеджмента ISO 9001.

Инновационный характер положений, определяющих менеджмент технологической безопасности, позволяет актуализировать образовательно-профессиональные программы студентов строительных специальностей. Программно-целевое управление создает дополнительные стимулы для расширения компетенций и личностно ориентированной подготовки и переподготовки кадров с учетом учебно-методической, научной базы и производственных контактов НОЦ «Техноресурс».

Инфраструктурная модель взаимодействия «наука – образование – бизнес» была задействована в деятельности кафедры СТЭР при повышении квалификации в вопросах:

- научно-технического сопровождения проблем ресурса конструкций и сооружений, разработки и внедрения стандартов предприятия, регламентирующих технологическую безопасность, мониторинга строительных конструкций зданий и сооружений;
- информационных технологий анализа технического состояния и принятия решений по мерам технико-экономической защищенности промышленных объектов.

Неоценимыми являются роль и значимость вклада наставников НОЦ «Техноресурс», среди которых:

Юрий Борисович Высоцкий — специалист в области физической химии, квантово-химических расчетов. Доктор химических наук (1985), профессор (1989). Область научных интересов связана с развитием новых квантово-механических моделей в теоретической химии, расчетом термодинамических характеристик кластеров на поверхности раздела фаз. Прикладное направление — защита от коррозии строительных конструкций, охрана окружающей среды и утилизация отходов.

Виктор Михайлович Клыков — инженер-строитель, специалист в области строительных металлических конструкций. Кандидат технических наук (1960), доцент (1962). Под руководством д. т. н. профессора А.И. Кикина, при консультациях д. т. н. профессора Е.Н. Лессига и член-кор. АН, д. т. н. профессора Н.С. Стрелецкого выполнена и в 1960 г. защищена кандидатская диссертация «Исследование работы опорных колец трубопроводов больших диаметров». Область научных интересов связана с исследованием действительной работы стержневых конструкций из гнутых замкнутых профилей.

Александр Андреевич Рыженков — инженер-строитель, специалист в области строительных металлических конструкций. Кандидат технических наук (2009). Трудовая биография началась с вальцовщика (1970) на Донецком заводе металлоконструкций (ныне ПАО «Конструкция»). В период с 1980 по 2014 гг. — мастер, начальник цеха, главный технолог, главный инженер, директор ПАО «Конструкция». Область научных интересов связана с совершенствованием технологической подготовки производства, оценкой соответствия показателей коррозионной стойкости и долговечности, внедрением новых средств и методов противокоррозионной защиты.

Юрий Васильевич Филатов — специалист в области строительных металлических конструкций. Заслуженный работник промышленности Украины (2005), кандидат технических наук (2008), Лауреат государственной премии Украины в области науки и техники (2013). Окончил Макеевский строительный техникум по специальности «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений» (1974). Находился в руководящем составе одной из крупнейших промышленных групп страны — концерна «Энерго», возглавлял в последние годы наблюдательный совет компании «Донецксталь», внес огромный вклад в строительство и модернизацию объектов металлургической, коксохимической и горнорудной промышленности. Область научных интересов включала антикризисное управление мерами технологической безопасности и продление остаточного ресурса сооружений, оценку рисков показателей

ремонтпригодности и послеремонтной несущей способности.

Программно-целевое развитие мер технологической безопасности выполнялось на основе выявления приоритетов взаимодействия участников, научно-технического сопровождения проблем ресурса промышленных объектов. В течение 2009–2015 гг. с участием профессорско-преподавательского состава кафедры СТЭР проведены научно-технические мероприятия:

- координационное совещание «Техническое регулирование качества и безопасности при изготовлении, монтаже, эксплуатации и реконструкции сооружений, конструкций, оборудования и инженерных сетей» (11–12 ноября 2009 г., г. Мариуполь, ПГТУ);

- координационно-методическое совещание «Формирование единой системы подготовки специалистов в области технологической безопасности зданий и сооружений в основных отраслях экономики Украины» (1 июня 2010 г., г. Киев, КГУСА);

- заседание регионального комитета по экономическим реформам при Донецкой облгосадминистрации «Обеспечение технологической безопасности и защита от коррозии в гражданской и производственной сферах экономики Донбасса» (2 сентября 2011 г., г. Донецк, облгосадминистрация);

- международная научно-практическая конференция-выставка «Донбасс–Ресурс–2011. Качество и безопасность в строительстве», посвященная 100-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники Украины проф. Михаила Михайловича Жербина (19–23 сентября 2011 г., г. Мариуполь, ПГТУ);

- совместное заседание Совета Донецкого научного центра и Западного научного центра «Перспективы устойчивого развития регионов: Преодоление экономических и техногенных угроз» (11 октября 2012 г., г. Северодонецк);

- международный научно-практический семинар «Интегрированный подход к обеспечению технологической безопасности и качества защиты от коррозии основных фондов промышленных предприятий: национальные стандарты и мировой опыт» (24 сентября 2013 г., Международный институт предпринимательства Донецкой торгово-промышленной палаты).

В 2015 г. кафедра СТЭР реорганизована в кафедру архитектуры (зав. кафедрой д. т. н., проф. А.Н. Гибаленко). Образовательные возможности кафедры значительно расширились за счет лицензирования и аккредитации новых архитектурных специальностей.

Деятельность НОЦ «Техноресурс» обеспечила подготовку и защиту двух кандидатских и одной докторской диссертации. Преподаватели кафедры и научные сотрудники НОЦ «Техноресурс» приняли участие в международных конференциях и кон-

грессах, которые состоялись в Венгрии, Великобритании, Германии, Испании, Италии, Польше, Португалии, Российской Федерации, Словакии, Турции, Украине, Финляндии, Франции, Чехии.

Преимущества программно-целевого подхода позволили реализовать инфраструктурную модель взаимодействия «наука – образование – бизнес» с учетом возможностей управления и планирования всех участников НОЦ «Техноресурс». Сохранение традиций и внедрение инноваций в образовательные программы обеспечили совершенствование учебно-методических разработок и подготовку двух учебных пособий по курсу стальных конструкций [28, 29].

Утверждение Президентом России Федерального закона от 17.02.2023 № 19-ФЗ предусматривает механизмы интеграции образования и науки новых субъектов в образовательное пространство Российской Федерации. Обновленная структура ПГТУ после регистрации в МОН Донецкой Народной Республики включает кафедру строительства, архитектуры и дизайна (заведующая кафедрой к. т. н., доц. Е.Н. Сорочан), которой предстоит продолжить традиции строительной науки и образования ПГТУ в новых реалиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ образовательных традиций и инновационного характера развития науки и строительных технологий на принципах историко-системного подхода свидетельствует о необходимости формирования целостности университетских знаний для обеспечения устойчивого развития региональной структуры управления и производства. Приоритеты научных исследований в сфере строительства неразрывно связаны с экономическими тенденциями промышленного роста регионов. Выявление потребностей и направленности разработок в процессе научно-технического сотрудничества создает стимулы для мотивации и расширения образовательных компетенций и личностно ориентированной подготовки кадров в строительной отрасли. Важным условием поступательного развития целевых ориентиров программ архитектурно-строительного образования служит достижение баланса интересов, основанного на преемственности традиций и адаптации инноваций, с учетом реальных требований конкурентной среды в строительном комплексе.

Для актуализации образовательных программ и проведения научных исследований на кафедре строительства, технической эксплуатации и реконструкции ПГТУ применены принципы программно-целевого управления, отражающие специфику подготовки студентов строительных специальностей, а также непрерывного образования в многопрофильном политехническом университете. Обоснованы

формы и методы структурного и функционального взаимодействия кафедры СТЭР, как традиционного университетского подразделения, инновационных центров НОЦ «Техноресурс» и Центра карьера ПГТУ, с привлечением технологий наставничества в науке и технике. Эффективность реализации представленной инфраструктурной модели «наука – образование – бизнес» с учетом целей и задач отраслевого и регионального развития подтверждена результатами внедрения в учебный процесс, последиplomное образование и при подготовке кадров высшей квалификации.

Как пример творческого взаимодействия образования, науки и производства рассмотрены условия постановки и реализации задач, определенных отраслевой и региональной составляющей государственной программы «Ресурс», разработанной по инициативе академика Б.Е. Патона. Тематика проблемных вопросов сфокусирована на особенностях постиндустриального развития в период 2010–2020 гг., связанных с ограниченностью материальных и инвестиционных ресурсов промышленных предприятий. В таких условиях возрастают угрозы техногенных рисков, требуется реализация антикризисных мер в области ресурсосбережения и технологической безопасности, кадрового обеспечения управленческих и строительных процессов при модернизации, реконструкции и продлении срока службы действующих производственных комплексов.

Установлено, что обеспечение технологической безопасности на объектном уровне связано с регла-

ментацией методов программно-целевого управления надежностью конструкций и сооружений. Обоснован методический подход к оценке рисков технико-экономической защищенности объектов с учетом квалиметрических показателей надежности. При этом решение практических задач ресурсосбережения и коррозионной защищенности связано с применением технических регламентов оценки качества, надежности и безопасности на протяжении жизненного цикла промышленных объектов.

В заключение необходимо отметить, что устойчивое развитие предприятий в современных условиях неразрывно связано с инновационной деятельностью в области ресурсосбережения и безаварийной эксплуатации зданий и сооружений. Проблема технологической безопасности и долговечности основных средств имеет значимость для подготовки специалистов металлургической, машиностроительной, химической и других отраслей промышленного производства. Особое значение внедрение инноваций имеет для программ цифрового моделирования и платформ проектного управления технико-экономической защищенностью с использованием информационных ресурсов. Таким образом, обеспечение качества, надежности и безопасности конструкций и сооружений промышленных объектов следует рассматривать как базовый элемент системы менеджмента, включающий организационно-технические инновации в образовании и жизнедеятельности предприятий с использованием методов цифровой экономики.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Теличенко В.И. Научно-техническая революция, технологические барьеры и инновации // Вестник МГСУ. 2019. № 12. С. 1503–1504.
2. Cognition, education, and communication Technology. 1st ed. Gardenfors P., Johansson P. (Eds.). Routledge, 2005. DOI: 10.4324/9781410612892
3. Инновации в строительстве / под ред. Ф. Орставик, Э. Дэйнти, К. Эбботт. Wiley Blackwell, 2015. 152 p. URL: www.gov.kz/uploads/2020/10/7/b789bf5edc0243a99d2b765ceab8d434_original.3402542.pdf
4. Findikoğlu F., İlhan D. Realization of a desired future: Innovation in education // Universal Journal of Educational Research. 2016. Vol. 4. Issue 11. Pp. 2574–2580. DOI: 10.13189/ujer.2016.041110
5. Сюй Хайшэнь. Проблемы внедрения инноваций в вузах // Педагогический журнал. 2020. Т. 10. № 4А. С. 301–306. DOI: 10.34670/AR.2020.68.46.092. URL: <http://www.publishing-vak.ru/file/archive-pedagogy-2020-4/39-xu.pdf>
6. Müller J.W. Education and inspirational intuition — Drivers of innovation // Heliyon. 2021. Vol. 7. Issue 9. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e07923
7. Максимова Е.А. Структура и задачи образовательного холдинга // Образование и наука. 2013. № 2 (101). С. 18–27. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18846989>
8. Жуков А.Н., Артюхина О.В. Проблема квалифицированных кадров в строительстве // Молодой ученый. 2014. № 20 (79). С. 129–131. URL: <https://moluch.ru/archive/79/13889>
9. Пуляева В.Н. Обучение и развитие персонала в строительной отрасли // Российское предпринимательство. 2019. Т. 20. № 1. С. 207–222. DOI: 10.18334/rp.20.1.39713
10. Проворов В.Н. Управление кадровым потенциалом строительной организации // Вестник Евразийской науки. 2021. № 3. URL: <https://esj.today/PDF/21SAVN321.pdf>
11. Jonassen D., Reeves T.C. Learning with technology: Using computers as cognitive tools / D.H. Jona-

ssen (ed.) : handbook of research for educational communications and technology. New York : Macmillan, 1996. Pp. 693–719.

12. Алексеев Н.А. Личностно ориентированное обучение: Вопросы теории и практики. М., 2006. 163 с.

13. Yuryevna K.O., Vasilyevna B.S. Professional development of teachers of higher education on the basis of competence-based approach 2012 // 15th International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL). Villach, Austria. 2012. Pp. 1–2. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6402025>. DOI: 10.1109/ICL.2012.6402025

14. Atanov I., Kapustin I., Lebedev A., Grinchenko V., Kapustina E. Compence-based approach to education in higher educational institution // Modern European Researches. 2015. Vol. 2. Pp. 6–9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/competence-based-approach-to-education-in-higher-educational-institution>

15. Меликсетян С.Н. Развитие программно-целевого метода планирования в сфере образования // Финансы и кредит. 2017. Т. 23. № 25. С. 1545–1562. DOI: 10.24891/фс.23.26.1545

16. Khakhomov S., Semchenko I., Demidenko O., Kovalenko D. Research and Education: Traditions and Innovations // Proceedings of the 19th International Conference on Global Research and Education (Inter-Academia 2021). URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-19-0379-3#author-1-0>

17. Люди русской науки. Очерки о выдающихся деятелях естествознания и техники : в 2-х т. М. ; Л., 1948. С. 1197.

18. Развитие строительной науки и техники в Украине : в 3-х т. Киев : Наук. думка, 1989–1990.

19. Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин : зб. наук. праць / наук. ред. Б.Є. Патон. Київ, 2009. С. 710 (Проблеми ресурса і безпека експлуатації конструкцій, споруд та машин : зб. наук. тр. / науч. ред. Б.Е. Патон. Киев, 2009. С. 710).

20. Шимановский А.В., Гордеев В.Н., Королёв В.П., Оглобля А.И., Рухович И.Р., Филатов Ю.В. Техническая диагностика и предупреждение аварийных ситуаций конструкций зданий и сооружений. Киев, 2008. С. 463.

21. Корольов В.П. та ін. Проблеми ресурсу і технологічної безпеки металевих конструкцій у корозійних середовищах / Розробки і практичний досвід менеджменту надійності будівельних

об'єктів // Прес-досьє ДонЦТБ ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського». Маріуполь, 2015. С. 75 (Корольов В.П. и др. Проблемы ресурса и технологической безопасности металлических конструкций в коррозионных средах / разработки и практический опыт менеджмента надежности строительных объектов // Прес-досьє ДонЦТБ ООО «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського». Мариуполь, 2015. С. 75).

22. Королёв В.П. Квалиметрические методы управления рисками технологической безопасности конструкций и сооружений промышленных объектов // Безопасность жизнедеятельности. 2021. № 8. С. 29–40.

23. Королёв В.П., Рыженков А.А., Королёв П.В. Эволюция концептуальных подходов к управлению коррозионной защищенностью стальных конструкций и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 8. С. 32–40. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.08.32-40

24. Лихтарников Я.М., Летников Н.С., Левченко В.Н. Техничко-экономические основы проектирования строительных конструкций : учеб. пособие. Киев ; Донецк : Вища шк., 1980. 240 с.

25. Лихтарников Я.М., Ладыженский Д.В., Клыков В.М. Расчет стальных конструкций : справ. пособие. Киев : Будівельник, 1984. 368 с.

26. Королёв В.П., Герман Г.А. Метод оценки эффективности материалов и технологий для обеспечения коррозионной защищенности стальных конструкций // Современное строительство и архитектура. 2022. № 1(25). С. 40–47. DOI: 10.18454/мса.2022.25.7

27. Королёв В.П. Методический подход к обеспечению работоспособности металлоконструкций в условиях коррозионной опасности // Строительство и реконструкция. 2019. № 4 (84). С. 70–82. DOI: 10.33979/2073-7416-2019-84-4-70-82

28. Клыков В.М., Королёв В.П., Рыженков А.А., Филатов Ю.В. Курс стальных конструкций : Теория и практика : учеб. пособие / под общ. ред. В.П. Королёва. Мариуполь ; Киев : Сталь, 2016. 575 с. URL: <http://catalog.odnb.odessa.ua/opac/index.php?url=/notices/index/IdNotice:362637>

29. Клыков В.М., Королёв В.П., Рыженков А.А., Галактионов А.В., Герман Г.А. Курс стальных конструкций: Здания и сооружения промышленного назначения : учеб. пособие / под общ. ред. В.П. Королёва. М. ; Донецк : НИЦ МИСИ, 2020. 576 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44141476>

Поступила в редакцию 9 мая 2023 г.

Принята в доработанном виде 20 мая 2023 г.

Одобрена для публикации 14 июня 2023 г.

Об авторах: **Игорь Владимирович Куценко** — кандидат технических наук, исполняющий обязанности ректора; **Приазовский государственный технический университет (ПГТУ)**; 287501, г. Мариуполь, ул. Университетская, д. 7; kigorvlad@yandex.ru;

Владимир Петрович Королёв — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительства, архитектуры и дизайна; **Приазовский государственный технический университет (ПГТУ)**; 287501, г. Мариуполь, ул. Университетская, д. 7; korolyovskif@yandex.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

The roots of modern construction are connected with the fundamental foundations of astronomy, geometry, mechanics and architecture of the ancient period. As is known, the change of technological modes of production is accompanied by the change and development of technical and economic relations. In the conditions of global geopolitical changes, the realization of the tasks of scientific, technological and production development of the construction complex is provided on the basis of the principles of the philosophy of cognition, by means of synergetic interrelation of traditions and innovations [1–6]. In this case, the correlation of engineering knowledge and practice in construction has a specifically historical dimension from antiquity to the present time.

Currently, the centres of long-term trends in global industrial development are technical universities, which, in accordance with the statutory principles, focus on the educational component of scientific and technological knowledge¹. A significant mobilization resource in the field of improvement of technical and technological systems, forms and methods of innovation activity is represented by graduate departments that coordinate the requirements for training of construction personnel. In the process of development and updating of curricula for bachelor's, specialist's and master's degrees, the normative component of state educational standards is formed. Thus, advanced technical ideas in the field of technological innovation and real production management practices create the basis for the effective use of material and technical, labour, financial, intellectual, information resources in construction² [7–10].

The history of development of Priazovsk State Technical University (PSTU) is inextricably linked with the period of industrialization and restoration of the national economy of the country. Founded on 18 December 1928, as Mariupol evening working metallurgical technical school, it became a forge of engineering per-

sonnel for metallurgical and machine-building industries. In 1993, after acquiring the status of a university, the possibilities of training specialists in the conditions of market economy formation were expanded. New specialities were opened at the following faculties: metallurgical, mechanical and machine-building, welding, transport technologies, economic, energy, information technologies, engineering and pedagogical, humanitarian. The University confirms the highest fourth level of accreditation of HEI, receives international certificates ISO-9000, ISO-14000. In 2014, educational training is conducted in 50 Master's and 35 Bachelor's specialities.

In the Soviet period Mariupol, being a large centre of metallurgical, machine-building and chemical industries, production of building materials and industrial construction, did not have the necessary scientific base for the creation of a specialized engineering and construction institute. Therefore, the formation in 2010 of the Department of "Construction, Technical Exploitation and Reconstruction" (Head of the Department, Doctor of Technical Sciences, Prof. V.P. Korolev), was an important event in the formation of a multi-disciplinary system of educational programmes PSTU. At the same time, additional opportunities were opened to meet the regional demand for construction specialists due to the structure of polytechnic education.

The aim of the article is to analyze the traditions and innovations of architectural and construction science and education for programme-targeted formation of competences and personality-oriented approach taking into account the regional priorities of university training of students of construction specialties.

The essence of innovations, developed in the process of formation of the STER department, included the transformation of scientific and methodological developments of the teaching staff in the variable component of the educational and professional training programme for students in the direction of "Construction". The variable part of the basic professional educational programme involves the solution of problems of training specialists in the conditions:

- target allocation (employer's request);
- competences in the field of technological safety and corrosion protection of industrial facilities (choice of department);
- additional personally oriented programme (individual choice of students).

¹ On the National Development Goals of the Russian Federation for the period up to 2030 : Decree of the President of the Russian Federation No. 474 of 21.07.2020. Publ. 21.07.20. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45726> (rus.).

² Akimov P.A. *Strengthening human resources: on the development of the Concept of personnel training for the construction industry until 2035*. URL: <https://stroygaz.ru/publication/kadry/ukreplenie-kadrovogo-potentsiala-o-razrabotke-kontseptsii-podgotovki-kadrov-dlya-stroitelnoy-otrasli/> (rus.).

The implementation of the established models of variable training of students is associated with the mobilization of educational resources, which are limited by the capabilities of a single department, require the involvement of advanced experience in the field of construction materials and technologies, the results of scientific research of specialized institutes, university structures, scientific organizations, business and public organizations.

Content and organizational components of the proposed infrastructural model “science – education – business” are tested on the examples of development programmes of structural units of the Scientific and Educational Centre (SEC) “Technoresurs” (scientific supervisor Prof. V.P. Korolev) and “Career Centre” (head of Ph.D. I.V. Kushchenko) PSTU.

“PSTU Career Centre”, established in 2012 as a social and public project, is aimed at improving professional training, implementation of personality-oriented and targeted training taking into account the needs of employers. REC “Technoresurs” was established on the basis of STER department as part of the research part of PSTU in 2014 to expand the competence training of students on the basis of cooperation with Donetsk Scientific Centre of the National Academy of Sciences of Ukraine, “Ukrinstalkon named after V.N. Shimanovsky”, PAO “Donetskstal-metallurgical plant”, DP “Donetsk Promstroyniiproekt”, LLC “Konstruktsiya” and others.

The activities of SEC “Technoresurs” and “Career Centre” PSTU were supported by the regional charitable foundation “Education and Science for Construction Progress” operating in Donetsk and Lugansk regions.

MATERIALS AND METHODS

The philosophy of cognition is based on the principles of dialectics, historicism, practice, cognisability, objectivity and concreteness, which allows to reveal the structure and peculiarities of the functioning of educational processes most fully [11–16]. Traditions and innovations in architectural and construction science and education, as a subject of research and analysis of conditions for sustainable development of the construction complex, include the use of historical and systemic method for holistic consideration of the current form of socio-economic formation.

In historical retrospection, traditions and innovations are interrelated with the creative potential and scientific and pedagogical heritage of outstanding representatives of architecture, construction science and education [17, 18]. Among the predecessors that determined the location of the cornerstone in the foundation of construction personnel training in PSTU, it is necessary to highlight the creative contribution of scientific schools and creative associations that ensure the continuity of the development of the construction industry at different stages of the state structure.

Industrialization in the Russian Empire

The development of industry, transport and communications in the second half of the XIX century contributed to the formation of specialized educational institutions for training architects and builders. In 1876, the Central School of Technical Drawing (TSUTR) of Baron A.L. Stieglitz was established by the rescript of Alexander II. The first director of the TSUTR was the brilliant architect M.E. Mesmacher. The names of talented artists and architects are connected with the School. The representative of the St. Petersburg Art Nouveau style was an academician of the Imperial Academy of Arts, professor of the A.L. Stieglitz School of Technical Drawing. A.L. Stieglitz Technical Drawing School and Kseniinsky Institute L.H. Marschner. V.A. Nielsen, a graduate of the Institute of Civil Engineers named after Emperor Nicholas I, was invited in 1901 to be the chief architect of Mariupol. The permit for the construction of the city water supply system and water tower (33 m high) according to the architectural project of V.A. Nielsen was signed by the Prime Minister of the Russian Empire P.A. Stolypin. At present, V.A. Nielsen’s creation remains an architectural and historical dominant of Mariupol.

Industrialization in the Soviet Union

In the 30s, institutes of civil engineering (ICE) were established on the basis of engineering faculties of technical universities. The formation of scientific schools reflects the tasks of construction to create an industrial base for the main branches of the economy and the restoration of the national economy. Scientific and methodological basis for the formation of the Department of STER of HEI PSTU became the examples of activity of scientific schools of Dr. M.M. Zherbin (Kiev ICE) and Dr. M.M. Likhtarnikov (Makkeev ICE) in the period 1960–1990. The common denominator for the formation of training requirements was the close connection between science and production.

M.M. Zherbin, a graduate of the Leningrad ICE, started his labour activity at the Giproschakht Institute. After the war, he organized the activities of the Central Bureau of Shafts and Mine Equipment (CBSE) for the restoration of coal mining enterprises in Donbass. M.M. Zherbin was awarded the Stalin Prize (1948) for his outstanding inventions and fundamental improvements in production methods. Since 1948, M.M. Zherbin has been in charge of the activities of Zapadshakhtproekt, then Ukrkiproschakht and UkrNIIProekt in Kiev. Since 1967, he has been the Head of the Department of Metal and Wooden Structures at the Kiev Engineering and Construction Institute. The main directions of scientific developments of Dr.Sc. Prof. M.M. Zherbin are connected with the introduction of welding in the construction of shafts, creation of universal cylindrical over-mine and tower shafts. High-strength steels and thin-walled shells were introduced, transport and dump

bridges in mining industry were developed, methods of reconstruction of residential buildings using light metal structures were proposed.

Y.M. Likhtarnikov, a graduate of the Novosibirsk ICE, started his career at the Novosibirsk Steel Construction Plant as a designer, head of the production preparation department, and chief engineer. In 1948, he was appointed Chief Engineer of the Orsk Metal Structures Plant of the Ministry of Heavy Construction. From 1954 to 1956 — Chief Engineer at the Donetsk Plant of Metal Structures. In 1956, he went to work in Donetsk Polytechnic Institute as the head of the department “Building Structures” created by him. The field of scientific interests of Dr. Y.M. Likhtarnikov is connected with the development of the theory of design of economic structures, research of relations of structural form, technology and labour intensity of metal structures manufacturing, development of methods of their technical and economic analysis at the stages of design, manufacturing and operation of construction objects.

The educational processes of traditional higher school implied the improvement of forms and methods of motivation of students’ knowledge quality, organization of independent and scientific work, practical training at the enterprises of construction industry, targeted training and distribution of graduates.

Deindustrialization

The crisis phenomena caused by the collapse of the Soviet economic system led to significant damage in the industrial sphere and caused negative consequences for the development of construction science and technology. Significant depreciation of fixed assets caused the need for technological renewal and innovative development of the main sectors of the economy [19]. The methodology of setting and implementation of the tasks of this study is related to the results of works [20], carried out within the framework of the State Target Complex Programme (STCP) of the National Academy of Sciences of Ukraine “Problems of resource and operational safety of structures, facilities and machines” under the scientific leadership of Academician B.E. Paton. This allowed to develop new approaches to solving the problem of resource saving, corrosion protection by restructuring of safety technologies and formation of coherent requirements, techniques and maintenance procedures according to the actual state of industrial facilities [21]. Thus, there is a need for the formation of the educational component of technological safety, aimed at ensuring sustainable development of enterprises, prevention of accidents of building structures and facilities during modernization, reconstruction and extension of service life.

Transition from the industrial “resource” model to post-industrial development has defined as priorities the tasks of innovative transformation in all spheres of economy, industry, science, education, culture and art. In the conditions of limited resources of state support

of universities, the main tool for the creation of profile construction education in the structure of PSTU became the programme-target method, establishing the principles of management of the infrastructural environment “science – education – business”. Strengthening of interrelation of traditions and innovations was promoted by joining efforts in the sphere of ensuring technological safety at the objects of metallurgical, machine-building, coke-chemical and mining-ore industries of Donbass. Linking together the goals and resources of science, education and production was carried out at the joint extended meeting of the Donetsk Scientific Centre of the National Academy of Sciences and the Ministry of Education and Science of Ukraine “Status and methods to ensure technological safety in the main sectors of the economy of Donbass” with the participation of interested specialists of production and business (Donetsk, 19 May 2009).

Based on the results of the problem discussion, a set of measures aimed at improving management technologies for solving the problems of maintaining and restoring the serviceability, technological renewal and reconstruction of industrial facilities in Donbass was proposed. The transition from functional to process management of the issues of quality assurance, reliability and safety of structures and facilities became possible due to the development and implementation of technical regulations (enterprise standards).

In construction science, the high level of hazard of production processes in design is taken into account by structural safety measures, taking into account the provisions of the concept of limit states and selection of design situations with the most unfavourable effects during the design life of structures. The words of English poet and playwright W. Shakespeare should be considered as the most important priority of the theory of cognition and management in the field of technological safety: “The key to successful leadership is to see the multivariability of the future, the ability to envisage the darkest scenarios”.

The main scientific result of the programme-targeted justification of technological safety resources is associated with the development of the infrastructural model of interaction “science – education – business” and the formation of limit state criteria for reserving corrosion protection of steel structures and facilities. The essence of the innovative potential of corrosion protection is determined by the capabilities of the system of corrosion protection of structures to meet the requirements of technological safety taking into account the acceptable risk [22, 23].

RESEARCH RESULTS

The programme-targeted approach in the management of technological safety in the main branches of Donbass economy is connected with the involvement of resources of science, education, production and

business for the step-by-step implementation of tasks of information, methodological, normative-technical, organizational, qualification support of accident-free operation and identification of risks of technical and economic protection of fixed assets of enterprises.

The pragmatism of the proposed infrastructural model of interaction “science – education – business” consists in achieving the final result:

- science — scientific and technical support, monitoring and risk diagnostics, justification of resource-saving materials and development of information technologies;
- education — updating of curricula, professional development in the introduction of innovative technologies;
- business — resource provision and reduction of investment risks of industrial facilities on the basis of engineering protection technologies and technological safety management.

The works of the scientific school of Prof. Y.M. Likhtarnikov, the formation of which in Donbass is connected with the 60–70 years of the last century [24, 25], are devoted to the solution of the *problem of technical and economic substantiation of parameters of serviceability of construction objects*, based on the conditions of operation, reliability and durability. Candidate’s thesis on the topic “Labour intensity of manufacturing of steel structures of industrial buildings and the methodology of its determination” was prepared by engineer Y.M. Likhtarnikov under the guidance of Prof. N.S. Streletsky. In 1968, Y.M. Likhtarnikov defended his doctoral dissertation on the topic “Influence of structural form and technology on the labour input of steel rod structures manufacturing”. The essence of the formed methodical approach reflects the basic quality indicators of steel structures. The conducted research of construction coefficients allowed Prof. Y.M. Likhtarnikov to develop an integral structure of quality indicators ranks (their weight coefficients).

The problem of technical and economic security of industrial facilities is focused on in the works of the Donbas Centre for Technological Safety (DonTsTB, Makeyevka) of the Ukrainian Institute of Steel Structures named after V.N. Shimanovsky [21, 26]. At the same time, it is proposed to assess the serviceability of building steel structures on the basis of modern quality using models and algorithms of risk-diagnostics of structures and facilities [27].

The use of qualimetric characteristics to manage technical and economic security, according to the HAZOP (HAZARD & OPERABILITY) procedure and IEC/ISO 31010 risk management norms, reduces the influence of the “human factor” and allows making decisions based on the procedures defined by the safety regulations of industrial facilities. The methodology of registration estimation of risk level by indicators of technical and economic security is used at development of information-analytical database “Resource”, which

composition and functions are regulated by provisions of “Integrated system of quality management, ecology and labour protection” of enterprise standard 101C-6.3-05–2007 “Provision of technological safety at operation of building structures of buildings and constructions” of Private Joint Stock Company (PAO) “Donetskstal-metallurgical plant”. Realization of the process approach to technological safety management is made at the object level for structures of buildings and constructions of Public Joint Stock Company (PAO) “Azovstal Iron and Steel Works”. Management technology of emergency situations prevention is built on the basis of risk assessment taking into account the levels of vulnerability and threats, survivability and maintainability at maintenance of facilities according to the actual state. Thus, the necessary conditions for building a vertically integrated safety management system for structures and facilities of industrial facilities based on ISO 9001 management principles are provided.

The innovative nature of the provisions defining the management of technological safety allows to actualize educational and professional programmes for students of construction specialties. Programme-targeted management creates additional incentives for the expansion of competences and personality-oriented training and retraining of personnel, taking into account the educational and methodological, scientific base and production contacts of SEC “Technoresurs”.

The infrastructural model of interaction “science – education – business” has been involved in the activities of the STER department in professional development in the issues:

- scientific and technical support of structural and building resource problems, development and implementation of enterprise standards regulating technological safety, monitoring of building structures of buildings and structures;
- information technologies for analyzing the technical condition and decision-making on measures of technical and economic protection of industrial facilities.

The role and significance of the contribution of the mentors of SEC “Technoresurs” are invaluable, including:

Yuri Borisovich Vysotsky — specialist in the field of physical chemistry, quantum-chemical calculations, Doctor of chemical sciences (1985), Professor (1989). The field of scientific interests is connected with the development of new quantum-mechanical models in theoretical chemistry, calculation of thermodynamic characteristics of clusters on the interface. Applied area — corrosion protection of building structures, environmental protection and waste utilisation.

Viktor Mikhailovich Klykov — civil engineer, specialist in the field of building metal structures, Candidate of Technical Sciences (1960), Associate Professor (1962). Under the supervision of Dr. Sc. of Engineering Sciences, Professor A.I. Kikin, with consultations

of Dr. Sc. of Engineering Sciences, Professor E.N. Lessig and Corresponding Member of the Academy of Sciences, Dr. Sc. of Engineering Sciences, in 1960 he defended his PhD thesis “Investigation of the work of support rings of large diameter pipelines”. The field of scientific interests is related to the study of the actual work of rod structures made of bent closed profiles.

Alexander Andreevich Ryzhenkov — civil engineer, specialist in the field of building metal structures. Candidate of Technical Sciences (2009). His labour biography began as a roller (1970) at the Donetsk Plant of Metal Structures (now PAO “Konstruktsiya”). In the period from 1980 to 2014 — foreman, shop manager, chief technologist, chief engineer, director of PAO “Konstruktsiya”. Area of scientific interests is related to the improvement of technological preparation of production, assessment of compliance of corrosion resistance and durability indicators, introduction of new means and methods of corrosion protection.

Yuriy Vasilyevich Filatov is a specialist in the field of building metal structures. Honoured Industrial Worker of Ukraine (2005), Candidate of Technical Sciences (2008), Laureate of the State Prize of Ukraine in the field of science and technology (2013). Graduated from Makeyevka Construction College, specializing in Construction and Operation of Buildings and Structures (1974). He was in the management of one of the largest industrial groups of the country — the concern “Energo”, headed in recent years the supervisory board of the company “Donetskstal”, made a huge contribution to the construction and modernization of objects of metallurgical, coke and chemical and mining industries. His area of scientific interests included anti-crisis management of technological safety measures and extension of residual life of structures, risk assessment of repairability indicators and post-repair bearing capacity.

Programme-targeted development of technological safety measures was carried out on the basis of identifying priorities of interaction of participants, scientific and technical support of the problems of the resource of industrial facilities. During 2009–2015 with the participation of the teaching staff of the STER department, scientific and technical activities were carried out:

- coordination meeting “Technical regulation of quality and safety in manufacturing, installation, operation and reconstruction of structures, constructions, equipment and engineering networks” (11–12 November 2009, Mariupol, PSTU);
- coordination and methodological meeting “Formation of a unified system of training of specialists in the field of technological safety of buildings and structures in the main sectors of the economy of Ukraine” (01 June 2010, Kiev, KNUCA);
- meeting of the Regional Committee on Economic Reforms under the Donetsk Regional State Administration “Ensuring technological safety and corrosion protection in civil and industrial spheres of the economy

of Donbass” (02 September 2011, Donetsk, Regional State Administration);

- international Scientific and Practical Conference-Exhibition “Donbass–Resources–2011. Quality and Safety in Construction”, dedicated to the 100th anniversary of the Honoured Worker of Science and Technology of Ukraine Prof. Mikhail Mikhailovich Zherbin (19–23 September 2011, Mariupol, PSTU);

- joint meeting of the Council of Donetsk Science Centre and Western Science Centre “Prospects for Sustainable Regional Development: Overcoming Economic and Technogenic Threats” (11 October 2012, Severodonetsk);

- international scientific-practical seminar “Integrated approach to ensuring technological safety and quality of corrosion protection of fixed assets of industrial enterprises: national standards and world experience” (24 September 2013, International Institute of Entrepreneurship of Donetsk Chamber of Commerce and Industry).

In 2015, the Chair of STER was reorganized into the Chair of Architecture (Head of the Chair, Doctor of Technical Sciences, Prof. A.N. Gibalenko). The educational opportunities of the department have been significantly expanded due to the licensing and accreditation of new architectural specialities.

The activity of SEC “Technoresurs” provided preparation and defence of two candidate and one doctoral thesis. Teachers of the department and researchers of the SEC “Technoresurs” took part in international conferences and congresses, which were held in Hungary, Great Britain, Germany, Spain, Italy, Poland, Portugal, Russian Federation, Slovakia, Turkey, Ukraine, Finland, France, Czech Republic.

The advantages of the programme-targeted approach made it possible to implement the infrastructural model of interaction “science – education – business” taking into account the management and planning capabilities of all participants of the SEC “Technoresurs”. The preservation of traditions and introduction of innovations in educational programmes ensured the improvement of teaching and methodological developments and preparation of two textbooks on the course of steel structures [28, 29].

Approval by the President of Russia of the Federal Law of 17.02.2023 No. 19-FZ provides mechanisms for the integration of education and science of new subjects in the educational space of the Russian Federation. The renewed structure of PSTU after registration with the Ministry of Education and Science of the Donetsk People’s Republic includes the Department of “Construction, Architecture and Design” (Head of the Department, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor E.N. Sorochan), which will continue the traditions of construction science and education of PSTU in the new realities.

CONCLUSION AND DISCUSSION

The analysis of educational traditions and innovative nature of science and construction technology development on the principles of historical and systemic approach indicates the need to form the integrity of university knowledge to ensure sustainable development of regional management and production structure. The priorities of scientific research in the field of construction are inextricably linked to the economic trends of industrial growth of the regions. Identification of the needs and focus of developments in the process of scientific and technical cooperation creates incentives for motivation and expansion of educational competences and personality-oriented training of personnel in the construction industry. An important condition for the progressive development of the target orientations of architectural and construction education programmes is to achieve a balance of interests based on the continuity of traditions and adaptation of innovations, taking into account the real requirements of the competitive environment in the construction complex.

To update educational programmes and conduct scientific research at the Department of “Construction, Technical Exploitation and Reconstruction” of PSTU the principles of programme-targeted management reflecting the specifics of training students of construction specialties, as well as continuing education in a multidisciplinary polytechnic university have been applied. The forms and methods of structural and functional interaction between the STER department as a traditional university unit, innovation centres of the “Technoresurs” and “Career Centre” of PSTU with the involvement of mentoring technologies in science and technology are substantiated. The effectiveness of the presented infrastructural model “science – education – business”, taking into account the goals and objectives of sectoral and regional development, is confirmed by the results of implementation in the educational process, postgraduate education and training of higher qualification personnel.

As an example of creative interaction between education, science and production, the conditions of setting and implementation of tasks defined by the sec-

toral and regional component of the state programme “Resource”, developed on the initiative of Academician B.E. Paton, are considered. The theme of problematic issues is focused on the peculiarities of post-industrial development in the period 2010–2020, associated with the limited material and investment resources of industrial enterprises. In such conditions the threats of man-made risks increase, it is necessary to implement anti-crisis measures in the field of resource conservation and technological safety, personnel support of management and construction processes in the modernization, reconstruction and extension of the service life of existing production complexes.

It is established that ensuring technological safety at the object level is associated with the regulation of methods of programme-targeted management of the reliability of structures and facilities. The methodological approach to risk assessment of technical and economic protection of objects taking into account qualimetric reliability indicators is substantiated. At the same time, the solution of practical problems of resource saving and corrosion protection is associated with the application of technical regulations for assessing quality, reliability and safety throughout the life cycle of industrial facilities.

In conclusion, it should be noted that the sustainable development of enterprises in modern conditions is inextricably linked with innovative activities in the field of resource conservation and accident-free operation of buildings and structures. The problem of technological safety and durability of fixed assets is significant for training specialists of metallurgical, machine-building, chemical and other branches of industrial production. The introduction of innovations is of particular importance for digital modelling programmes and platforms for project management of technical and economic security using information resources. Thus, ensuring the quality, reliability and safety of structures and facilities of industrial facilities should be considered as a basic element of the management system, including organizational and technical innovations in education and life activities of enterprises using the methods of digital economy.

REFERENCES

1. Telichenko V.I. Scientific-technical revolution, technological hurdles and innovations. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2019; 12:1503-1504. (rus).
2. *Cognition, Education, and Communication Technology* (1st ed.). P. Gardenfors, P. Johansson (Eds.). Routledge, 2005. DOI: 10.4324/9781410612892
3. *Innovation in civil engineering* / ed. by Finn Orstavik, Andrew Dainty, Carl Abbott. Wiley Blackwell, 2015; 152. URL: https://www.gov.kz/uploads/2020/10/7/b789bf5edc0243a99d2b765ce-ab8d434_original.3402542.pdf (rus).
4. Findıkoğlu F., İlhan D. Realization of a desired future: Innovation in education. *Universal Journal of Educational Research*. 2016; 4(11):2574-2580. DOI: 10.13189/ujer.2016.041110
5. Xu Hai Shen. Problems of innovation implementation in higher education institutions. *Pedagogical Journal*. 2020; 10(4A):301-306. DOI: 10.34670/

AR.2020.68.46.092. URL: <http://www.publishing-vak.ru/file/archive-pedagogy-2020-4/39-xu.pdf> (rus).

6. Müller J.W. Education and inspirational intuition — Drivers of innovation. *Heliyon*. 2021; 7(9):e07923. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e07923

7. Maksimova E.A. Structure and objectives of the educational holding. *Education and science*. 2013; 2(101):18-27. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18846989> (rus).

8. Zhukov A.N., Artyukhina O.V. The problem of qualified personnel in civil engineering. *Young scientist*. 2014; 20(79):129-131. URL: <https://moluch.ru/archive/79/13889/> (rus).

9. Pulyaeva V.N. Training and development of personnel in the construction industry. *Rossiyskoe predprinimatelstvo*. 2019; 20(1):207-222. DOI: 10.18334/rp.20.1.3971 (rus).

10. Provorov V.N. Human resources management of a construction organization. *The Eurasian Scientific Journal*. 2021; 3(13). URL: <https://esj.today/PDF/21SAVN321.pdf> (rus).

11. Jonassen D., Reeves T.C. Learning with technology: Using computers as cognitive tools. D.H. Jonassen (ed.). *Handbook of research for educational communications and technology*. New York, 1996; 693-719.

12. Alekseev N.A. *Personally oriented learning: Questions of theory and practice*. Moscow, 2006; 163. (rus).

13. Yuryevna K.O., Vasilyevna B.S. Professional development of teachers of higher education on the basis of competence-based approach. *15th International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*. Villach, Austria, 2012; 1-2. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6402025>. DOI: 10.1109/ICL.2012.6402025

14. Atanov I., Kapustin I., Lebedev A., Grinchenko V., Kapustina E. Competence-based approach to education in higher educational institution. *Modern European Researches*. 2015; 2:6-9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/competence-based-approach-to-education-in-higher-educational-institution>

15. Meliksetyan S.N. Development of a program-oriented planning method in the field of education. *Finansy i kredit*. 2017; 23(25):1545-1562. DOI: 10.24891/fc.23.26.1545 (rus).

16. Khakhomov S., Semchenko I., Demidenko O., Kovalenko D. Research and education: Traditions and innovations. *Proceedings of the 19th International Conference on Global Research and Education (Inter-Academia 2021)*. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-19-0379-3#author-1-0>

17. *People of Russian science. Essays on outstanding figures of natural science and technology*. In two vol. Moscow ; Leningrad, 1948; 1197. (rus).

18. Development of building science and technology in Ukraine. In three volumes. Kyiv, 1989-1990. (rus).

19. *Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин : зб. наук. праць*. Б.С. Патон (наук. ред.). Київ, 2009; 710 [*Problems of Life and Safety of Operation of Structures, Buildings and Machines : collection of research papers*. Paton B.E. (ed.). Kyiv, 2009; 710]. (ukr).

20. Shimanovsky A.V., Gordeev V.N., Korolev V.P., Ogloblya A.I., Rukhovich I.R., Filatov Yu.V. et al. *Technical diagnostics and prevention of accident cases for buildings and installations*. K., 2008; 462. (rus).

21. Корольов В.П. та ін. Проблеми ресурсу і технологічної безпеки металевих конструкцій у корозійних середовищах / Розробки і практичний досвід менеджменту надійності будівельних об'єктів. *Прес-досьє ДонЦТБ ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського»*. Маріуполь, 2015; 75 [Korolov V.P. et al. Problems of resource and technological safety of metal structures in corrosive environments/Developments and practical experience of management of reliability of construction objects. *Press dossier of Dontstb LLC "Ukrinstalcon named after V.M. Shimanovsky"*. Mariupol, 2015; 75]. (ukr).

22. Korolov V.P. Qualimetric methods of risk management of process safety of structures and installations of industrial facilities. *Life safety*. 2021; 8:29-40. (rus).

23. Korolov V.P., Ryzhenkov A.A., Korolov P.V. Evolution of conceptual approaches to management of corrosion protection of steel structures and facilities. *Industrial and Civil Engineering*. 2022; 8:32-40. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.08.32-40. (rus).

24. Likhtarnikov Ya.M., Letnikov N.S., Levchenko V.N. *Technical and economic design bases for building structures : textbook*. Ya.M. Likhtarnikov (ed.). Kyiv ; Donetsk, 1980; 240. (rus).

25. Likhtarnikov Ya.M., Ladyzhensky D.V., Klykov V.M. *Design of structural steel : Ref. book*. 2nd ed. Rev. Kyiv, 1984; 368. (rus).

26. Korolov V.P., German G.A. The use of ash waste for the artificial transformation of clay soils. *Modern Construction and Architecture*. 2022; 1(25):40-47. DOI: 10.18454/mca.2022.25.7. (rus).

27. Korolov V.P. Methocal approach to assuring structural steel servicability under corrosion hazard. *Building & Reconstruction*. 2019; 4(84):70-82. DOI: 10.33979/2073-7416-2019-84-4-70-82 (rus).

28. Klykov V.M., Korolov V.P., Ryzhenkov A.A., Filatov Yu.V. *Course of steel structures: Theory and practice*. V.P. Korolova (Ed.). Kyiv, 2016; 575. URL: <http://catalog.odnb.odessa.ua/opac/index.php?url=/notices/index/IdNotice:362637> (rus).

29. Klykov V.M., Korolov V.P., Ryzhenkov A.A., Galaktionov A.V., German G.A. *Course of steel structures: Industrial buildings and facilities*. V.P. Korolova (Ed.). Moscow ; Donetsk, 2020; 576. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44141476> (rus).

Received May 9, 2023.

Adopted in revised form on May 20, 2023.

Approved for publication on June 14, 2023.

B i o n o t e s : **Igor V. Kushchenko** — Candidate of Technical Sciences, Acting Rector; **Priazov State Technical University (PSTU)**; 7 Universitetskaya st., Mariupol, 287501, Russian Federation; kigorvlad@yandex.ru;

Vladimir P. Korolov — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Construction, Architecture and Design; **Priazov State Technical University (PSTU)**; 7 Universitetskaya st., Mariupol, 287501, Russian Federation; korolyovskif@yandex.ru.

Contribution of the authors: all authors made an equal contribution to the preparation of the paper.

The authors declare that there is no conflict of interest.

ДИСКУССИОННАЯ СТАТЬЯ / DISCUSSION PAPER

УДК 001.891

DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.8

Опыт формирования научного аппарата и структуры кандидатской диссертации

Ангелина Владимировна Загорская, Азарий Абрамович Лапидус*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассматриваются требования к кандидатской диссертации в соответствии с Постановлением Правительства РФ и государственным стандартом, в частности вопросы в части формирования научного аппарата, с которыми сталкиваются аспиранты на различных этапах написания диссертации. Обращается внимание на необходимость исходить из особенностей научной школы и требований диссертационного совета. Описывается опыт формирования научного аппарата кандидатской диссертации по специальности 05.02.22 «Организация производства (строительства)», основанный на принципах и подходах научного руководителя, профессора, доктора технических наук А.А. Лапидуса, приводятся примеры в части научных специальностей 2.1.14 «Управление жизненным циклом объектов строительства», 2.1.7 «Технология и организация строительства».

Материалы и методы. Для формулирования рекомендаций выполняются обзор литературы, систематизация и обобщение опыта проведения научного исследования и подготовки диссертации, для наглядности и демонстрации предложенных подходов рекомендации сопровождаются примером формирования научного аппарата для вымышленной и, вероятно, невозможной кандидатской диссертации.

Результаты. Приводятся рекомендации по формированию научного аппарата, включающие последовательность работы, выбор темы исследования, постановку научной задачи, определение цели и задач исследования, планирование результатов исследования и их научной новизны, теоретической и практической значимости результатов исследования, формирование структуры научно-квалификационной работы.

Выводы. Рассмотренный опыт создания научного аппарата кандидатской диссертации может применяться при проведении научного исследования и формировании научно-квалификационной работы по различным научным специальностям.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: кандидатская диссертация, научный аппарат, тема исследования, постановка задач исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, технологии и организация строительного производства

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Загорская А.В., Лапидус А.А. Опыт формирования научного аппарата и структуры кандидатской диссертации // Строительство: наука и образование. 2023. Т. 13. Вып. 3. Ст. 8. URL: <http://ns-ojournal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.8

Автор, ответственный за переписку: Ангелина Владимировна Загорская, lina.zagorskaya@gmail.com.

Experience in forming the scientific apparatus and structure of PhD thesis

Angelina V. Zagorskaya, Azariy A. Lapidys*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The article discusses the requirements for PhD thesis in accordance with the Decree of the Government of the Russian Federation and the state standard. The authors consider the issues regarding the formation of the scientific apparatus, which graduate students face at different stages of the dissertation writing, and draw attention to the need to proceed from the peculiarities of the scientific school and the requirements of the dissertation council. It also describes the experience of formation of the scientific apparatus of the PhD thesis on speciality 05.02.22 "Organization of production (construction)", based on the principles and approaches of the scientific supervisor, professor, Doctor of Technical Sciences Lapidus Azari Abramovich, examples are given in the scientific specialities 2.1.14 "Management of the life cycle of construction objects", 2.1.7 "Technology and organization of construction".

Materials and methods. To form recommendations, a literature review, systematization and generalization of experience in conducting scientific research and preparing a dissertation are performed; for clarity and demonstration of the proposed approaches, the recommendations are accompanied by an example of the formation of a scientific apparatus for a fictional and probably impossible PhD thesis.

Results. Recommendations on the formation of the scientific apparatus are given, including the sequence of work, the choice of the research topic, the statement of a scientific problem, the definition of the purpose and objectives of the research,

the planning of the research results and their scientific novelty, the theoretical and practical significance of the research results, the formation of the structure of the scientific qualification work.

Conclusions. the experience of formation of the scientific apparatus of PhD thesis considered in the article can be used in conducting scientific research and the formation of scientific qualification work in various scientific specialties.

KEYWORDS: PhD thesis, scientific apparatus, research topic, statement of the research task, scientific novelty, theoretical and practical significance, technologies and organization of construction production

FOR CITATION: Zagorskaya A.V., Lapidys A.A. Experience in forming the scientific apparatus and structure of PhD thesis. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2023; 13(3):8. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.8

Corresponding author: Angelina V. Zagorskaya, lina.zagorskaya@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Основные требования к кандидатской диссертации приведены в Постановлении Правительства РФ¹, в котором установлено, что «диссертация на соискание ученой степени кандидата наук должна быть научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, либо изложены новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны». При этом диссертация должна быть написана автором самостоятельно, обладать внутренним единством, содержать новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствовать о личном вкладе автора диссертации в науку. Кроме того, в диссертации, имеющей прикладной характер, должны приводиться сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов. Предложенные автором диссертации решения должны быть аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями. Основные научные результаты диссертации должны быть опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Требования к структуре и правила оформления диссертации и автореферата приведены в государственном стандарте², который содержит в том числе требования к содержанию и перечню структурных элементов диссертации, таких как: введение, основная часть, заключение, а также детализирует требования к содержанию введения диссертации в части: актуальности темы исследования, степени ее разработанности, целям, задачам, научной новизне и т.д.

Вышеуказанные документы не содержат ответов на вопросы, с которыми сталкиваются аспиранты на различных этапах написания научной квалификационной работы [1–5]: требований к структуре (количеству глав) диссертации, составу и содержанию

глав, полноте и формулировкам основных элементов научного аппарата диссертации. Это обусловлено тем, что данные требования не регламентируются на законодательном уровне. При подготовке диссертации целесообразно исходить из особенностей научной школы [6, 7], требований диссертационного совета. Кроме того, помощь в формировании научного аппарата диссертации могут оказать учебные пособия и публикации [8–19], а также интернет-ресурсы³, разработанные специалистами и учеными с высокой квалификацией⁴.

Под научным аппаратом диссертации в статье понимается перечень последовательно совершаемых логико-познавательных действий (операций), обеспечивающих выполнение исследования. Научный аппарат организует поисковую деятельность и упорядочивает ее. Он включает: поиск противоречия, выявление научной задачи, определение цели исследования; определение объекта и предмета, формирование научно-технической гипотезы и задачи исследования, определение методов исследования, научной новизны, теоретической и практической значимости полученных результатов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассмотрен опыт формирования научного аппарата кандидатской диссертации по специальности 05.02.22 «Организация производства (строительства)», основанный на принципах и подходах научного руководителя, профессора, доктора технических наук А.А. Лapidуса. Приведены примеры в части научных специальностей, утвержденных Приказом Минобрнауки России⁵ 2.1.14 «Управле-

³ Воронцова Н.С. Научная новизна в диссертации. URL: <https://dzen.ru/a/Yu5V8aSqXWmK66pb>

⁴ Пишем кандидатскую диссертацию с профессором Лapidусом. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=k0oTW4YOp08>

⁵ Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, и внесении изменения в Положение о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, утвержденное приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 10 ноября 2017 г. № 1093 : Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24.02.2021 № 118 (зарег. 06.04.2021 № 62998).

¹ О порядке присуждения ученых степеней : Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 11.09.2021). URL: www.pravo.gov.ru

² ГОСТ Р 7.0.11–2011. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления : введ.01.09.2012. М. : Изд-во стандартов, 2012. 16 с.

ние жизненным циклом объектов строительства», 2.1.7 «Технология и организация строительства», которые также могут быть полезны при подготовке работ по иным научным специальностям.

Все изложенные в статье подходы и принципы применены при подготовке научно-квалификационной работы [20], но для того чтобы наиболее наглядно продемонстрировать подходы к формированию научного аппарата диссертации и сконцентрировать внимание на принципах построения и формулировках, не углубляясь в нюансы профессиональной деятельности, описывается процесс создания научного аппарата для вымышленной и, вероятно, невозможной кандидатской диссертации на тему «Разработка методологических принципов увеличения сроков строительства жилых зданий». Для этого были использованы вымышленные факты и аргументы. Важно отметить, что при проведении исследований необходимо опираться на объективные данные и научные факты.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Тема исследования и обоснование ее актуальности

Кандидатская диссертация в первую очередь начинается с поиска научной задачи, имеющей существенное значение для развития страны, которая будет решаться автором в работе, и определения темы исследования. Для выбора и обоснования актуальности темы исследования необходимо сформулировать ответы на вопросы: что исследовать?

Почему это нужно исследовать? Зачем это исследовать? Ответы на вопросы могут быть сформулированы автором исходя из его профессионального опыта или на основании предварительно проведенного литературного обзора. В табл. 1 представлены возможные формулировки ответа на поставленные вопросы и примеры ответов.

Из ответов на поставленные вопросы формулируется объект и предмет исследования, где объектом будет более общее и широкое понятие (процесс или явление), а предметом — один из аспектов рассматриваемого объекта. В случае вымышленной диссертации объектом исследования служат жилые здания, а предметом — увеличение сроков строительства жилых зданий. После определения объекта и предмета исследования формулируется тема исследования. При формулировке темы можно руководствоваться следующей формулой:

Тема = процесс – предмет – объект – (метод).

Метод не является обязательным атрибутом темы исследования, но может быть указан, если оказывает существенное влияние на суть выполняемой работы. При формировании темы исследования следует руководствоваться паспортом научной специальности, на основании которого выполняется диссертационная работа. В табл. 2 приведены рекомендации по выбору формулировки темы исследования по специальностям 05.02.22, 2.1.14, 2.1.7. При этом исследователем должна быть выполнена проверка соответствия выбранной темы паспорту научной специальности.

Табл. 1. Вопросы для поиска темы исследования

Вопрос	Формулировка ответа	Пример ответа
Что исследовать?	Процесс или явление	Жилые здания
Почему это нужно исследовать?	Причина необходимости его существования (без процесса А не будет возможен процесс Б) или изменение условий его существования (процесс А раньше работал эффективно, но условия изменились и процесс нуждается в совершенствовании)	В современных условиях жилые здания строятся слишком быстро, застройщики не успевают продать все квартиры до завершения сроков строительства
Зачем это исследовать?	Обоснование необходимости преобразования (что нужно сделать, чтобы процесс А снова работал эффективно)	Необходимо увеличить/сократить сроки строительства жилых зданий

Табл. 2. Рекомендации по выбору формулировки темы исследования

Ключевые слова			Поиск темы исследования		
<i>Паспорт специальности 05.02.22 «Организация производства (строительства)»</i>					
Процесс	Прилагательные	Существительные	Предмет	Объект	Метод
<i>Разработка</i>	Научных	<i>Принципов</i>	<i>Увеличение сроков строительства</i>	<i>Жилые здания</i>	На основе ... модели
Моделирование	<i>Методологических</i>	Основ организации			Методом ... моделирования
Оптимизация	Системотехниче- ских	Производственных процессов			На основе внедрения ... методов

Ключевые слова			Поиск темы исследования		
Паспорт специальности 05.02.22 «Организация производства (строительства)»					
Процесс	Прилагательные	Существительные	Предмет	Объект	Метод
Стандартизация	Научно-организационных	Методов			За счет ... решений
Унификация	Практических	Решений			На базе ... метода
Типизация	Организационных	Организационно-технологических решений			—
Стратегия развития	Технологических	Средств			—
Повышение	Технических	—			—
Совершенствование	—	—			—
Синтез	—	—			—
Развитие	—	—			—
Паспорт специальности 2.1.14 «Управление жизненным циклом объектов строительства»					
Формализация	Теоретических	Подходов			С использованием технологий информационного моделирования
Постановка	Методологических	Задач			С использованием технологий математического моделирования
Исследование	Системо-технических	Методов разработки			С использованием технологий автоматизации и оптимизации принятия решений
Формирование	Проблемно-ориентированных	Видов обеспечения			На основе цифровой интеллектуальной поддержки принятия эффективных решений
Разработка	—	Критериев			На основе оптимизации функционирования объектов капитального строительства на всех этапах их жизненного цикла
Моделирование	—	Моделей			
Оптимизация	—	Алгоритмов			
—	—	Средств организации			
—	—	Организационных форм			
—	—	Технологий			
Паспорт специальности 2.1.7 «Технология и организация строительства»					
Прогнозирование	Технологических	Параметров			На основе применения высокопроизводительных средств механизации и автоматизации
Оптимизация	Конкурентоспособных	Систем			С применением информационного моделирования и оптимизации
Повышение эффективности	Новых	Технологий			—
Разработка	Организационных	Методов			—
Совершенствование	Прогрессивных	Форм			—

Окончание табл. 2

Ключевые слова			Поиск темы исследования		
Паспорт специальности 05.02.22 «Организация производства (строительства)»					
Процесс	Прилагательные	Существительные	Предмет	Объект	Метод
Теоретическое исследование	Научных	Процессов			—
Экспериментальное исследование	Методологических	Принципов			—
Обоснование	Системотехнических	Научных основ			—
—	—	Средств контроля			—
—	—	Способов			—

Важно отметить, что выбор формулировки темы исследования предопределяет его результаты. Если при выборе темы исследования автор запланировал разработку «методологических принципов», значит по результатам исследования должны быть разработаны именно методологические принципы. Поэтому для формулирования темы исследования рекомендуется проанализировать определения каждого понятия, приведенного в паспорте научной специальности, чтобы корректно установить вектор будущей работы. Определения понятий рекомендуется изучать, руководствуясь специализированной научной литературой [21].

Автором диссертации в рассматриваемом примере по результатам данного анализа было принято решение о следующей формулировке темы исследования: «Разработка методологических принципов увеличения сроков строительства жилых зданий».

После определения темы необходимо перейти к обоснованию ее актуальности путем проведения литературного обзора. По результатам литературного обзора тема может быть уточнена, однако определение темы исследования до проведения литературного обзора целесообразно, так как позволяет более эффективно работать с источниками информации.

Исходя из требований¹, тема исследования актуальна, если:

- обладает новизной (в настоящий момент не разработана и не разрабатывается);
- имеет значение для общества или отрасли;
- затрагивает назревшие в практике противоречия, которые не решаются без науки.

Рекомендации по проведению литературного обзора и выявлению «белых пятен» в существующих научных подходах представлены в табл. 3.

Табл. 3. Рекомендации по порядку проведения литературного обзора

Постановка вопроса	Пример результата (для вымышленной темы диссертации)
<i>Шаг 1. Обзор литературы на предмет подтверждения новизны темы исследования</i>	
Анализ источников, в которых предмет исследован частично или фрагментарно	Иванов рассмотрел статистику — 39 из 39 застройщиков не успели продать квартиры в жилых зданиях до завершения строительства, но не анализировал причины. Петров доказал, что изменение сроков строительства жилых зданий оказывает влияние на возможность продажи квартир, но не разработал методологические принципы увеличения сроков
Анализ источников, в которых проводились схожие исследования другого предмета	Сидоров провел комплексные исследования в части возможности увеличения сроков строительства производственных складов, однако на их основании нельзя сделать выводы о жилых зданиях
Вывод: (какие аспекты не нашли отражения)	Таким образом, до настоящего момента не проводились соответствующие исследования и не разрабатывались методологические принципы увеличения сроков строительства жилых зданий
<i>Шаг 2. Обзор литературы на предмет необходимости и важности темы</i>	
Поиск ответа на вопрос «кому это нужно?»	в соответствии с [] более 200 застройщиков в России регулярно сталкиваются с проблемой продажи квартир
Поиск ответа на вопрос «зачем это нужно?»	в соответствии с [] продажа квартир после завершения строительства приводит к значительным убыткам

Постановка вопроса	Пример результата (для вымышленной темы диссертации)
Вывод	Застройщики <i>заинтересованы</i> в увеличении продолжительности строительства жилых зданий, <i>что позволит</i> минимизировать убытки при продаже квартир
<i>Шаг 3. Определение противоречий и постановка научной задачи</i>	
Противоречие «потребность на практике и отсутствие в науке» (при необходимости, может быть выявлено несколько противоречий)	<i>Необходимость</i> увеличения продолжительности строительства жилых зданий <i>и отсутствие</i> соответствующих методологических принципов
Научная задача: (содержит две составляющие: теоретическую и практическую)	<i>Научная задача исследования заключается</i> в разработке методологических принципов увеличения продолжительности строительства жилых зданий, <i>которые позволяют</i> разрешить указанные противоречия

Таким образом, сформированы первые элементы научного аппарата вымышленной кандидатской диссертации: объект, предмет, тема исследования, обоснование актуальности выбранной темы и научная задача, которая может прямо не упоминаться по тексту работы, но необходима для определения цели и задач исследования.

Цель, гипотеза и задачи исследования

Для того чтобы перейти от научной задачи к цели и задачам исследования, нужно последовательно сформулировать ответы на следующие вопросы для определения цели исследования:

1. Как именно будет решена научная задача?
2. Что необходимо сделать, чтобы разрешить выявленные противоречия?

На основании цели исследования сформулировать ответы на следующие вопросы для определения задач исследования:

1. Что именно будет сделано в теории?
2. Что именно будет сделано для практики?

Рекомендации для ответов на данные вопросы приведены в табл. 4, примеры ответов для вымышленной диссертации — в табл. 5.

Табл. 4. Рекомендации по планированию теоретических и практических результатов

Можно сделать для теории	Можно сделать для практики
• Ввести новое понятие • Уточнить существующее понятие • Определить структуру • Создать/дополнить классификацию • Выявить условия • Выявить факторы • Разработать и обосновать модель/систему/методику • ...	• Разработать методику и практические рекомендации по ее применению • Разработать практический механизм/инструкции/методические рекомендации • Разработать модель, готовую к реализации • ...

Табл. 5. Рекомендации и пример формирования цели исследования (для вымышленной диссертации)

Научная задача	<i>Научная задача исследования заключается</i> в разработке методологических принципов увеличения продолжительности строительства жилых зданий, <i>которые позволяют</i> разрешить указанные противоречия
Что планируется получить в теории	Методологические принципы увеличения продолжительности строительства жилых зданий
Что планируется получить на практике	Рекомендации для застройщиков, как применять эти принципы
За счет чего планируется это получить	1. Анализ внешних и внутренних факторов, оказывающих влияние на продолжительность строительства жилых зданий. 2. Разработка математической модели зависимости продолжительности строительства жилых зданий от внешних и внутренних факторов. 3. Разработка методологических принципов увеличения продолжительности строительства жилых зданий
Цель исследования (слова в цели соответствуют теме)	На основе анализа внешних и внутренних факторов, оказывающих влияние на продолжительность строительства жилых зданий, разработать и обосновать математическую модель зависимости продолжительности строительства жилых зданий от внешних и внутренних факторов, разработать методологические принципы увеличения продолжительности строительства жилых зданий и соответствующие практические рекомендации для застройщиков

После того как определена цель исследования, можно перейти к формированию гипотезы (научно-технической гипотезы) исследования. Гипотеза исследования — это требующее проверки и доказательства научное предположение, выдвигаемое для объяснения каких-либо процессов, явлений, решений научных задач и проблем. Для доказательства гипотезы и получения научного знания необходимо привести достоверные факты, научное обоснование и экспериментальное подтверждение гипотезы. Рекомендации по формированию гипотезы и пример приведены в табл. 6.

Табл. 6. Рекомендации и пример формирования гипотезы исследования

Гипотеза: цель исследования (указать цель) будет достигнута, если ...	<i>Продолжительность строительства жилых зданий будет увеличена, если</i> будут выявлены факторы, оказывающие влияние на продолжительность строительства жилых зданий, разработана и обоснована математическая модель зависимости продолжительности строительства жилых зданий от внешних и внутренних факторов, разработаны методологические принципы увеличения продолжительности строительства жилых зданий и соответствующие практические рекомендации для застройщиков
---	---

На основании сформулированной гипотезы можно определить последовательные шаги к достижению цели — задачи исследования. Формулировку каждой задачи исследования рекомендуется представить в виде «что — как — зачем», так как подробно сформулированные задачи существенно облегчают дальнейшую работу над диссертацией и не позволяют отклониться от поставленной цели. Для постановки задач рекомендуется ответить на следующие вопросы:

- Что исследую?
- Каково современное состояние?
- Какими методами буду исследовать?
- Что могу предложить?
- Почему это позволит улучшить современное состояние?
- Какова результативность?
- При каких условиях это будет работать на практике?
- Кто, где и как может применять результаты?
- Что можно порекомендовать практикам?

Задачи исследования рекомендуется формулировать в соответствии с гипотезой исследования. При необходимости на этом этапе могут быть уточнены все ранее сформированные элементы научного аппарата диссертации. Пример перехода от гипотезы к задачам исследования приведен в табл. 7.

Таким образом, в соответствии с темой и научной задачей сформулированы цель, гипотеза и задачи исследования.

Табл. 7. Рекомендации и пример формирования задач исследования на основании гипотезы для вымышленной диссертации

Гипотеза	Задачи
<i>Продолжительность строительства жилых зданий будет увеличена, если</i>	<i>Задача 1 (общая).</i> Провести анализ современной продолжительности строительства жилых зданий, определить противоречия и обосновать актуальность темы исследования
будут выявлены (внешние и внутренние) факторы, оказывающие влияние на продолжительность строительства жилых зданий	<i>Задача 2 (из гипотезы).</i> Выявить внешние факторы, оказывающие влияние на продолжительность строительства жилых зданий. <i>Задача 3 (из гипотезы).</i> Выявить внутренние факторы, оказывающие влияние на продолжительность строительства жилых зданий
—	<i>Задача 4 (общая).</i> Разработать и обосновать методологию исследования
разработана и обоснована математическая модель зависимости продолжительности строительства жилых зданий от внешних и внутренних факторов	<i>Задача 5 (из гипотезы).</i> Обосновать математическую модель (составляющие модели) зависимости продолжительности строительства жилых зданий от внешних и внутренних факторов. <i>Задача 6 (из гипотезы).</i> Разработать математическую модель зависимости продолжительности строительства жилых зданий от внешних и внутренних факторов
разработаны методологические принципы увеличения продолжительности строительства жилых зданий	<i>Задача 7 (из гипотезы).</i> На основании модели разработать методологические принципы увеличения продолжительности строительства жилых зданий
и соответствующие практические рекомендации для застройщиков	<i>Задача 8 (из гипотезы).</i> Разработать практические рекомендации для застройщиков
—	<i>Задача 9 (общая).</i> Осуществить практическое внедрение результатов исследования (подтвердить гипотезу)

Структура основной части диссертации

Требования к структуре и содержанию введения диссертации, а также приложений к диссертации подробно изложены в государственном стандарте². Во введении диссертации в том числе необходимо последовательно привести все ранее сформированные элементы научного аппарата. Структура основной части формируется с учетом требований научной школы, в которой выполняется подготовка диссертации, в соответствии с задачами исследования. В табл. 8 приведен пример структуры основной части диссертации.

Как видно из табл. 8, содержание глав, параграфов и результаты исследования соответствуют поставленным задачам. Самые важные из полученных результатов ложатся в основу положений, выносимых на защиту. Последовательное формирование научного аппарата «предопределяет» структуру диссертации и позволяет исследователю на раннем этапе подготовки диссертации сформировать целенаправленный план дальнейшей работы.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования. Научная новизна

В теоретическую значимость исследования могут быть включены все результаты исследования, которые вносят вклад в науку, в том числе результаты, которые не вошли в положения, выносимые на защиту. Например, следующие результаты: выявлены факторы, оказывающие влияние; разработана методология; получены параметры; разработана и обоснована математическая модель и иные результаты.

В практическую значимость исследования могут быть включены все результаты исследования, которые могут быть полезны для практической деятельности, в том числе результаты, которые не вошли в положения, выносимые на защиту. Например, следующие результаты: разработаны решения, практические рекомендации, алгоритм применения и иные результаты.

Научная новизна исследования формулируется по каждому из положений, выносимых на защиту.

Табл. 8. Пример структуры основной части диссертации

Номер задачи	Структура диссертации	Результаты	Положения, выносимые на защиту
Глава 1. Теория и практика предмета исследования. Современное состояние			
1	1.1. Анализ состояния	Результат № 1 (обоснована актуальность темы)	Положение № 1 (самое важное из результатов главы)
2	1.2. Внешние факторы	Результат № 2 (выявлено 5 внешних факторов)	
3	1.3. Внутренние факторы	Результат № 3 (выявлено 7 внутренних факторов)	
–	1.4. Выводы по главе 1	Выявлены противоречия, выявлено 12 факторов, которые ранее не исследовались с научной точки зрения	
Глава 2. Методология и методы исследования			
4	2.1. Обоснование методологии исследования	Результат № 4	Положение № 2 (самое важное из результатов главы)
	2.2. Метод 1		
	2.3. Метод 2		
–	2.4. Выводы по главе 2	Обоснована методология и определены методы исследования	
Глава 3. Теоретические исследования и результаты			
5	3.1. Обоснование модели/элементов модели	Результат № 5 (обоснована модель)	Положение № 3 (самое важное из результатов главы)
6	3.2. Разработка модели	Результат № 6 (разработана модель)	
7	3.3. Разработка методических принципов	Результат № 7 (разработаны метод, принципы)	
–	3.4. Выводы по главе 3	Разработана и обоснована модель, разработаны методологические принципы	
Глава 4. Практические результаты			
8	4.1. Практические рекомендации	Результат № 8	Положение № 4 (самое важное из результатов)
9	4.2. Внедрение. Объект 1	Результат № 9	
	4.3. Внедрение. Объект 2		
–	4.4. Выводы по главе 4	По результатам внедрения подтверждена гипотеза исследования	

В данном случае формулировка научной новизны будет иметь следующую структуру: «что сделано – чем это отличается от известного – зачем это нужно». Пример формулировки положения и его научной новизны приведен в табл. 9.

Табл. 9. Пример научной новизны положения, выносимого на защиту

Положение	Научная новизна
Продолжительность строительства жилых зданий зависит от пяти внешних и семи внутренних факторов, а именно...	Впервые определено ..., что позволяет ... Исследовано ..., что раньше не рассматривалось с научной точки зрения ..., что дает возможность ... В дополнение к известным факторам выявлено ... факторов ..., что может быть применено

Таким образом, на основании ранее сформированной структуры основной части диссертации и планируемых результатов исследования определяется планируемая теоретическая и практическая значимость полученных результатов и научная новизна положений, выносимых на защиту. По результатам теоретических исследований и проверки гипотезы исследования на практике научный аппарат может быть доработан в соответствии с полученными результатами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Научный аппарат кандидатской диссертации целесообразно формировать в следующей последовательности: поиск темы исследования, обоснование актуальности выбранной темы, проведение литературного обзора, формирование научной задачи исследования, планирование теоретических и практических результатов, формирование цели исследования, гипотезы (научно-технической гипотезы), задач исследования, структуры основной части диссертации, планирование результатов и разработка проектов положений, выносимых на защиту, предположение научной новизны, теоретической и практической значимости исследования.

Последовательное формирование основных элементов научного аппарата кандидатской диссертации позволяет исследователю на раннем этапе подготовки работы определить структуру и содержание диссертации, планируемые результаты и положения, выносимые на защиту, их научную новизну, теоретическую и практическую значимость.

Научный аппарат диссертации может уточняться по мере продвижения исследования, в том числе на этапе литературного обзора, после получения результатов теоретического исследования и практической проверки гипотезы, однако наличие сформированного научного аппарата способствует более эффективной и целенаправленной исследовательской работе.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Жукова Г.С., Гапоненко А.В. Подготовка научных и научно-педагогических кадров высшей квалификации // Ученые записки Российского государственного социального университета. 2011. № 2 (90). С. 4–12. EDN NXZOXV.
2. Караваева Е.В., Костенко О.А., Маландин В.В., Мосичева И.А. Программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре как базовый инструмент укрепления кадрового потенциала российской науки // Высшее образование в России. 2022. Т. 31. № 1. С. 9–23. DOI: 10.31992/0869-3617-2022-31-1-9-23
3. Матушанский Г.У., Завада Г.В., Матушанская Ю.Г. Барьеры в аспирантской подготовке и при защите кандидатской диссертации // Высшее образование в России. 2019. Т. 28. № 8–9. С. 55–66. DOI: 10.31992/0869-3617-2019-28-8-9-55-66 EDN PVWBJN.
4. Зерчанинова Т.Е., Тарбеева И.С. Проблемы научной и образовательной деятельности аспирантов // Научный результат. Социология и управление. 2019. Т. 5. № 3. С. 37–48. DOI: 10.18413/2408-9338-20195-3-0-3
5. Протасов В.Н. Некоторые проблемы защиты диссертаций в современной российской юриспруденции // Государство и право. 2013. № 5. С. 16–23. EDN QLIOKP.
6. Гусаков А.А., Богомолов Ю.М., Брехман А.И., Ваганян Г.А., Вайнштейн М.С., Владимирский С.Р. и др. Системотехника строительства. М.: Изд-во АСВ, 2004. 320 с. EDN UBCQYB.
7. Липидус А.А. Системотехнические основы автоматизации проектирования организационных структур крупномасштабного строительства. М., 1997.
8. Тамразян А.Г. Методические основы подготовки научно-квалификационной работы (диссертации) по строительным наукам: учебное пособие. М.: Изд-во МИСИ–МГСУ, 2020. 232 с.
9. Радоуцкий В.Ю. Основы научных исследований: учебное пособие. Белгород: Белгородский гос. технологический ун-т (БГТУ) им. В. Г. Шухова, 2008. 132 с. EDN: QWRNZV.
10. Лбова Л.В., Нохрина Т.И. Методика организации научно-исследовательской работы: учебно-методический комплекс. 2013.

11. Матушанский Г.У., Бакеева Р.Ф., Сулейманова А.Р., Мерзликина Л.И. Алгоритм подготовки кандидатской диссертации к защите через обучение в аспирантуре // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2010. № 3 (6). С. 146–153. EDN NDXQDL.

12. Файзулина Е.А. Подготовка диссертации // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. 2008. № 5. С. 178–183. EDN TVQBOD.

13. Комиссарова Е.Г. Методика написания кандидатской диссертации // Юридическая наука и правоохранительная практика. 2006. № 1 (1). С. 116–121. EDN: KWQGHND.

14. Громыко В.В. Методология написания диссертационной работы // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. 2016. № 3. С. 3–19. DOI: 10.21686/2413-2829-2016-3-3-19

15. Мамаев А.В., Горькова И.В. Методические указания по выполнению, написанию и оформлению научно-квалификационной работы (кандидатской диссертации). Орел : Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2020. 20 с. EDN: IMTGNO.

16. Kobayashi S., Emmeche C. What makes a good PhD thesis? Norms of science as reflected in written assessments of PhD theses // Assessment & Evaluation in Higher Education. 2023. Pp. 1–15. DOI: 10.1080/02602938.2023.2200917

17. Kumar V., Kaur A., Sanderson L.J. PhD orals from the convenors' perspective: Implications for academics and candidates // International Journal for Academic Development. 2022. Pp. 1–13. DOI: 10.1080/1360144x.2022.2051516

18. McAlpine L., Skakni I., Pyhäntö K. PhD experience (and progress) is more than work: life-work relations and reducing exhaustion (and cynicism) // Studies in Higher Education. 2022. Vol. 47. Issue 2. Pp. 352–366. DOI: 10.1080/03075079.2020.1744128

19. Phillips E., Johnson C. How to Get a PhD: A handbook for students and their supervisors 7e. McGraw-Hill Education (UK), 2022.

20. Загорская А.В. Совершенствование научно-технического сопровождения проектных решений по организации строительства уникальных объектов : дис. ... канд. тех. наук. М., 2022. 171 с.

21. Макаренко С.И. Справочник научных терминов и обозначений. СПб. : Научное издательство, 2019. 254 с.

Поступила в редакцию 10 июля 2023 г.

Принята в доработанном виде 12 июля 2023 г.

Одобрена для публикации 27 сентября 2023 г.

Об авторах: Ангелина Владимировна Загорская — кандидат технических наук, преподаватель кафедры технологий и организации строительного производства; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 998363; lina.zagorskaya@gmail.com;

Азарий Абрамович Лapidус — профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологий 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, ORCID: 0000-0001-7846-5770; LapidusAA@mgsu.ru.

Вклад авторов:

Загорская А.В. — идея, сбор и обработка материала, написание текста статьи.

Лapidус А.А. — научное руководство, научное редактирование текста, итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

The main requirements for a candidate's thesis are given in the Resolution of the Government of the Russian Federation¹, which establishes that “a thesis for the degree of candidate of sciences should be a scientific qualification work, which contains a solution to a scientific problem that is important for the develop-

ment of the relevant branch of knowledge, or outlines new scientifically sound technical, technological or other solutions and developments that are essential for the development of the country”. At the same time, the dissertation must be written by the author independently, have internal unity, contain new scientific results and provisions put forward for public defence, and testify to the personal contribution of the author of the dissertation to science. In addition, a dissertation of applied nature should contain information on the practical use of the scientific results obtained by the author of

¹ On the procedure for awarding academic degrees : Decree of the Government of the Russian Federation No. 842 dated 09.24.2013 (ed. dated 09.11.2021). URL: www.pravo.gov.ru

the dissertation. The solutions proposed by the author of the thesis should be argued and evaluated in comparison with other known solutions. The main scientific results of the thesis should be published in peer-reviewed scientific publications.

In addition, the requirements to the structure and rules of execution of the thesis and abstract are given in the state standard², which contains, among other things, the requirements to the content and the list of structural elements of the thesis such as: introduction, main part, conclusion, and also details the requirements to the content of the introduction of the thesis in terms of: the relevance of the topic of research, the degree of its development, goals, objectives, scientific novelty, etc.

At the same time, the above-mentioned documents do not contain answers to the questions that PhD students face at various stages of writing a scientific qualification work [1–5]: requirements to the structure (number of chapters) of the thesis, composition and content of chapters, requirements to the completeness and wording of the main elements of the scientific apparatus of the thesis. This is due to the fact that these requirements are not regulated at the legislative level. When preparing a dissertation, it is advisable to proceed from the peculiarities of the scientific school [6, 7], the requirements of the dissertation council. In addition, textbooks [8–19], and Internet resources³ developed by specialists and scientists with high qualifications can help in the formation of the scientific apparatus of the thesis⁴.

The *scientific apparatus of the dissertation* in the article is understood as a list of consistently performed logical and cognitive actions (operations) that ensure the fulfilment of the research itself. The scientific apparatus organizes the search activity and streamlines it. The scientific apparatus of the research includes: search for the contradiction, identification of the scientific problem, definition of the research goal; definition of the object and subject, formation of the scientific and technical hypothesis and research task, definition of research methods, scientific novelty, theoretical and practical significance of the obtained results.

MATERIALS AND METHODS

In the article the experience of formation of the scientific apparatus of the candidate dissertation on speciality 05.02.22 “Production (construction) organization”, based on principles and approaches of the scientific supervisor, professor, doctor of technical

sciences Azarii Abramovich Lapidus, is considered, as well as examples in the part of scientific specialties approved by the Order of the Ministry of Education and Science of Russia⁵ 2.1.14 “Management of the life cycle of construction objects”, 2.1.7 “Technology and organization of construction”, which can also be useful in the preparation of works on other scientific specialties.

All approaches and principles outlined in the article are applied in the preparation of scientific qualification work [20], but in order to most clearly demonstrate the approaches to the formation of the scientific apparatus of the thesis and to focus on the principles of construction and formulations, without delving into the nuances of professional activity, the article describes the process of creating the scientific apparatus for a fictitious and probably impossible PhD thesis on “Development of methodological principles for increasing the construction time of residential buildings”. For this purpose, examples of fictional facts and arguments were used. It is important to note that research should be based on objective data and scientific facts.

RESEARCH RESULTS

Research topic and justification of its relevance

Candidate dissertation first of all begins with the search for a scientific problem of significant importance for the development of the country, which will be solved by the author in the work and the definition of the research topic. To select and justify the relevance of the research topic, it is first of all necessary to formulate answers to the questions: what to research? Why does this need to be researched? Why research this? The answers to the questions can be formulated by the author based on his professional experience or on the basis of a preliminary literature review. Table 1 presents possible formulations of answers to the questions posed and examples of answers.

From the answers to the questions posed, the object and subject of the research are formulated, where the object is a more general and broader concept (process or phenomenon), and the subject is one of the aspects of the object under consideration. In the case of a fictional thesis, the object of the research is residential buildings, and the subject is the increase in the construction time of residential buildings. After determin-

² GOST R 7.0.11–2011. Dissertation and abstract of the dissertation. Structure and rules of registration : introduction.01.09.2012. Moscow : Publishing House of Standards, 2012; 16.

³ Vorontsova N.S. *Scientific novelty in the dissertation*. URL: <https://dzen.ru/a/Yu5V8aSqXWmK66pb>

⁴ We are writing a PhD thesis with Professor Lapidus. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=k0oTW4YOp08>

⁵ On approval of the nomenclature of scientific specialties for which academic degrees are awarded and amendments to the Regulations on the Council for the Defense of Dissertations for the Degree of Candidate of Sciences, for the degree of Doctor of Sciences, approved by Order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated November 10, 2017 No. 1093 : Order of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation dated 24.02.2021 No. 118 (dated 06.04.2021 No. 62998).

ing the object and subject of the research, the research topic is formulated. When formulating the topic, one can be guided by the following formula:

Subject = process – subject – object – (method).

The method is not a mandatory attribute of the research topic, but can be specified if it has a significant impact on the essence of the work performed. When

forming the research topic, it is necessary to be guided by the passport of the scientific speciality on the basis of which the dissertation work is performed. Table 2 presents recommendations for choosing the wording of the research topic for the specialities 05.02.22, 2.1.14, 2.1.7. At the same time, the researcher should check the compliance of the chosen topic with the passport of the scientific speciality.

Table 1. Questions for finding a research topic

Question	Answer formulation	Example of an answer
What to investigate?	Process or phenomenon	Residential buildings
Why does this need to be researched?	The reason for the need for its existence (without process A, process B will not be possible) or a change in the conditions for its existence (process A used to work effectively, but conditions have changed and the process needs to be improved)	In today's environment, residential buildings are built too fast, developers do not have time to sell all flats before the completion of the construction period
Why research this?	Justification for the need for change (what needs to be done to make process A work effectively again)	It is necessary to shorten the construction time of residential buildings

Table 2. Recommendations for choosing the wording of the research topic

Keywords			Finding a research topic		
Passport of speciality 05.02.22 “Production organization (construction)”					
Process	Adjectives	Nouns	Subject	Object	Method
Elaboration	Scientific	Principles	Increased construction time	Residential buildings	Based on the ... model
Modelling	Methodological	Basis of organization			By the method of ... modelling
Optimization	Systems engineering	Production processes			Based on the implementation of ... methods
Standardization	Scientific and organizational	Methods			At the expense of ... solutions
Unification	Practical	Decisions			Based on ... method
Typing	Organizational	Organizational and technological solutions			–
Development strategy	Technological	Means			–
Enhancement	Technical	–			–
Improvement	–	–			–
Synthesis	–	–			–
Development	–	–			–
Passport of speciality 2.1.14 “Management of life cycle of construction objects”					
Formalization	Theoretical	Approaches			Using information modelling technologies
Staging	Methodological	Tasks			Using mathematical modelling techniques
Research	Systems engineering	Development methods			Using technology to automate and optimize decision-making

End of Table 2

Keywords			Finding a research topic		
Passport of speciality 05.02.22 “Production organization (construction)”					
Process	Adjectives	Nouns	Subject	Object	Method
Formation	Problem-oriented	Types of collateral			Based on digital intelligent support for effective decision-making
Elaboration	–	Criteria			On the basis of optimizing the functioning of capital construction objects at all stages of their life cycle
Modelling	–	Models			
Optimization	–	Algorithms			
–	–	Organization’s funds			
–	–	Organizational forms			
–	–	Technologies			
Passport of speciality 2.1.7 “Technology and organization of construction”					
Forecasting	Technological	Parameters			Based on the use of high-performance mechanization and automation tools
Optimization	Competitive	System			Using information modelling and optimization
Improving efficiency	New ones	Technologies			–
Elaboration	Organisational	Methods			–
Improvement	Progressive	Form			–
Theoretical study	Scientific	Processes			–
Experimental study	Methodological	Principles			–
Rationale	Systems engineering	Scientific foundations			–
–	–	Controls			–
–	–	Ways			–

It is important to note that the choice of the research topic formulation predetermines its results. If the author has planned the development of "methodological principles" when choosing a research topic, it means that the results of the research should be based on methodological principles. Therefore, for the formation of the research topic it is recommended to analyze the definitions of each concept given in the passport of scientific specialty to correctly determine the vector of future work. It is recommended to study the definitions of concepts, guided by specialized scientific literature, for example [21].

The author of the dissertation in the case study under consideration, based on the results of this analysis, decided on the following formulation of the research topic: "Development of methodological principles for increasing the construction time of residential buildings".

After defining the topic, it is necessary to proceed to the substantiation of its relevance by conducting a literature review. According to the results of the literature

review, the topic can be refined, but the definition of the research topic before the literature review is advisable, because it allows you to work more effectively with sources of information.

Based on the requirements of¹, the research topic is relevant if:

- has novelty (not currently developed or under development);
- is of importance to society or industry;
- addresses practical contradictions that cannot be resolved without science.

Recommendations for conducting a literature review and identifying "white spots" in existing scientific approaches are presented in Table 3.

Thus, the first elements of the scientific apparatus of a fictitious PhD thesis are formed: object, subject, research topic, justification of the relevance of the chosen topic and scientific task, which may not be directly mentioned in the text of the work, but is necessary to determine the purpose and objectives of the research.

Table 3. Recommendations on the procedure for conducting a literary review

Posing the question	Example result (for a fictional thesis topic)
<i>Step 1. Literature review to confirm the novelty of the research topic</i>	
1. Analyzing sources where the subject matter is partially or fragmentarily researched	Ivanov <i>reviewed the statistics</i> — 39 out of 39 developers failed to sell flats in residential buildings before completion — <i>but did not analyze the reasons</i> . Petrov proved that changing the construction time of residential buildings has an impact on the possibility of selling flats, <i>but he did not develop methodological principles for</i> increasing the timeframe
2. Analyzing sources that have conducted similar research on a different subject matter	Sidorov has carried out comprehensive research into the possibility of extending the construction period for manufacturing warehouses, but no conclusions about residential buildings can be drawn from it
Conclusion: (what aspects are not reflected)	<i>Thus, to date, there have been no relevant studies and methodological principles for increasing the construction time of residential buildings have not been developed</i>
<i>Step 2. Review the literature for the need and importance of the topic</i>	
3. Finding an answer to the question “who needs it?”	In accordance with [] — more than 200 property developers in Russia regularly face the problem of selling flats
4. Finding an answer to the question “why is this necessary?”	In accordance with [] the sale of flats after construction is completed results in significant losses
Conclusion	Developers are <i>interested in</i> increasing the duration of construction of residential buildings, <i>which will</i> minimize losses when selling flats
<i>Step 3. Identify contradictions and set a scientific problem</i>	
5. Contradiction 1 “the need in practice and the lack of it in science” (more than one contradiction may be identified if necessary)	<i>The need to increase the duration of construction of residential buildings and the lack of appropriate methodological principles</i>
Research Objective: (contains two components: theoretical and practical)	<i>The scientific objective of the study is to develop methodological principles for increasing the duration of construction of residential buildings, which will resolve these contradictions</i>

Purpose, hypothesis and objectives of the study

In order to move from the research problem to the purpose and objectives of the study, the answers to the following questions need to be consistently formulated to determine the purpose of the study:

1. How exactly will the scientific problem be solved?

2. What should be done to resolve the identified contradictions?

Based on the purpose of the study, formulate answers to the following questions to determine the objectives of the study:

1. What exactly will be done in theory?

2. What exactly will be done for the practice?

Recommendations for answering these questions are given in Table 4, and examples of answers for the fictional thesis are given in Table 5.

After the purpose of the research has been determined, it is possible to proceed to the formation of the hypothesis (scientific and technical hypothesis) of the research. Research hypothesis is a scientific assumption requiring verification and proof, put forward to explain any processes, phenomena, solutions to scientific problems and challenges. To prove the hypoth-

esis and obtain scientific knowledge, it is necessary to provide reliable facts, scientific substantiation and experimental confirmation of the hypothesis. Recommendations for forming a hypothesis and an example are given in Table 6.

Table 4. Recommendations for planning theoretical and practical results

Can be done for theory	Can be done for practice
• Introduce a new concept • Clarify the existing concept • Determine the structure • Create/complete the classification • Identify the conditions • Identify factors • Develop and justify a model/system/methodology • ...	• Develop a methodology and practical recommendations for its application • Develop a practical mechanism/instructions/methodological recommendations • Develop a model ready for implementation • ...

Table 5. Recommendations and an example of how to formulate a research objective

Research Objective	<i>The scientific objective of the study is to develop methodological principles for increasing the duration of construction of residential buildings, which will resolve these contradictions</i>
What is planned to be obtained in theory	Methodological principles for increasing the duration of construction of residential buildings
What is planned to be gained in practice	Recommendations for property developers on how to apply these principles
At the expense of which it is planned to obtain this	1. Analyzing the external and internal factors affecting the construction duration of residential buildings. 2. Development of a mathematical model of dependence of duration of construction of residential buildings on external and internal factors. 3. Development of methodological principles for increasing the duration of construction of residential buildings
Purpose of the study (words in the objective match the theme)	On the basis of the analysis of external and internal factors influencing the duration of construction of residential buildings, to develop and substantiate the mathematical model of the dependence of the duration of construction of residential buildings on external and internal factors, to develop methodological principles to increase the duration of construction of residential buildings and relevant practical recommendations for developers

Table 6. Recommendations and an example of the formation of a research hypothesis

Hypothesis: the research objective (specify objective) will be achieved <i>if</i>	<i>Duration of construction of residential buildings will be increased if, factors influencing the duration of construction of residential buildings are identified, a mathematical model of dependence of duration of construction of residential buildings on external and internal factors is developed and substantiated, methodological principles of increasing the duration of construction of residential buildings and relevant practical recommendations for developers are developed</i>
---	---

Based on the formulated hypothesis, it is possible to define successive steps to achieve the goal — research objectives. It is recommended to present the formulation of each research task in the form of “what – how – why”, because the detailed formulated tasks significantly facilitate further work on the thesis and do not allow deviating from the set goal. To set the objectives, it is recommended to answer the following questions:

- Researching what?
- What is the current state?
- What methods will I use to investigate?
- What can I offer?
- Why would it improve the current state?
- What are the results?
- Under what conditions will this work in practice?
- Who, where and how can apply the results?
- What can be recommended to practitioners?

It is recommended to formulate the research objectives in accordance with the research hypothesis. If necessary, at this stage all previously formed elements of the scientific apparatus of the thesis can be specified. An example of transition from hypothesis to research objectives is presented in Table 7.

Thus, in accordance with the topic and scientific task, the aim, hypothesis and objectives of the study are formulated.

Structure of the main body of the thesis

The requirements for the structure and content of the thesis introduction and the thesis appendices are detailed in². In the introduction of the dissertation, among other things, all previously formed elements of the scientific apparatus should be consistently cited. The structure of the main part is formed taking into account the requirements of the scientific school in which the dissertation is being prepared, in accordance with the objectives of the research. Table 8 gives an example of the structure of the main part of the thesis.

As can be seen from Table 8, the content of the chapters, paragraphs and results of the research correspond to the set objectives. The most important of the results obtained form the basis of the defence. Thus, the consistent formation of the scientific apparatus “predetermines” the structure of the thesis and allows the researcher to form a purposeful plan for further work at an early stage of the thesis preparation.

Theoretical and practical significance of the research results. Scientific novelty

The theoretical significance of the research can include all the results of the research that contribute to science, including results that were not included in

Table 7. Recommendations and an example of how to formulate research objectives based on the hypothesis

Hypothesis	Objectives
<i>The duration of residential construction will be extended if</i>	<i>Task 1 (general).</i> To analyze the current duration of construction of residential buildings, to determine the contradictions and justify the relevance of the research topic
The (external and internal) factors influencing the construction duration of residential buildings will be identified	<i>Task 2 (from the hypothesis).</i> Identify external factors that influence the duration of construction of residential buildings. <i>Task 3 (from the hypothesis).</i> Identify the internal factors that influence the duration of construction of residential buildings
—	<i>Task 4 (general).</i> Develop and justify the research methodology
a mathematical model of dependence of duration of residential buildings construction on external and internal factors has been developed and substantiated	<i>Task 5 (from the hypothesis).</i> To substantiate the mathematical model (model components) of dependence of duration of construction of residential buildings on external and internal factors. <i>Task 6 (from the hypothesis).</i> To develop a mathematical model of dependence of duration of construction of residential buildings on external and internal factors
methodological principles for increasing the duration of construction of residential buildings have been developed	<i>Task 7 (from the hypothesis).</i> On the basis of the model to develop methodological principles to increase the duration of construction of residential buildings
and relevant practical recommendations for property developers	<i>Task 8 (from the hypothesis).</i> Develop practical recommendations for property developers
—	<i>Task 9 (general).</i> To carry out practical implementation of the research results (to confirm the hypothesis)

Table 8. Example of the structure of the main body of the thesis

Objectives	The structure of the thesis	Results	Provisions for defence
Chapter 1. Theory and practice of the subject of the study. Current state			
Task No. 1	1.1. Status Analysis	Result No. 1 (Relevance of the topic is justified)	Regulation No. 1 (the most important of the chapter’s findings)
Task No. 2	1.2. External factors	Result No. 2 (5 external factors identified)	
Task No. 3	1.3. Internal factors	Result No. 3 (7 internal factors identified)	
–	1.4. Conclusions to Chapter 1	Contradictions identified, 12 factors identified that have not been scientifically investigated before	
Chapter 2. Research Methodology and Methods			
Task No. 4	2.1. Rationale for the research methodology	Result No. 4	Regulation No. 2 (the most important of the chapter’s findings)
	2.2. Method 1		
	2.3. Method 2		
–	2.4. Conclusions to Chapter 2	The methodology and methods of the study were substantiated and defined	
Chapter 3. Theoretical research and results			
Task No. 5	3.1. Rationale for the model/ model elements	Result No. 5 (model justified)	Regulation No. 3 (the most important of the chapter’s findings)
Task No. 6	3.2. Model Development	Result No. 6 (model developed)	
Task No. 7	3.3. Development of methodological principles	Result No. 7 (methodological principles developed)	
–	3.4. Conclusions to Chapter 3	Model developed and justified, methodological principles developed	
Chapter 4. Practical results			
Task No. 8	4.1. Practical recommendations	Result No. 8	Regulation No. 4 (the most important of the results)
Task No. 9	4.2. Implementation. Facility 1	Result No. 9	
	4.3. Implementation. Facility 2		
–	4.4. Conclusions to Chapter 4	Based on the results of implementation, the hypothesis of the study was confirmed	

Table 9. Example of scientific novelty of a defence statement

Provision	Scientific novelty
The duration of construction of residential buildings will depend on 5 external and 7 internal factors, namely ...	First defined ..., which allows for Investigated ... that has not been scientifically considered before ..., which provides an opportunity to In addition to the known factors identified ... factors ... that can be applied

the provisions put forward for defence. For example, the following results: influencing factors are identified; methodology is developed; parameters are obtained; mathematical model is developed and justified and other results.

The practical significance of the research can include all the results of the research that may be useful for practical activities, including the results that were not included in the provisions put forward for defence. For example, the following results: developed solutions; developed practical recommendations; developed an algorithm of application and other results.

Scientific novelty of the study can be formulated for each of the provisions put forward for defence. In this case, the formulation of scientific novelty will have the following structure: “what has been done — how it differs from the known — why it is necessary”. An example of the formulation of the position and its scientific novelty is given in Table 9.

Thus, based on the previously formed structure of the main part of the thesis and the planned results

of the research, the planned theoretical and practical significance of the obtained results and scientific novelty of the provisions put forward for defence are determined. According to the results of theoretical research and testing of the research hypothesis in practice, the scientific apparatus can be finalized, in accordance with the obtained results.

CONCLUSION AND DISCUSSION

It is advisable to form the scientific apparatus of the PhD thesis in the following sequence: search for a research topic, justification of the relevance of the chosen topic, conducting a literature review, formation of the scientific task of the research, planning of theoretical and practical results, formation of the research goal, hypothesis (scientific and technical hypothesis), research tasks, structure of the main part of the thesis, planning of the results and development of draft provisions to be put forward for defence, assumption of scientific novelty, theoretical and practical results, development of the thesis, development of the thesis, and development of the thesis structure.

The consistent formation of the main elements of the scientific apparatus of the PhD thesis allows the researcher at an early stage of preparation of the work to determine the structure and content of the thesis, the planned results and provisions to be defended, their scientific novelty, theoretical and practical significance.

The scientific apparatus of the thesis can be refined as the research progresses, including at the stage of literature review, after obtaining the results of theoretical research and practical testing of the hypothesis, but the presence of a formed scientific apparatus contributes to a more effective and focused research work.

REFERENCES

1. Zhukova G.S., Gaponenko A.V. Training of scientific and scientific-pedagogical personnel of the highest qualification. *Scientific notes of the Russian State Social University*. 2011; 2(90):4-12. EDN NXZOXV. (rus.).
2. Karavaeva E.V., Kostenko O.A., Malandin V.V., Mosicheva I.A. PhD programs as a basic tool of human capacity building in Russian science. *Higher Education in Russia*. 2022; 31(1):9-23. DOI: 10.31992/0869-3617-2022-31-1-9-23 (rus.).
3. Matushansky G.U., Zavada G.V., Matushanskaya Yu.G. Barriers impeding postgraduate training completion and dissertation submission and defense. *Higher Education in Russia*. 2019; 28(8-9):55-66. DOI: 10.31992/0869-3617-2019-28-8-9-55-66. EDN PVWBJN. (rus.).
4. Zerchaninova T.E., Tarbeeva I.S. Problems of scientific and educational activities of postgraduate students. *Research Result. Sociology and Management*. 2019; 5(3):37-48. DOI: 10.18413/2408-9338-2019-5-3-0-3 (rus.).
5. Protasov V.N. Some problems of defence of the dissertations in modern Russian jurisprudence. *State and Law*. 2013; 5:16-23. EDN QLIOKP. (rus.).
6. Gusakov A.A., Bogomolov Yu.M., Brekhman A.I., Vaganyan G.A., Vainshtein M.S., Vladimirovsky S.R. et al. *Systems engineering of construction*. Moscow, Publishing house of the Association of Construction Universities, 2004; 320. EDN UBCQYB. (rus.).
7. Lapidus A.A. *Systematic fundamentals of automation of design of organizational structures of large-scale construction*. Moscow, 1997. (rus.).
8. Tamrazyan A.G. *Methodological basis for preparing a scientific qualification work (dissertation) in*

construction sciences : textbook. Moscow, Publishing house MISI–MGSU, 2020; 232. (rus.).

9. Radoutsky V.Yu. *Fundamentals of scientific research : textbook*. Belgorod, Belgorod State Technological University (BSTU) named after V.G. Shukhova, 2008; 132. EDN: QWRNZV. (rus.).

10. Lbova L.V., Nokhrina T.I. *Methodology for organizing research work : educational and methodological complex*. 2013. (rus.).

11. Matushansky G.U., Bakeeva R.F., Suleymanova A.R., Merzlikina L.I. Algorithm for preparing a candidate's dissertation for defense through postgraduate study. *Bulletin of the Kazan State Energy University*. 2010; 3(6):146-153. EDN NDXQDL. (rus.).

12. Fayzulina E.A. Preparation of a dissertation. *Business. Education. Right. Bulletin of the Volgograd Institute of Business*. 2008; 5:178-183. EDN TBQBOD. (rus.).

13. Komissarova E.G. Methodology for writing a candidate's dissertation. *Legal Science and Law Enforcement Practice*. 2006; 1(1):116-121. EDN: KWQGH. (rus.).

14. Gromyko V.V. Thesis writing methodology. *Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics*. 2016; (3):3-19. DOI: 10.21686/2413-2829-2016-3-3-19 (rus.).

15. Mamaev A.V., Gorkova I.V. *Methodological instructions for performing, writing and designing*

a scientific qualification work (candidate's dissertation). Orel, Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhina, 2020; 20. EDN: IMTGNO. (rus.).

16. Kobayashi S., Emmeche C. What makes a good PhD thesis? Norms of science as reflected in written assessments of PhD theses. *Assessment & Evaluation in Higher Education*. 2023; 1-15. DOI: 10.1080/02602938.2023.2200917

17. Kumar V., Kaur A., Sanderson L.J. PhD orals from the convenors' perspective: Implications for academics and candidates. *International Journal for Academic Development*. 2022; 1-13. DOI: 10.1080/1360144x.2022.2051516

18. McAlpine L., Skakni I., Pyhältö K. PhD experience (and progress) is more than work: life-work relations and reducing exhaustion (and cynicism). *Studies in Higher Education*. 2022; 47(2):352-366. DOI: 10.1080/03075079.2020.1744128

19. Phillips E., Johnson C. *How to Get a PhD : a handbook for students and their supervisors 7e*. McGraw-Hill Education (UK), 2022.

20. Zagorskaya A.V. *Improving scientific and technical support of design solutions for organizing the construction of unique objects : dissertation ... candidate of technical sciences*. Moscow, 2022; 171. (rus.).

21. Makarenko S.I. *Directory of scientific terms and notations*. St. Petersburg, High technology, 2019; 254. (rus.).

Received July 10, 2023.

Adopted in revised form on July 12, 2023.

Approved for publication on September 27, 2023.

Bionotes: **Angelina V. Zagorskaya** — Candidate of Technical Sciences, Teacher of the Department of Technologies and Organizations of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 998363; zagorskaya@gmail.com;

Azariy A. Lapidys — Doctor of Technical Sciences, Professor, head of the Department of Technologies and Organizations 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, ORCID: 0000-0001-7846-5770; LapidusAA@mgsu.ru.

Contribution of the authors:

Angelina V. Zagorskaya — the idea, collection and processing of the material, writing the text of the article.

Azariy A. Lapidys — scientific guidance, scientific text editing, final conclusions.

The authors declare that there is no conflict of interest.