

ISSN 2308-0191
DOI 10.29039/2308-0191
Volume 11
Issue 2 (39)
June 2023

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL

EDITOR-IN-CHIEF

Evtushenko S.I. — Honored Worker of Higher Education of the RF, Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of «Information systems, technologies and construction automation», Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (Moscow, Russia)

CHAIRMAN OF THE EDITORIAL BOARD

Mailyan L.R. — Corresponding Member of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Honored Builder of the RF, Honored Builder of Russia, Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Construction of Unique Buildings and Structures, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russia)

EDITORIAL BOARD *

Alekseev Sergey Yurievich — Candidate of Architecture, Professor, Head of Department of Technology of Construction Production of Southern Federal University (Rostov-on-Don, Russia)

Bekkiev Mukhtar Yusubovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of High Mountain Geophysical Institute (Nalchik, Russia)

Beskokplyny Aleksey Nikolaevich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Highly Qualified Personnel Training, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russia)

Verzhbovsky Gennady Bernardovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of Faculty of Industrial and Civil Engineering of Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russia)

Volosukhin Viktor Alekseevich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Structural Mechanics, Don State Agrarian University (Novocherkassk, Russia)

Ginzburg Alexander Vitalievich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Information Systems, Technologies and Automation of Construction of National Research Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russia)

Dyba Vladimir Petrovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Industrial and Civil Engineering, Geotechnics and Foundation Engineering, South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov (Novocherkassk, Russia)

Zheleznov Maksim Maksimovich — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russia)

Ilvitskaya Svetlana Valerievna — Doctor of Architecture, Professor, Head of Department of Architecture, Moscow State University for Land Management (Moscow, Russia)

* The full list of members of the editorial board can be found at <https://conarc.ru>.

Korol Elena Anatolyevna — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Housing and Communal Complex of National Research Moscow State University of Civil Engineering, Honorary Builder of Russia, Honorary Worker of Higher Professional Education of Russian Federation, Corresponding Member of Russian Academy of Architecture and Building Sciences (RAASN) (Moscow, Russia)

Krivoborodov Yury Romanovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Chemical Technology of Composite and Binder Materials of Russian University of Chemical Technology named after D.I. Mendeleev (Moscow, Russia)

Leonovich Sergey Nikolaevich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Construction Technology of Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Nezvorov Alexander Leonidovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Engineering Geology, Foundations and Foundations of Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

Nesvetaev Grigory Vasilyevich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Technology of Construction Production, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russia)

Pishchulina Victoria Viktorovna — Doctor of Architecture, Professor, Head of Department of Architectural Restoration, Reconstruction and History of Architecture, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russia)

Roshchina Svetlana Ivanovna — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Building Structures, Vladimir State University (Vladimir, Russia)

Samchenko Svetlana Vasilievna — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Binder and Concrete Technology of the National Research Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russia)

Sventikov Andrey Aleksandrovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Metal Structures and Welding in Construction, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (Voronezh, Russia)

Skibin Gennady Mikhailovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of Faculty of Civil Engineering, Head of Department of Industrial and Civil Engineering, Geotechnics and Foundation Engineering of South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov (Novocherkassk, Russia)

Uglova Evgenia Vladimirovna — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Automobile Roads of Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russia)

Sheina Svetlana Georgievna — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Urban Construction and Economy of Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russia)

Shilova Lyubov Andreevna — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Systems, Technologies and Construction Automation of the National Research Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russia)

Publishing office: RIOR, 127282, Russia, Moscow, Polyarnaya str., 31B.
info@riorp.ru; <https://riorpub.com>

The opinion of the editorial board may not coincide with the opinion of the authors of publications.

Reprinting of materials is allowed with the written permission of the publisher.

While quoting the reference to the journal "CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE" is required.

Publication information: CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE. For 2023, volume 11 (4 issues) is scheduled for publication.

Subscription information: Please contact +7(495)280-38-67.

Subscriptions are accepted on a prepaid basis only and are entered on a calendar year basis. Issues are sent by standard mail. Claims for missing issues are accepted within 6 months of the day of dispatch.

Advertising information: If you are interested in advertising or other commercial opportunities please e-mail: info@riorp.ru.

Information for the authors: The detailed instructions on the preparation and submission of the manuscript can be found at <https://conarc.ru>. Submitted manuscripts will not be returned. The editors reserve the right to supply materials with illustrations, to change titles, cut texts and make the necessary restyling in manuscripts without the consent of the authors. Submission of materials indicates that the author accepts the demands of the publisher. "CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE" has no page charges.

Electronic edition: Electronic versions of separate articles can be found at <https://conarc.ru>.

Orders, claims, and journal enquiries:
Please contact info@riorp.ru or +7(495)280-38-67.

© RIOR, 2023.

RIOR

SCIENCE

ISSN 2308-0191
DOI 10.29039/2308-0191

Том 11
Выпуск 2(39)
Июнь 2023

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук (с 1 ноября 2019 г.)

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Евтушенко Сергей Иванович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Информационные системы, технологии и автоматизация строительства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, Почетный работник высшего образования Российской Федерации (Москва, Россия)

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

Маилян Левон Рафаэлович — доктор технических наук, профессор кафедры Строительства уникальных зданий и сооружений Донского государственного технического университета, академик Российской академия архитектуры и строительных наук (РААСН) (Ростов-на-Дону, Россия)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ *

Алексеев Сергей Юрьевич — кандидат архитектуры, профессор, заведующий кафедрой Технологии строительного производства Южного федерального университета (Ростов-на-Дону, Россия)

Беккиев Мухтар Юсубович — доктор технических наук, профессор, директор Высогогорного геофизического института (Нальчик, Россия)

Бескопыйный Алексей Николаевич — доктор технических наук, профессор, проректор по подготовке кадров высшей квалификации Донского государственного технического университета (Ростов-на-Дону, Россия)

Вержбовский Геннадий Бернадивич — доктор технических наук, профессор, декан факультета Промышленное и гражданское строительство Донского государственного технического университета (Ростов-на-Дону, Россия)

Волосухин Виктор Алексеевич — доктор технических наук, профессор заведующий кафедрой Строительная механика Донского государственного аграрного университета (Новочеркасск, Россия)

Гинзбург Александр Витальевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Информационные системы, технологии и автоматизация строительства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (Москва, Россия)

Дыба Владимир Петрович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Промышленного и гражданского строительства, геотехники и фундаментостроения Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова (Новочеркасск, Россия)

Железнов Максим Максимович — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (Москва, Россия)

Ильвицкая Светлана Валерьевна — доктор архитектуры, профессор, заведующая кафедрой Архитектуры Московского государственного университета по землеустройству (Москва, Россия)

* Полный список членов редакционного совета можно найти на <https://conarc.ru>.

Издатель: ООО «Издательский Центр РИОР»
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31В. info@riorp.ru; <https://riorpublish.com>
Точка зрения редакции может не совпадать с мнением авторов.

Перепечатка материалов допускается с письменного разрешения редакции.
При цитировании ссылка на журнал «СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА» обязательна.

Информация о публикации: На 2023 г. запланирован выход тома 11 (4 выпуска).

Размещение рекламы: Если вы заинтересованы в размещении рекламы в нашем журнале, пишите на info@riorp.ru.

Информация для авторов: Подробные инструкции по подготовке и отсылке рукописей можно найти на <https://conarc.ru>. Присланные рукописи не возвращаются.

Король Елена Анатольевна — доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой Жилищно-коммунального комплекса Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, Почетный строитель России, Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, член-корреспондент Российской академия архитектуры и строительных наук (РААСН) (Москва, Россия)

Кривобородов Юрий Романович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Химическая технология композиционных и вяжущих материалов Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева (Москва, Россия)

Леонич Сергей Николаевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Технологии строительного производства Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь)

Незоров Александр Леонидович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Инженерной геологии, оснований и фундаментов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова (Архангельск, Россия)

Несветаев Григорий Васильевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Технологии строительного производства Донского государственного технического университета (Ростов-на-Дону, Россия)

Пищулина Виктория Викторовна — доктор архитектуры, профессор заведующая кафедрой Архитектурной реставрации, реконструкции и истории архитектуры Донского государственного технического университета (Ростов-на-Дону, Россия)

Рошина Светлана Ивановна — доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой Строительные конструкции Владимирского государственного университета (Владимир, Россия)

Самченко Светлана Васильевна — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Технология вяжущих веществ и бетонов Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (Москва, Россия)

Свентиков Андрей Александрович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Металлические конструкции и сварки в строительстве Воронежского государственного архитектурно-строительного университета (Воронеж, Россия)

Скибин Геннадий Михайлович — доктор технических наук, профессор, декан строительного факультета, заведующий кафедрой Промышленного и гражданского строительства, геотехники и фундаментостроения Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова (Новочеркасск, Россия)

Углова Евгения Владимировна — доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой Автомобильные дороги Донского государственного технического университета (Ростов-на-Дону, Россия)

Шейна Светлана Георгиевна — доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой Городского строительства и хозяйства Донского государственного технического университета (Ростов-на-Дону, Россия)

Шилова Любовь Андреевна — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Информационные системы, технологии и автоматизация строительства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (Москва, Россия)

Редакция оставляет за собой право самостоятельно снабжать авторские материалы иллюстрациями, менять заголовки, сокращать тексты и вносить в рукописи необходимую стилистическую правку без согласования с авторами. Отсылка материалов на адрес редакции означает согласие авторов принять ее требования.

Электронная версия: Электронные версии отдельных статей можно найти на <https://conarc.ru>.

Заказы, жалобы и запросы: Пишите на info@riorp.ru или звоните +7(495)280-38-67.

Письма и материалы для публикации высылать по адресу: 127282, Россия, Москва, ул. Полярная, д. 31В (ИЦ РИОР) или на e-mail: info@riorp.ru.

© ООО «Издательский Центр РИОР», 2023.



СОДЕРЖАНИЕ ТОМА 11 (2023, ВЫП. 2(39))**ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ,
ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)**

- 7 ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
МАССИВА МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ПЕСЧАНОГО
ГРУНТА С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ
АРМОЭЛЕМЕНТАМИ
ИЗ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ
*Аль Екаби Хаки Хади Аббуд,
Прокопов Альберт Юрьевич,
Страданченко Сергей Георгиевич*

**АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.
ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (АРХИТЕКТУРА)**

- 14 ВЛИЯНИЕ СОЦИАЛЬНО-КУЛЬТУРНЫХ
ПОТРЕБНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА
НА АРХИТЕКТУРУ И ПЛАНИРОВОЧНЫЕ
РЕШЕНИЯ КОЛИВИНГОВ
*Широкова Ольга Львовна,
Павлюк Алёна Сергеевна*

**УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ
ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)**

- 23 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ
КОМПЛЕКСНОЙ ЗАСТРОЙКИ ТЕРРИТОРИЙ
С ПОЗИЦИИ НИЗКОУГЛЕРОДНОГО
РАЗВИТИЯ
*Суворова Мария Олеговна,
Наумов Андрей Евгеньевич,
Строкова Валерия Валерьевна*
- 31 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ
*Колтун Олег Владимирович,
Павлов Александр Сергеевич,
Жданова Мария Вячеславовна*

CONTENTS OF VOLUME 11 (2023, ISSUES 2(39))**FOUNDATIONS AND FOUNDATIONS,
UNDERGROUND STRUCTURES
(TECHNICAL SCIENCES)**

- 7 STRENGTH CHARACTERISTICS
OF AN ARRAY OF FINE-GRAINED
SANDY SOIL WITH VERTICAL
REINFORCEMENT ELEMENTS
FROM COARSE AGGREGATE
*Al Ekabi Haqi Hadi,
Prokopov Al'bert,
Stradanchenko Sergey*

**ARCHITECTURE OF BUILDINGS
AND STRUCTURES. CREATIVE CONCEPTS
OF ARCHITECTURAL ACTIVITY (ARCHITECTURE)**

- 14 THE INFLUENCE OF HUMAN
SOCIO-CULTURAL NEEDS
ON THE ARCHITECTURE AND PLANNING
DECISIONS OF COLIVINGS
*Shirokova Ol'ga,
Pavlyuk Alena*

**LIFE CYCLE MANAGEMENT
OF CONSTRUCTION OBJECTS
(TECHNICAL SCIENCES)**

- 23 LIFE CYCLE LOW-CARBON
MANAGEMENT SYSTEM IMPROVEMENT
OF THE INTEGRATED DEVELOPMENT
OF BUILDINGS
*Krutilova Maria,
Naumov Andrej,
Strokova Viktoria*
- 31 TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS
OF DIGITAL MODELING
OF POWER PLANT FACILITIES
*Koltun Oleg,
Pavlov Aleksandr,
Zhdanova Maria*

- | | | | |
|----|--|----|---|
| 42 | ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ КРОВЕЛЬ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ЕЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ
<i>Долженко Александр Валериевич,
Наумов Андрей Евгеньевич,
Строкова Валерия Валерьевна</i> | 42 | INTELLECTUALIZATION OF CONSTRUCTION AND TECHNICAL EXPERTISE OF FLAT ROOFS AS A TOOL FOR ITS LIFE CYCLE MANAGING
<i>Dolzhenko Aleksandr,
Naumov Andrej,
Strokova Viktoria</i> |
| 51 | ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДОМАШНИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ
<i>Коротеев Дмитрий Дмитриевич,
Коротеева Татьяна Александровна,
Хуан Цзюежу</i> | 51 | FORECASTING ENERGY CONSUMPTION IN HOME ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS USING MACHINE LEARNING METHOD
<i>Koroteev Dmitry,
Koroteeva Tatiana,
Huang Jueru</i> |
| 57 | ВЫБОР ЗЕМЕЛЬНОГО УЧАСТКА ПОД ЗАСТРОЙКУ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТИ
<i>Постнов Константин Владимирович,
Витько Никита Сергеевич</i> | 57 | SELECTION OF A LAND PLOT FOR BUILDING USING A NEURAL NETWORK
<i>Postnov Konstantin, Vitko Nikita</i> |
| 64 | РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ С ЦЕЛЬЮ ПРЕДСКАЗАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ФАЗ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЭЛЕМЕНТОВ ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ
<i>Сигитов Андрей Александрович</i> | 64 | DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR ANALYZING BIG DATA IN ORDER TO PREDICT CHANGES IN THE PHASES OF THE LIFE CYCLE OF ELEMENTS OF ENGINEERING EQUIPMENT OF BUILDINGS AND STRUCTURES
<i>Sigitov Andrei</i> |
| 71 | АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТА КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
<i>Федоров Сергей Сергеевич,
Казakov Сергей Дмитриевич</i> | 71 | ANALYSIS OF DIGITAL INFORMATION MODELS AT ALL STAGES OF THE LIFE CYCLE OF A CAPITAL CONSTRUCTION FACILITY
<i>Fedorov Sergey,
Kazakov Sergey</i> |
| 79 | РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ В МАЛОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ
<i>Петербурцев Максим Григорьевич,
Адамцевич Любовь Андреевна</i> | 79 | DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR PERSONNEL MANAGEMENT IN A SMALL CONSTRUCTION ORGANIZATION
<i>Peterburtsev Maxim,
Adamceovich Lyubov'</i> |
| 84 | ФОРМИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ПЛАТФОРМЕ «ЗЕЛеной ЭКОНОМИКИ»
<i>Смолина Лидия Филипповна</i> | 84 | FORMATION OF A SUSTAINABLE LIFE CYCLE OF CONSTRUCTION OBJECTS ON THE «GREEN ECONOMY» PLATFORM
<i>Smolina Lidiya</i> |

- | | |
|---|---|
| <p>91 ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
<i>Камаева Юлия Владимировна,
Адамцевич Любовь Андреевна</i></p> | <p>91 PROSPECTS FOR THE USE
OF PREDICTIVE ANALYTICS
IN CONSTRUCTION
<i>Kamaeva Iuliia,
Adamcevich Lyubov'</i></p> |
| <p>100 ВЫБОР ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ НА ОСНОВЕ
ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ
<i>Шилкина Светлана Вячеславовна,
Иванова Ольга Вячеславовна</i></p> | <p>100 THE CHOICE OF SOFTWARE
FOR THE IMPLEMENTATION
OF PROJECTS BASED ON INFORMATION
MODELING TECHNOLOGIES
<i>Shilkina Svetlana,
Ivanova Olga</i></p> |
| <p>114 МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА
ЗДАНИЯ СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСА
НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ,
ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ
<i>Плахутина Александра Александровна</i></p> | <p>114 MODELING OF THE LIFE CYCLE
OF A SPORTS COMPLEX BUILDING
AT THE STAGE OF DESIGN,
OPERATION AND RECONSTRUCTION
<i>Plahutina Aleksandra</i></p> |
| <p>121 ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
И УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В ГОРОДЕ
НОВОЧЕРКАССКЕ
<i>Шутова Марина Николаевна,
Кузелева Виктория Александровна,
Минькова Анастасия Андреевна,
Сотников Александр Сергеевич,
Кожихов Алексей Григорьевич</i></p> | <p>121 INFORMATION MODELING AND LIFE CYCLE
MANAGEMENT OF CONSTRUCTION
PROJECTS IN THE CITY
OF NOVOCHERKASSK
<i>Shutova Marina,
Kuzheleva Viktoriya,
Minkova Anastasia,
Sotnikov Aleksandr,
Kozhikhov Aleksey</i></p> |
| <p>129 ЦИФРОВАЯ МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА
МОНИТОРИНГА, ОЦЕНКИ
И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
СОСТОЯНИЯ БЕТОНА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ
МОНОЛИТНЫХ РАБОТ НА ОСНОВЕ
ТЕХНОЛОГИИ
ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ
<i>Авербух Лев Михайлович,
Ненишев Андрей Анатольевич,
Железнов Максим Максимович,
Коядинович Давид,
Штрауб Янн</i></p> | <p>129 MODULAR DIGITAL SYSTEM
FOR MONITORING,
ASSESSING AND FORECASTING
THE CONDITION OF CONCRETE
FOR MONOLITHIC WORKS
BASED ON INTERNET
OF THINGS TECHNOLOGY
<i>Averbukh Lev,
Nenishev Andrey,
Zheleznov Maksim,
Koyadinovich David,
Straub Yann</i></p> |
| <p>135 РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА
ГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ
<i>Евтушенко Сергей Иванович,
Исаев Андрей Дмитриевич</i></p> | <p>135 DEVELOPMENT OF A DIGITAL TWIN OF GAS
EQUIPMENT
<i>Evtushenko Sergej,
Isaev Andrey</i></p> |

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

- 147 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТЫ СПЕКТРАЛЬНО АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ПО КОНТРОЛЮ ЗАПЫЛЕННОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*Евтушенко Сергей Иванович,
Лепихова Виктория Анатольевна,
Ляшенко Надежда Владимировна,
Рябоус Андрей Юрьевич*

ВИДЫ ИСКУССТВА (ИЗОБРАЗИТЕЛЬНОЕ, ДЕКОРАТИВНО-ПРИКЛАДНОЕ ИСКУССТВО И АРХИТЕКТУРА)

- 152 ФОРМИРОВАНИЕ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ВЫРАЗИТЕЛЬНОСТИ СОВРЕМЕННОГО АРХИТЕКТУРНОГО ПРОСТРАНСТВА

*Старикова Анастасия Сергеевна,
Орлов Евгений Владимирович,
Говоров Вадим Олегович*

SAFETY IN CONSTRUCTION

- 147 DESIGNING A SOFTWARE SYSTEM TO ENSURE THE OPERATION OF THE SPECTRAL ACOUSTIC METHOD FOR DUST CONTROL IN CONSTRUCTION

*Evtushenko Sergej,
Lyepikhova Viktoriya,
Lyashenko Nadezhda,
Riabous Andrei*

ARTS (FINE, APPLIED ART AND ARCHITECTURE)

- 152 FORMATION OF ARTISTIC EXPRESSIVENESS OF MODERN ARCHITECTURAL SPACE

*Starikova Anastasiya,
Orlov Evgeniy,
Govorov Vadim*

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАССИВА МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ПЕСЧАНОГО ГРУНТА С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ АРМОЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

УДК 624.138

Аль Екаби Хаки Хади АббудДонской государственной технической университет, Ростов-на-Дону, Россия;
haqqi@uowasit.edu.iq**Прокопов Альберт Юрьевич**д-р техн. наук, профессор, Почетный работник высшего профессионального образования РФ
Донской государственной технической университет (Зав. кафедрой инженерной геологии, оснований и фундаментов)
Ростов-на-Дону, Ростовская область, Россия;
prokopov72@rambler.ru**Стрданченко Сергей Георгиевич**Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ в г. Шахты (директор)
Шахты, Ростовская область, Россия;
stradanchenko61@gmail.com

Статья получена: 13.05.2023. Одобрена: 08.06.2023. Опубликовано онлайн: 27.06.2023. © РИОР

STRENGTH CHARACTERISTICS OF AN ARRAY OF FINE-GRAINED SANDY SOIL WITH VERTICAL REINFORCEMENT ELEMENTS FROM COARSE AGGREGATE Al Ekabi Haqi Hadi

Don State Technical University
Rostov-on-Don, Rostov-on-Don, Russian Federation
haqqi@uowasit.edu.iq**Prokopov Al'bert**D. Sc. in Engineering, Prof.
Don state technical University (Department of engineering
Geology, bases and foundations, Head of department)
Rostov-na-Donu, Rostov-on-Don, Russian Federation
prokopov72@rambler.ru**Stradanchenko Sergey**Institute of Service and Entrepreneurship (branch) of the Don State
Technical University in Shakhty (director)
Shakhty, Rostov-on-Don, Russian Federation
stradanchenko61@gmail.com

Abstract: This work's main objective was to increase the value of the coefficient of friction between soil grains in the test specimen by adding coarse gravel columns to the fine, sandy soil. In this regard, it was determined that a soil's lowest void ratio should be used as a measuring criterion because it matches the crucial requirement of an independent friction angle from soil gradation, all of the results above were calculated using the outcomes of a laboratory test method. Pressure addition was used to determine the relationships between a mixture with a low void ratio and the critical state or high coefficient of friction angles. Determining the strength characteristics of sand-gravel mixtures may be helped

by the linkages. The riverbanks of the Tigris, which had previously been subject to similar cracks and collapses, served as the location for the collection of samples for the purpose of this research. The completion of the study and examination, it was discovered that the soil is composed of river sediments and that it has the potential to be categorized as soil that is constructed of fine sand. It is generally acknowledged that shear loads are a significant element that contributed to the demise of numerous riverbanks. In this particular field of research, a variety of coarse aggregate column widths and aggregate sizes used to increase the friction angle of soil are investigated via direct shear testing. When analyzing the qualities of soil, the minimal void ratio is important, Particle size distributions and particle shapes influence their relationship to compressive characteristics, permeability, and shear strength of the soil. While previous studies have modeled the minimal void ratio in terms of the impact of particle size distributions, they have largely disregarded the role that particle shape might play in this parameter. This work examines the effects of three different sizes of coarse aggregate on the minimal void ratio with respect to particle size distributions. Experiments have shown that when the number of fine particles increased the minimum void ratio reduced. The more irregularity there was in the particle shapes, the more difficult it was for particles to make touch with one another, and the more space there was between them. Diagrams depicting the connection between shear strength, angle of friction, and particle size distribution were created from experimental data.

Keywords: angle of internal friction, direct shear test, porosity, gravel reinforcement, fine-grained sandy soil, slope stability

Аннотация. Основная цель работы — увеличение коэффициента трения между частицами в испытуемом образце путем формирования вертикальных армоэлементов из крупного гравия в мелком песчаном грунте. Определение прочностных характеристик песчано-гравийных смесей выполнялось на образцах, отобранных в Ираке на неустойчивых берегах реки Тигр, на которых формировались трещины, происходили оползни и обвалы. Посредством испытания образцов на сдвиг исследовано влияние диаметра столба крупного заполнителя и размера заполнителя на увеличение угла внутреннего трения. Установлено, что распределение частиц по размерам и форма частиц влияют на характеристики сжатия, проницаемость и прочность грунта на сдвиг. Предыдущие исследования моделировали коэффициент пористости с точки зрения влияния распределения частиц по размерам, но не учитывали влияние формы частиц в этом параметре. В этой работе исследуется влияние трех разных размеров крупного заполнителя на минимальный коэффициент пористости в зависимости от распределения частиц по размерам. Эксперименты показали, что при увеличении количества мелких частиц минимальная пористость снижается. Чем более неправильной была форма частиц, тем труднее было частицам соприкасаться друг с другом, и тем больше было расстояние между ними. На основе экспериментальных данных построены графики, отображающие связь между прочностью на сдвиг, углом внутреннего трения и распределением частиц по размерам.

Ключевые слова: угол внутреннего трения, испытание на прямой сдвиг, пористость, армоэлементы из гравия, мелкозернистый песчаный грунт, устойчивость склонов

Introduction

A number of researchers have investigated the behavior of stone columns through theoretical, experimental, and field studies. According to Ambily and Gandhi (2007) [1], Of all the methods that may be used to improve in situ ground conditions, columnar inclusions are thought to be one of the most flexible and economical ground quality management techniques. Columns made of stone, grainy material, sand that has been compacted, columns made of gypsum or cement, or structures similar to these may all be used as columnar inclusions since they are all strong and resilient to soil deposits. Columns made of stones there have frequently been utilized in unstable deposits to increase load-bearing capacity, reduce the amount of

settling experienced by structural bases, and improve consolidated settlement due to a decrease in flow route lengths. These goals may all be accomplished through the use of stone columns. Stone columns have also been used to support structural foundations. Another significant benefit of using this technology is the ease with which its building may be accomplished. The type of material and the size of the particles of the material used for a column are two of the most important characteristics in the construction of stone columns.

In clay soils, course sand columns are often utilized for the purpose of researching how the presence of such columns affects the strength of the soil. The practice of using course sand columns to enhance the geotechnical qualities of soft saturated cohesive soils is used extensively in many different parts of the world. The high compressibility (cc range from 0.19 to 0.44) and low undrained shear strength ($c_u < 40$ Kpa) of soft soils are the defining characteristics of this kind of topography (Brand and Brenner, 1981) [2]. Both the capacity for bearing and the settling of soft soil that has been strengthened with sand columns depend on a variety of different conditions. These include the number and arrangement of sand columns on the site, their size and pattern of construction, the area replacement ratio, the amount and pace at which load is applied, and the circumstances surrounding the additional material's deployment. Other factors include the area replacement percentage and the weight of the load.

The backfill materials play the most important role in providing the columns with their stiffness. Clayey soils with undrained shear strengths between 15 and 50 KPa are ideal for this method because they have the greatest potential for success (Barksdale and Bachus, 1983; Juran and Guermazi, 1988) [3, 4]. On the other hand, it is not a viable option in soils that are more compressible since these soils do not offer enough lateral confine.

Soft clays' geotechnical properties, particularly their mechanical properties, such as increasing load-bearing capacity, reducing settlement, and minimizing the creation of additional pore water pressure throughout loading, have been improved by the use of stones or sand columns (Maakaroun et al., 2009) [5]. When installing sand columns as vertical drainage in soil improvement scenarios, the potential reinforcing impact that these columns might have in terms of increasing the soil's carrying capacity is sometimes disregarded during design.

In the past, there have been issues with laboratory studies on coarse-grained soils because the test specimens were of inadequate size. In the majority of instances, the

large grain size is limited to less than 10 millimeters, and tests are carried out on the finer percentage of the soil using a technique that is popularly known as the scalping method. In a couple of other scenarios, the same parallel grading curve is utilized as a model of the original soil; this approach, which is called a comparable grading methodology, was designed to deal with these sorts of problems. Also, in both ways, a portion of the soil must be ignored, which might have an effect on its mechanical qualities. Using a large scale in triaxle and direct shear tests is an alternative method for evaluating soils with greater particle sizes and calculating shear strength values. These studies have been used by a number of researchers in order to explore the mechanical behavior of soils with coarse-grained particles. Fragaszy et al. [1990 and 1992] [5, 7] These studies have been used by a number of researchers in order to explore the mechanical behavior of soils with coarse-grained particles. They came up with the concepts of near-field density as well as far-field density. In the near-field, the density of the soil matrix was defined as the density of the soil matrix when it was located in close proximity to the huge particles. On the other hand, in the far-field, the density of the soil matrix was defined as the density of the soil matrix when it was located at a substantial distance from the enormous particles. When big particles are suspended in a finer matrix, it was shown that the static strength of the combination is determined by the density of the distant field. In addition, they observed that an increase in the proportion of gravel affects the soil's far-field density and shear strength. Evans and Zhou [1995] [8] subsequently demonstrated this for the cumulative repeated shear strength of sand gravel. Numerous studies have shown that the gravel component enhances the static shear strength of soil mixes (composed of sand and gravel) when they are in the floating stage, including Yagiz [2001] [9], Vallejo [2001] [10], and Kokusho et al. [2004] [11].

Experimental Work

Using the direct shear test, the research relied on experimental methodology to examine soil attributes. For the coarse aggregate model utilized in this work, it was necessary for calculating the size of aggregates with an outer diameter of less than 12 mm. Because of the limited sample size of the cell dimensions (60 mm x 60 mm x 30 mm), this is regarded as one of the greatest obstacles faced in the research of the influence of coarse aggregate with large dimensions. The procedure relied on mechanical examination of the use of rough aggregate with the field density in the specimens being tested to determine the

quantity of actual change in the field density. Additionally, the method required the employ of columns of rough aggregate with sizes larger than the column diameter and gradients bigger than the rough aggregate gradient.

Work that varies from earlier studies by drilling columns into the ground to increase the depths of aggregates within soil layers, lowering the overall amount of aggregates, and reducing the influence of deformation on the soil characteristics to be enhanced.

According to the results of various studies that were conducted in the past, the only impact that the addition of coarse aggregate to sand soil had was to increase the frictional coefficient of the soil. This was the only effect that the addition of coarse aggregate had. Evans and Zhou [1995] [8] accomplished this task, and their solution relied on combining coarse aggregate with each layer of the soil model. However, they neglected the density and cohesion of the models to achieve their goal of improving the soil's properties.

Direct shear test using the shear device, ASTM D 3080 — 89:

A device that is capable of calculating the amount of friction angle between the soil particles, as well as measuring the degree of cohesion and adhesion that exists between the soil granules, is an instrument that can be used to determine how much pressure is being exerted on the different layers of soil. This may be accomplished by using the device. Additionally, the instrument calculates the pressures exerted on the various levels of the soil. The tool is made up of a circular meter that measures the amount of stress that the tool supplies to the soil as well as user-installed forces that transform those forces into pressure layer forces [12]. Figure 1 shows the tool in general as well as its parts. The apparatus is used to measure the degree of stress that is delivered to the soil by the apparatus.



Fig. 1. Direct Shear device

To determine the shear strength of consolidated and drained fine sand soil, a test was conducted using a direct shear machine with a maximum shear force of (5000 N). With a speed range that can be adjusted from (0.00001 to 9.99999 mm/min) and a digital speed display, the Digital Shear Test Machine is controlled by a high-resolution stepper motor and worm reduction unit. The vertical force is applied to the specimen in a direct manner by use of a load frame that contains weights, and this force has the potential to be increased by means of the beam loading system on the shear testing machine. When using a device with a 10:1 lever ratio, it is able to support a load of up to 50 kilograms of weight, which enables the total specimen test load to vary from (500 N to 5000 N).

A load-displacement measuring tool and a shear box assembly with slotted steel weights are included with the machine. It is possible for the device to be analog with dial gauges and a load ring or electronic with data collecting, displacement transducers, a processing load cell, and a system for obtaining data.

The electronic components are protected by a modern, molded enclosure that has a large LCD display as well as a keyboard. This enclosure also houses the circuits.

- SIEVES, ASTM D 422: employing a number of different soil sieves with a range of different degrees and sizes of clamps in Figure 2.



No.	#4	#8	#10	#20
mm	4.75	2.36	2	0.841

Fig. 2. Sieves analyses

Sample and Process for Preparation

With the aid of ASTM 3080-98, sometimes referred to as the Basic Test Process for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions, the model was created. The height of the model is divided into three levels, and then using a certain hammer, the total weight of each level is calculated according to the required density.

As indicated in Figure (3), the column model is fitted with a cylinder of differing diameters and 1 mm thickness, it is positioned in the test mold's center.

As can be seen in Figure 1, the specimen cell was put into place in order to conduct the direct shear test. This process is performed several times, with each iteration taking into account the aggregate dimensions, column diameter, and mixture ratio.

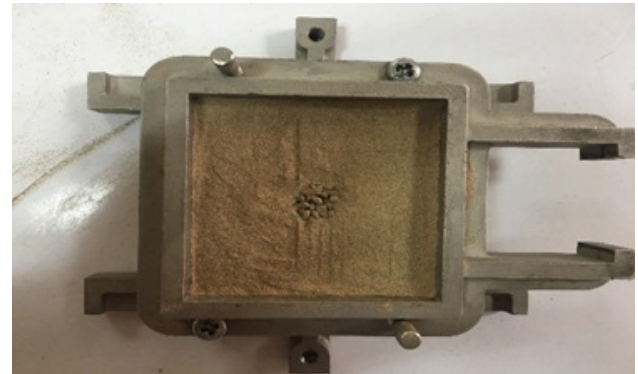


Fig. 3. Specimen preparation

Results and Data Analysis

A direct shear test is used to study the shear strength properties of six various materials. In this particular test, the normal stress is varied from 14 to 42 Kpa, and the diameter of the sand column is varied from 1.22 to 2.6 centimeters at each of the three distinct diameters. We observed an increase in the value of the friction angle with increasing aggregate diameter after conducting tests on a sample of field soil and comparing the results to those of soil samples with an improved coefficient of internal friction angle by using aggregate with three different diameters of particles as retained on sieve no. (8, 10, and 20) and having the column area reach 4.5% from the test area of the specimen (1.22 cm diameter column), as depicted in Figure (4).

The utilization of mixed aggregates in equal proportions is shown in Figures 5 and 6, both of which have an equivalent column area (4.5%) replaced with aggregate. These figures combine the three particle sizes and mixed aggregates with regard to mixing to the ratio of the improved coefficient of friction. By using mixed aggregates in a ratio equal to the three particle sizes used, this is shown.

According to Figure (7), the diameter of the aggregate utilized had an inversely proportional effect on the soil's coefficient of friction, showing an increase in the area of aggregate columns and a 10% deviation from the test area. I Two Figures 8 and 9 show that using mixed aggregates in proportionate mixing improved the coefficient of friction for a 2.6 cm diameter column whenever compared to using particles of the same size.

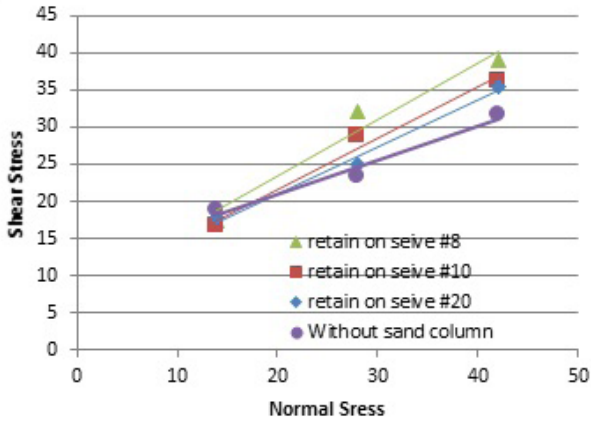


Fig. 4. Effect size particles in sand column with 4.5% area replaced on friction angle

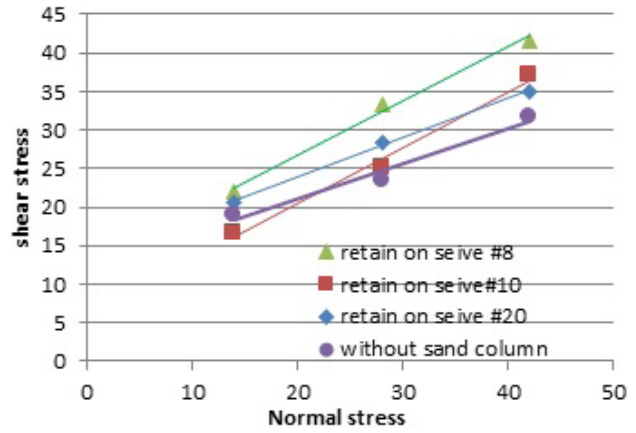


Fig. 7. Effect size particles in sand column with 10% area replaced on friction angle

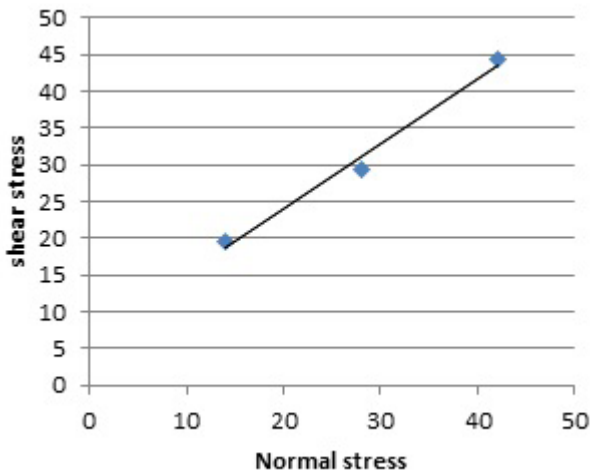


Fig. 5. Effect uniform mixing particles in sand column with 4.5% area replaced on friction angle

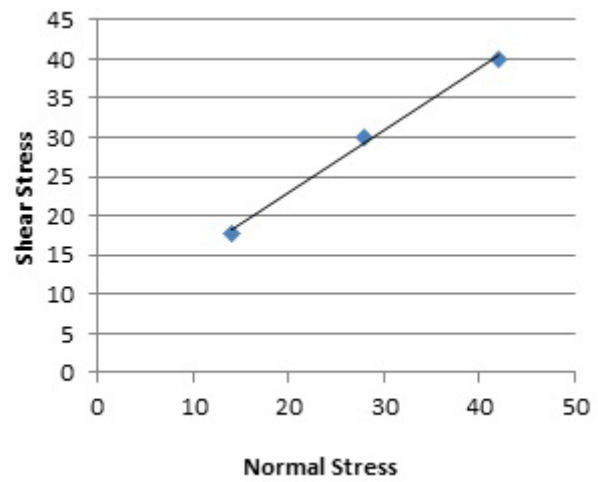


Fig. 8. Effect uniform mixing particles in sand column with 10% area replaced on friction angle

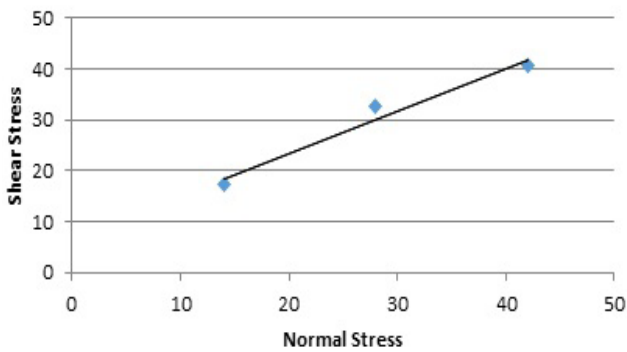


Fig. 6. Effect non-uniform mixing particles in the sand column with 4.5% area replaced on friction angle

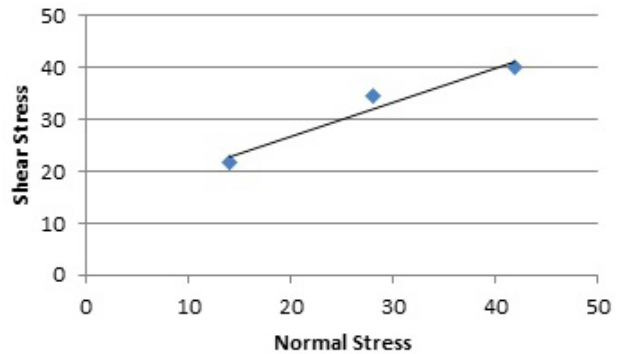


Fig. 9. Effect non-uniform mixing particles in the sand column with 10% area replaced on friction angle

-Effect of coarse sand column diameter on internal friction angle:

The considerable impact that the width of the coarse sand column has on the internal friction angle of the soil grains is seen in Figure 10. Notably, the internal friction angle for the remaining coarse sand on sieve no. 8 was 28° as compared to the diameter of the coarse sand column (1.22 cm), whereas the angle of internal friction for the 2.6 cm diameter sand column, which supplanted a larger area, was 33°.

- Effect of the mixing ratio of coarse sand on the internal friction angle:

Figure 11 depicts the relationship between the amounts of internal friction soil and the quantities of mixing coarse sand columns. As a consequence of using coarse sand columns, we observe an improvement in the angle of internal friction for the soil that was used, with a ratio that becomes better for all sizes.

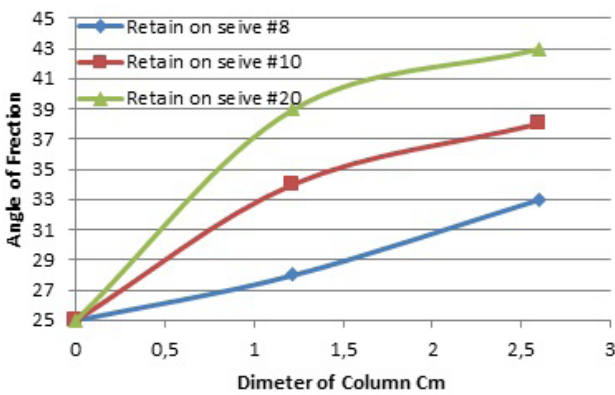


Fig. 10. Effect the diameter and size of particles of coarse sand column on angle of friction

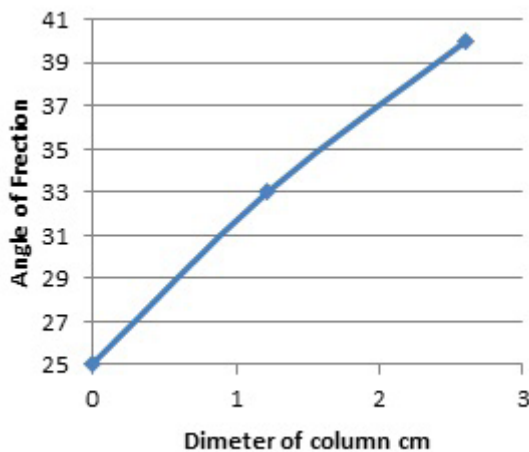


Fig. 11. Effect the non-uniform mixing of particles size in different diameter of coarse sand column on angle of friction

Figure 12 shows them adding three different sizes of coarse sand to improve the soil. The coarse sand was mixed in at an identical rate. This correlation between an increase in the value of internal friction in the soil and a decrease in the percentage of voids in the soil led to an enhancement in the properties of the soil.

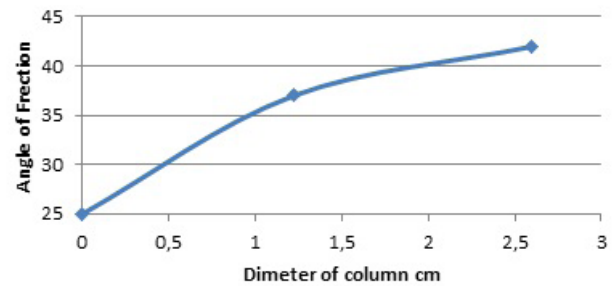


Fig. 12. Effect the uniform mixing of particles size in different diameter of the coarse sand column on the angle of friction

Summary and conclusion

The purpose of the research was to investigate whether or not it would be possible to improve the physical characteristics of fine-sand soil, more precisely those characteristics of soils that were produced as a result of the action of river deposits, the likes of which may be visible on the shoulders of rivers that have poor soil cohesion. The Tigris River, which was located in a region that was prone to fractures and landslides, was the source of some of the samples that were gathered. It was discovered that the soil had been formed by the sediments made by the river, and based on the findings of a sieve analysis test, it is possible that the soil should be categorized as fine sand soil. This conclusion was reached after it was discovered that the soil was formed from river deposits.

In this work, a laboratory test method was used to calculate and analyze the results of the study. An investigation was carried out to determine the viability of enhancing the quality of the soil and cutting down on the number of collapses that take place on river shoulders or soil barriers. By adding coarse aggregate columns with three sizes and two diameters, the angle of the internal friction coefficient in the soil could be raised. In Figure 1, we notice that the direct shear resistance has increased from 32 to 40 KPa with an increase in the diameter of the aggregate used in the columns each time a larger diameter is used, as the size of the aggregate increased from sieve size No. 20, 10 to 8. The direct shear resistance increases every time. The three sizes of coarse aggregate were mixed, but using various mixing techniques, to add the aggregate

column in Figures 2 and 3. We note that the regular mixing method is more effective than the irregular mixing method, as the direct shear resistance in the regular mixing method reached 45 kPa, while the irregular mixing method reached 41 kPa. Increasing the diameter of the aggregate column gives clear readings by increasing the direct shear resistance. Compare Figures 1 and 4 for different aggregate sizes. Analysis of the effect of increasing the size of the aggregate used in stabilizing the soil in a cycle also gave good results in increasing the amount of the angle of internal friction of the soil; in Figure 7, the angle of internal friction increased. From 33° to 43° degrees for each size of coarse aggregate that has been added to the soil. Figures 8 and 9

show the effect of the method of mixing the aggregates on the internal friction angle from 39.5° to 42.5°. If we compare Figures 2 and 3 or Figures 5 and 6, we notice the extent of the effect of adding aggregates with a different gradient, and this in turn led to a reduction in the number of air gaps, which increased the shear resistance of the soil.

To get more realistic results and closer to what actually happens in the real world, the field density was kept the same as in the laboratory. From the results of this, the internal friction coefficient of the soil was raised, and the critical condition or peak friction angles in combination with a lower void ratio were found to be related to an increase in soil stability over time.

References

1. Ambily, A.P., and Gandhi, S.R., "Behavior of Stone Columns Based on Experimental and FEM Analysis", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 133, 2006, pp.405-415.
2. Brand E.W and Brenner R.P., (1981), "Soft Clay Engineering.", Elsevier Scientific Published Company, Amsterdam.
3. Barksdale, R.D. and Bachus, H.G., (1983), "Design and Construction of Stone Columns.", Dept. of Transportation, Federal Highway Administration Report, USA report No. FHWA/RD 83/026.
4. Juran, I. and Guermazi, A. (1988), "Settlement Response of Soft Soils Reinforced by Compacted Sand Columns.", *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 114, No. 8, pp.930-943.
5. Maakaroun, T., Najjar, S.S. and Sadek, S. 2009. Effect of Sand Columns on the undrained load response of Soft Clays. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. (ASCE).
6. Fragaszy, R.J., Su, W. and Siddiqi, F.H. (1990). «Effect of oversized particles on the density of clean granular soils.» *Geotech. Test. J.*, 13(2), 106-114.
7. Fragaszy, R.J., Su, W., Siddiqi, F.H. and Ho, C.L. (1992). «Modeling strength of sandy gravel.» *J. Geotech. Engrg. Div., ASCE*, 118(6), 920-935.
8. Evans, M.D. and Zhou, S. (1995). «Liquefaction behavior of sand-gravel composites.» *J. Geotech. Eng. Div., ASCE*, 121(3), 287-298.
9. Yagiz, S. (2001). «Brief note on the influence of shape and percentage of gravel on the shear strength of sand and gravel mixture.» *Bul. Engrg. Geol. and Env.*, 60(4), 321-323.
10. Vallejo, L.E. (2001). «Interpretation of the limits in shear strength in binary granular mixtures.» *Can. Geotech. J.*, 38(5), 1097-1104.
11. Kokusho, T., Hara, T. and Hiraoka, R. (2004). «Undrained shear strength of granular soils with different particle gradations.» *J. Geotech. And Geoenv. Engrg.*, ASCE, 130(6), 621-629.
12. ASTM D3080-1998, "Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions", American Society for Testing and Materials.

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.
ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (АРХИТЕКТУРА)

ВЛИЯНИЕ СОЦИАЛЬНО-КУЛЬТУРНЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА НА АРХИТЕКТУРУ И ПЛАНИРОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ КОЛИВИНГОВ

УДК 721

Широкова Ольга Львовна

доц., канд. экон. наук, Московский государственный строительный университет (кафедра «Информатика и прикладная математика»), Москва, Россия;
shirokovaol@mgsu.ru

Павлюк Алёна Сергеевна

аспирант, преподаватель, Московский государственный строительный университет (кафедра «Архитектура»), Москва, Россия;
pavlyukas@mgsu.ru

Статья получена: 05.05.2023. Одобрена: 12.06.2023. Опубликовано онлайн: 27.06.2023 © РИОР

Аннотация. Архитектурные решения всегда должны быть направлены на удовлетворение социально-культурных потребностей человека. Изучению влияния социального развития на городское планирование и жилую застройку посвящены работы Ле Корбюзье, Ральфа Эрскина, Джейн Джейкобс, Кевина Линча, Ричарда Сеннетта. Потребности в жилище в немалой степени зависят и от периода жизни человека. В связи с этим Ле Корбюзье выступал за создание гибкой архитектуры, которая меняется в зависимости от фазы жизни. Жилье должно соответствовать социальному статусу и личным потребностям каждого члена семьи. Одним из способов реализации этой потребности является коливинг. Он привлекателен для людей на разных этапах жизни. Молодые люди могут выбрать коливинг, чтобы сэкономить на аренде и жить ближе к работе и развлечениям. Молодые семьи могут использовать его для совместного использования пространства с другими родителями и детьми. Коливинг также

удобен на переходных этапах жизни и позволяет находить новых друзей и иметь больше возможностей для социального взаимодействия. Среди архитекторов, работавших над проектами коливинга, можно выделить Олафура Элиассона, Нормана Фостера, Жаннетт Мардини и Дэвида Чипперфилда. В работе предложены планировки коливингов для жилья аспирантов и преподавателей высшей школы.

Ключевые слова: социальное развитие, архитектура, жизненный цикл, планировочные решения, типология жилища, коливинг

Введение

Традиционный дом в разных культурах имеет свои уникальные особенности, которые соответствуют определенным нормам. В некоторых культурах комнаты разделены по полу, в других — по возрасту. Социально-культурные потребности вли-

THE INFLUENCE OF HUMAN SOCIO-CULTURAL NEEDS ON THE ARCHITECTURE AND PLANNING DECISIONS OF COLIVINGS

Shirokova Ol'ga

PhD in Economic, Associate Professor, Moscow State University of Civil Engineering (Department of Informatics and Applied Mathematics), Moscow, Russian Federation;
shirokovaol@mgsu.ru

Pavlyuk Alena

Graduate student, Moscow State University of Civil Engineering (Department of Architecture, lecturer), Moscow, Russian Federation;
pavlyukas@mgsu.ru

Abstract: Architectural solutions should always be aimed at meeting the socio-cultural needs of a person. Le Corbusier, Ralph Erskine, Jane Jacobs, Kevin Lynch, Richard Sennett are devoted to the study of the impact of social development on urban planning and residen-

tial development. The need for housing to a large extent depends on the period of a person's life. In this regard, Le Corbusier advocated the creation of a flexible architecture that changes depending on the phase of life. Housing should correspond to the social status and personal needs of each family member. One way to fulfill this need is coliving. It is attractive to people at different stages of life. Young people can choose co-living to save on rent and live closer to work and play. Young families can use it to share space with other parents and children. Coliving is also handy during life transitions and allows you to make new friends and have more opportunities for social interaction. Architects who have worked on coliving projects include Olafur Eliasson, Norman Foster, Jeannette Mardini and David Chipperfield. The paper proposes the layout of coliving for housing graduate students and teachers of higher education.

Keywords: social development, architecture, life cycle, planning solutions, housing typology, coliving

яют на то, как распределяется пространство в доме, какие материалы используются для строительства и декорации.

Еще одним важным аспектом, на который влияют социально-культурные потребности человека, является концепция «дома как убежища». В соответствии с этой концепцией, дом должен быть безопасным местом, где люди могут отдохнуть и заняться своими делами. Это может означать, что наличие защищенных пространств, например дворов, террас, высоких заборов или стен.

Экологические, климатические, экономические, технологические и другие факторы, также оказывают свое влияние на архитектуру жилища. Однако социально-культурные потребности являются основополагающими и необходимыми при проектировании и строительстве домов.

Исследования влияния социальных и культурных факторов на архитектуру

Одним из наиболее известных архитекторов, который активно учитывал социальные потребности в своих проектах, был Ле Корбюзье. В своих работах он выдвигал концепцию «человеческой масштабности» в архитектуре, которая учитывала потребности и комфортность обитателей жилья. Он высказывал идеи о том, что жилье должно предоставлять не только функциональные возможности, но и комфорт и гармонию, а также быть частью общего образа жизни и стимулировать социальный прогресс. Ле Корбюзье призывал людей изменять свой образ жизни и переходить к более функциональным и эргономичным формам проживания. Ле Корбюзье считал, что для комфортной жизни необходимо создание функциональных и эстетических пространств, которые могут соответствовать потребностям человека. Он выделил пять основных потребностей: спать, одеваться, готовить и есть пищу, отдыхать и заниматься физическими упражнениями, работать и изучать [1, 2].

Он также полагал, что такое пространство должно быть открытым, светлым, просторным и гармоничным [3].

Кроме того, Ле Корбюзье считал, что качество жизни зависит от доступности к социальным услугам, таким как здравоохранение, образование, культура и транспортная инфраструктура.

Особое внимание акцентировалось на том, что архитектура должна сочетать в себе функциональность и красоту, чтобы удовлетворять потребности различных групп населения.

Еще одним известным архитектором, который писал о влиянии социального развития на жилое строительство, был Оскар Нимейер. Он активно экспериментировал с новыми формами и материалами. Несмотря на то, что Оскар Нимейер проектировал в соответствии с пятью правилами Ле Корбюзье, он разработал свои принципы, поставив на первое место социально-целительные способности красоты [4].

Влияние социального развития на изменение архитектуры жилья и облика города изучали Ральф Эрскин, Джейн Джейкобс, Кевин Линч, Ричард Сеннетт.

Ральф Эрскин известен не только разработкой типологий и строительством социального жилья, ориентированного на создание комфортных условий для жизни, но и разработал проект субарктического города [5, 6].

Основательница движения нового урбанизма Джейн Джейкобс, в своей книге «Смерть и жизнь больших американских городов» писала о том, что город должен быть нацелен на социальное взаимодействие. Джейн Джекобс выступала против градостроительства, которое во имя крупных проектов развития и обновления городов, разрушает старые общины. При этом она была сторонницей зданий смешанного использования как способа увеличить социальное взаимодействие. В таких зданиях магазины и офисы располагаются на первом этаже, а люди живут на верхних этажах [7].

Кевин Линч американский специалист по теории градостроительства и психологии восприятия архитектуры и социолог Ричард Сеннетт исследовали тему городского планирования с точки зрения социальной справедливости и взаимодействия культурных групп [8, 9].

Современная архитектура испытывает влияние социальной эволюции — процесса изменения социальных отношений, обычаев, ценностей и институтов в обществе со временем, на планировочные решения жилища. Социальная эволюция происходит под воздействием различных факторов, таких как технологические, политические, экономические изменения, а также изменений в культуре и образе жизни. Через социальную эволюцию общество продвигается вперед, изменяясь и адаптируясь к меняющимся условиям и вызовам.

Архитектура жилища на разных этапах жизненного цикла человека

Жизненный цикл человека начинается с рождения и охватывает периоды детства, подросткового возраста, зрелости и старости. Каждый из этих периодов связан с определенными физическими,

психологическими и социальными изменениями и вызовами, которые человек должен преодолеть для того, чтобы стать зрелым и подготовленным к старости. В течение жизненного цикла человека происходят различные события и переживания, такие как получение образования, заключение брака, рождение детей, карьерный рост, уход за стареющими родственниками, изменение здоровья и т.д. Жизненный цикл человека является важным понятием не только для таких областей науки, как медицина, психология, социология и геронтология, но и для архитектуры

Идею изменчивости мест проживания в процессе жизни выдвигал швейцарский архитектор и городской планировщик Ле Корбюзье. В своей работе «Пять точек новой архитектуры» (1927 г.), он выступал за создание архитектуры, которая должна изменяться в зависимости от потребностей людей в разных фазах их жизни. Он не определял точного числа мест жительства, которые нужно сменить для комфортной жизни, но считал, что людям нужно находиться в гармонии с окружающей средой и социально-экономической реальностью своего времени. В частности, он предлагал создавать многоквартирные дома с общими пространствами и современными технологиями, которые могут удовлетворить различные потребности и сделать жизнь более удобной и эффективной.

Каждый период жизни человека связан с определенными потребностями и требованиями к жилищу, которые могут варьироваться в зависимости от возраста, физического состояния и социального статуса [10].

Молодые люди и супружеские пары, которые только начинают свою жизнь вместе, могут выбирать просторные комнаты и открытую планировку, чтобы удобно проводить время вместе и иметь возможность готовить и развлекаться в одной общей зоне.

В детстве здоровый ребенок должен активно развиваться, поэтому для него важны наличие свободного пространства для игры и обучения. В это время архитектура жилища должна предусматривать безопасность, доступность и удобство для детей, включая грамотное использование цвета, текстур, материалов и форм, и при этом обеспечивать безопасность и контроль для родителей.

В подростковом возрасте обычно происходят серьезные изменения как внешней, так и внутренней жизни. Подростки стремятся к самостоятельности и независимости, поэтому им необходимо больше приватных зон внутри жилища. Также важно учитывать их стиль и интересы, чтобы создать комфортное для них пространство.

В зрелом возрасте люди начинают стремиться к более стабильной и комфортной жизни. Жилье

должно соответствовать их социальному статусу и предоставлять все удобства для комфортной жизни. Например, кухня должна быть оборудована всем необходимым для уединенного приготовления пищи, а спальня должна быть тихой и уютной с мягкой мебелью. Важно также учитывать личные потребности каждого члена семьи: хобби, интересы, привычки.

В старости люди часто нуждаются в доступности и легкости перемещения по жилью, поэтому важно установление поручней, лестниц и других приспособлений для обеспечения безопасности. Кроме того, жилье может быть спроектировано с учетом возможных ограничений в передвижении, включая размещение комнат на одном уровне, использование широких проходов и устройств для движения.

Место коливинга в жизненном цикле человека

Коливинг — новый тренд в жилье, который представляет собой концепцию общего проживания людей в одном доме или квартире. Этот формат жилья может быть привлекательным для людей на разных этапах жизненного цикла. Молодые люди, начинающие свою карьеру, могут выбрать коливинг, чтобы снизить расходы на аренду и жить в центре города, где находятся многие рабочие места и развлечения [11, 12].

Молодые семьи могут также использовать коливинг в качестве более доступного варианта жилья с возможностью делить общие пространства, такие как кухня и гостиная, с другими родителями и детьми.

Старшие люди могут также предпочитать коливинг, чтобы жить в более компактных, но удобных для проживания квартирах с лучшей инфраструктурой, которая обеспечивает безопасность и комфорт. Они также могут использовать коливинг, чтобы иметь больше возможностей для социального взаимодействия и общения с другими жильцами.

Кроме того, коливинг удобен на переходных этапах жизни, таких как переезд в новый район или город. Коливинг может обеспечить уютное и безопасное проживание с возможностью новых знакомств и социализации.

Еще одна особенность коливинга — возможность совместной работы и совместных проектов. По отзывам жителей коливингов, им удавалось решить задачи, в других условиях вызывающих значительные затруднения.

Коливинг также эффективен на переходных этапах жизни, таких как переезд в новый район или город, поскольку он может обеспечить уютное и без-

опасное проживание с возможностью новых знакомств и социализации.

Таким образом, коliving может быть привлекательным вариантом для людей на разных этапах жизненного цикла, предлагая альтернативу традиционным формам жилья и удовлетворяя различные потребности. Это связано с тем, что жилье в коlivingе может быть более доступным, чем аренда отдельной квартиры или дома, что позволяет сэкономить деньги на жилье и расходы на коммунальные услуги. Кроме того, он дает возможность жить в обществе с другими людьми. Жилцы коlivingа могут находить новых друзей и иметь больше возможностей для социального взаимодействия. Планировочные решения коlivingа могут быть гибкими и адаптивными, что позволяет арендаторам менять свое жилье, если их потребности изменятся.

Среди архитекторов, работавших над проектами коlivingа, можно выделить: Олафура Элиассона (Olafur Eliasson) — датского художника и архитектора, известного своими инновационными конструкциями, включая проект коlivingа выздоровления в Копенгагене. Нормана Фостера (Norman Foster) — британско-

го архитектора, чье бюро спроектировало проекты коlivingа в Париже и Лондоне. Жаннетт Мардини (Jeanette Mardinian) — ливанского архитектора и основательницу компании TeN Design Studio, которая специализируется на дизайне и разработке проектов коlivingов в Бейруте и других городах по всему миру. Дэвида Чипперфилда (David Chipperfield) - британского архитектора, бюро которого работает над различными проектами в том числе и коliving-пространствами.

Планировочные решения коlivingов

Ярким примером применения компоновки в едином коlivingе нескольких типов ячеек-квартир для различных типов пользователей является коliving в Сеуле с Южной Корее «Treehouse» [13]. Он представляет собой 6 жилых этажей, в которых расположены 72 квартиры. При этом выделено 5 видов ячеек, различные по габаритам и внутреннему наполнению — от 21 до 35 м².

В таблице 1 представлен перечень всех помещений, входящих в личную зону и площади для каждого типа ячеек. При этом наполнение и размер ячеек

Таблица 1

Типология жилых ячеек и площади личных помещений. Коliving «Treehouse». Сеул, Южная Корея

Личные помещения	Тип жилой ячейки, площадь помещения (м ²)				
	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4	Тип 5
Зона в ячейке	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4	Тип 5
Жилая комната	14,9	5,83	8,06	9,17	14,31
Гостиная	—	9,28	10,21	9,17	12,45
Рабочее место	стол	стол	стол	стол	стол
Сан. узел	3,68	3,68	3,68	3,68	2,75
Душ/ванна	душ	душ	ванна	ванна	ванна
Кухня	ниша (1,3 м)	ниша (1,5 м)	ниша (2 м)	ниша (2,4 м)	ниша (2,5 м)
Прихожая	3,1	2,06	2,27	2,65	5,16
Общая площадь личных помещений	21,65	20,85	24,22	24,67	34,67
Количество личных помещений в здании	16	16	16	18	6

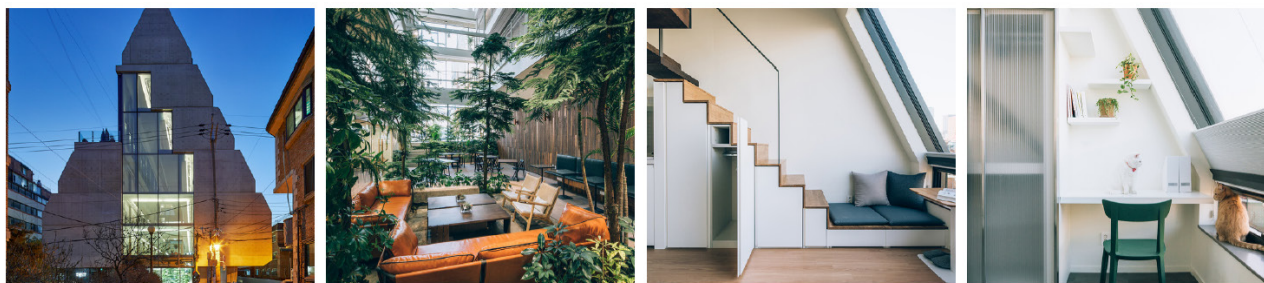


Рис. 1. Внешний облик и интерьеры коlivingа «Treehouse». Сеул, Южная Корея

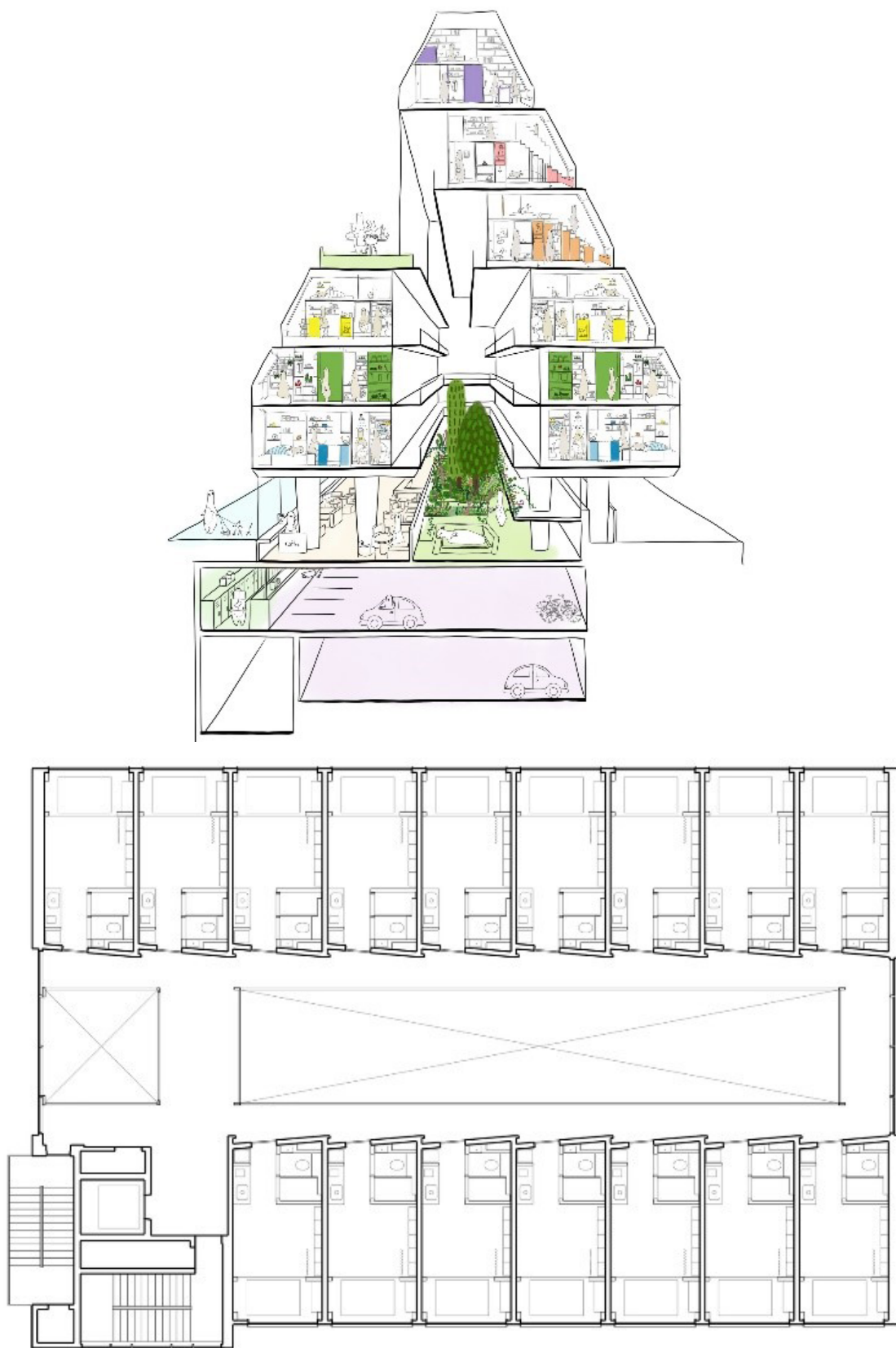


Рис. 2. Разрез, компоновка блоков и планировочное решение координата «Treehouse». Сеул, Южная Корея

Таблица 2

Типология жилых ячеек и площади личных помещений. Колинвинг «Tetuan Coliving». Мадрид, Испания

Личные помещения	Тип жилой ячейки, площадь помещения (м ²)			
	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4
Зона в ячейке	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4
Жилая комната	11,64	11,08	19,65	14,4
Гостиная	—	—	—	31,79
Рабочее место	стол	стол	стол	—
Сан. узел	1,71	1,89	2,9	2,63
Душ/ванна	душ	душ	ванна	душ
Кухня	—	—	ниша (1,2 м)	7,05
Общая площадь личных помещений	13,35	12,97	22,55	55,87
Количество личных помещений в здании	8	8	4	4



Рис. 3. Внешний облик и интерьеры колинвинга «Tetuan Coliving». Мадрид, Испания

разнится, предоставляя пользователям выбор в зависимости от потребностей и финансовых возможностей человека. На рисунке 1 представлен внешний вид и интерьеры колинвинга, а на рисунке 2 — Разрез, компоновка блоков и планировочное решение.

Еще один значимый пример колинвинга, представляющего разнообразный выбор ячеек для пользователей является «Tetuan Coliving», расположенный в Мадриде (Испания) [14]. Проект является реконструкцией существующего здания, он был реализован в 2019 году.

В этом случае применяется 4 типа ячеек для проживания, начиная от скромной комнаты, площадью 12 м² с личным сан узлом и заканчивая квартирой площадью 56 м², которая включает в себя гостиную и кухню. На рисунке 3 представлен внешний вид и интерьеры колинвинга, а на рисунке 4 — разрез и планировочное решение.

При рассмотрении влияния социально-культурного контекста среды на проживание профессорско-преподавательского состава и аспирантов в колинвингах, для наиболее обширного охвата различных возрастных категорий и вариаций состава семей, выделим 5 видов пользователей, соответствующих определен-

ному этапу жизненного сценария: аспирант, одиночка в расцвете жизненных сил, семейная пара, семья с ребенком и пожилой человек. Для каждого вида рассмотрим планировочные решения, отвечающие запросам соответствующего жизненного этапа.

В результате предлагается 5 типов решений квартир. Модульность системы позволяет компоновать ячейки в любом порядке и применять Первый тип представляет собой небольшую квартиру-студию для аспиранта, площадью 15 м². В ней находится все самое необходимое для жизни молодого активного индивида — спальное место, рабочий стол и личный сан. узел с душевой кабиной.

Второй тип предполагает проживание для взрослого состоявшегося человека, сотрудника вуза, приехавшего в командировку. Площадь студии — 24 м². В этом случае, помимо базового набора функций, предусмотрена двухспальная кровать и кухня-ниша.

В третьем случае рассматривается более долгосрочный вариант проживания, где сроки поездки предполагают размещение не только непосредственно специалиста, но и его супруга или супруги. Для пары предусмотрена квартира площадью 48 м². Она выполнена в формате открытой студии, зонирование

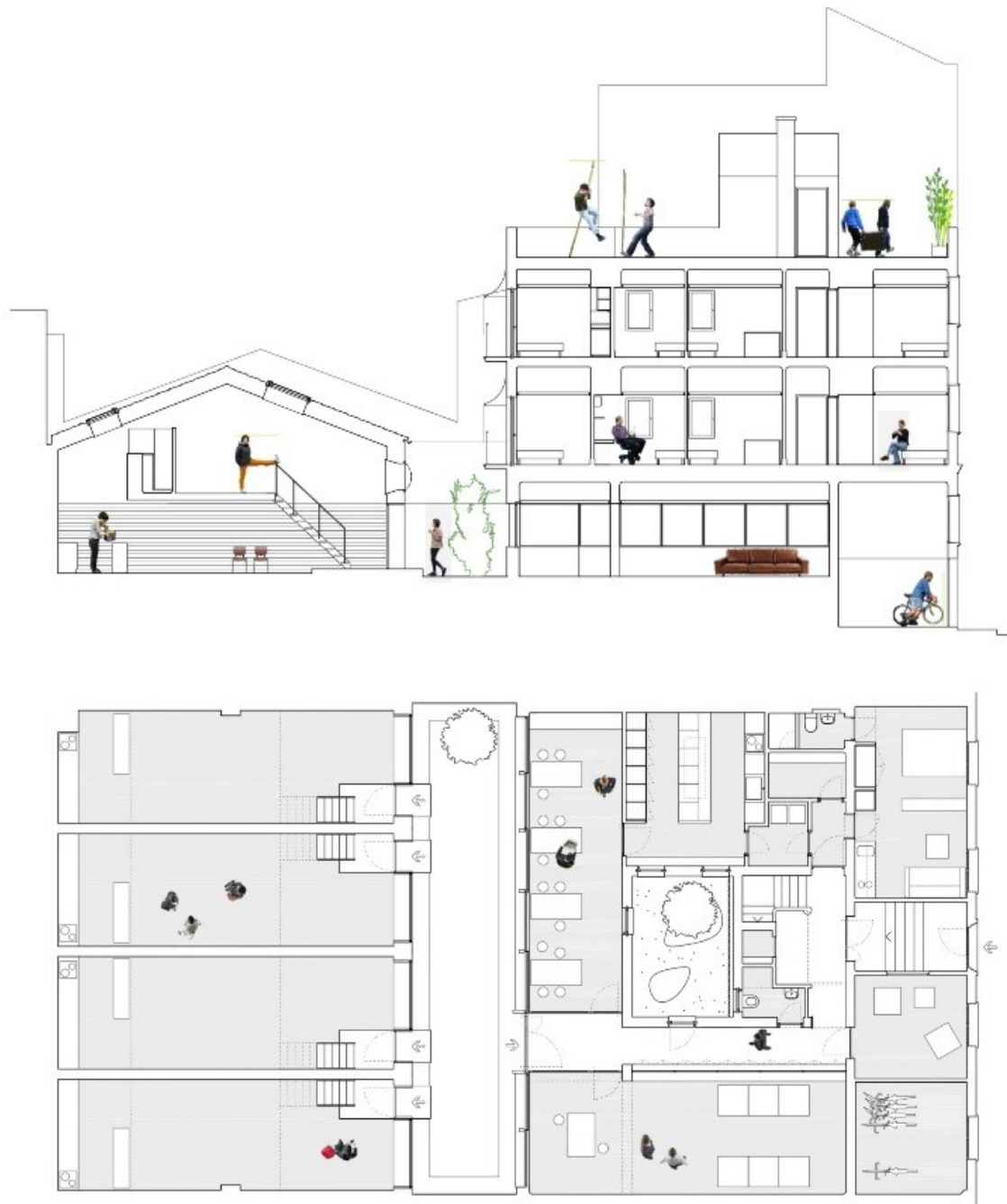


Рис. 4. Разрез и планировочное решение коливинга «Tetuan Coliving». Мадрид, Испания

осуществляется при помощи мебелировки. Пространство разделяется на зону кухни и места приема пищи, гостиную и спальную зону. Так же предусмотрено рабочее место, а кухонная поверхность предусматривает обширную зону для приготовления пищи.

Четвертый вариант так же рассматривает проживание семейного сотрудника, в этом случае в семье присутствует ребенок. Площадь квартиры — 73 м²,

в ней расположена отдельная детская комната, два сан. узла, обширная зона гостиной, совмещенной с кухней, изолированный кабинет и спальня родителей. В спальне предусмотрен гардероб-встроенный шкаф.

Пятый тип предназначен для размещения пожилого сотрудника. Площадь данной квартиры — 30 м², где все предусмотрено для комфортного передвижения и спокойного времяпрепровождения.

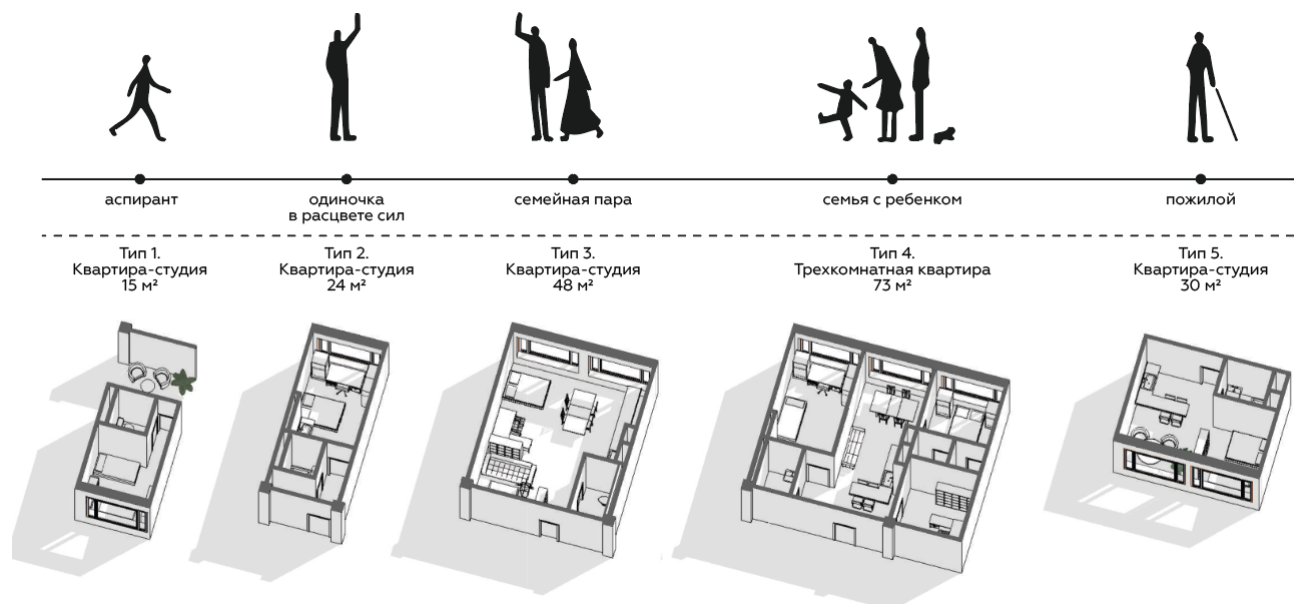


Рис. 5. Типология пользователей и планировочных решений

Выводы

В статье рассмотрен ряд исследований, посвященных влиянию социальных и культурных факторов на архитектуру и градостроительную политику. Одним из факторов является этап жизни человека. В зависимости от фазы жизни изменяются и потребности человека, что должно быть отражено в архитектурных и планировочных решениях его жилища. Одним из способов реализации этого является колинг — форма совместного проживания на основе аренды.

Коллинг может быть привлекательным для людей с разными потребностями и в разных фазах жизни. Одна из особенностей коллинга — сочетание в себе ячеек-квартир с различными планировками. В статье рассмотрены планировочные решения коллингов «Treehouse» в Сеуле и «Tetuan Coliving» в Мадриде.

Для проживания аспирантов и сотрудников университетов на различных этапах жизни в статье предложена типология модульной системы коллинга с ячейками-квартирами различного назначения.

Список литературы

1. Ле Корбюзье. Новый дух в архитектуре / Ле Корбюзье; пер. с фр. — М.: Стрелка, 2017. — 113 с.
2. Ле Корбюзье. Архитектура XX века / Ле Корбюзье; пер. с фр. — 2-е изд. — М.: Прогресс, 1977. — 303 с.
3. Синявина Н.В. Динамика пространственных представлений в архитектуре в первой половине XX в. (В. Гропиус и Ле Корбюзье) // Человек: Образ и сущность. Гуманитарные аспекты. 2023. №1 (53) — С.129-138. DOI 10.31249/chel/2023.01.07
4. Кипина Ж. Оскар Нимейер — мастер железобетонных кривых. // Losko — некоммуерческий онлайн-журнал с фокусом на современный дизайн, архитектуру и художественное фото. — 2018. — 4 июня [Электронный ресурс]. URL: <https://losko.ru/oscar-niemeyer-biography/> (дата обращения: 04.06.2023).
5. Сидорова Е.И., Данилова Э.В. Типология жилища на современном этапе на основе зарубежного опыта. Типы коммуникаций и зон доступа в жилых зданиях // Жилищное строительство. 2012. №10 — С.26-31
6. Татевосян А.Г. История развития архитектуры Арктики // Экономика строительства. — 2023. — № 1. — С.123-132
7. Джекобс Дж. Смерть и жизнь больших американских городов / пер. с англ. — М.: Новое изд-во, 2011. — 457 с.
8. Линч К. Совершенная форма в градостроительстве / пер. с англ. — М.: Стройиздат, 1986. — 264 с.
9. Вершинина И.А. Социология города Ричарда Сеннета: трансформация публичной сферы // Вестник Московского университета. Серия 18. Социология и политология. 2012. — №4. — С. 154-161
10. Маккарти Дж. Риббенс. Исследования семьи: основные понятия / Джейн Риббенс Маккарти, Розалинд Эдвардс / пер. с англ. / под научной ред. Е. Ю. Рождественской. — М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2018. — 342 с.
11. Широкова О.Л., Павлюк А.С. Планировочные решения помещений для удаленной работы // Строительство и архитектура. — 2021. — №. 4. — С. 86-90. DOI: 10.29039/2308-0191-2021-9-4-86-90

12. Балакина А.Е., Павлюк А.С. Коливинг — инфраструктуры // Проект Байкал. — 2021. — Том 18. — № 70. — С. 156-161. DOI: 10.51461/projectbaikal.70.1907
13. Абдель Х. Апартаменты Трихаус Коливинг. // Арх-дейли. — 2020. — 29 января [Электронный ресурс]. URL: https://www.archdaily.com/932735/treehouse-apartment-building-bodaad?ad_source=search&ad_medium=projects_tab / (дата обращения: 04.06.2023)
14. Отт К. Тетуан Коливинг. // Арх-дейли. — 2020. — 29 января [Электронный ресурс]. URL: https://www.archdaily.com/930394/tetuan-coliving-ch-plus-qs-arquitectos?ad_source=search&ad_medium=projects_tab / (дата обращения: 04.06.2023)

References

1. Le Corbusier, Charles Edouard. *New spirit in architecture* / Le Corbusier; per. from fr. — М.: Strelka, 2017. — 113 p.
2. Le Corbusier, Charles Edouard. *Architecture of the 20th century* / Le Corbusier; per. from fr. — 2nd ed. — М.: Progress, 1977. — 303 p.
3. Sinyavina N.V. Dynamics of spatial representations in architecture in the first half of the 20th century. (V. Gropius and Le Corbusier) // *Man: Image and Essence. Humanitarian aspects*. 2023. No. 1 (53) — P. 129-138. DOI 10.31249/chel/2023.01.07
4. Kipina J. Oscar Niemeyer — master of reinforced concrete curves. // *Losko is a non-commercial online magazine with a focus on contemporary design, architecture and art photography*. — 2018. — June 4 [Electronic resource]. URL: <https://losko.ru/oscar-niemeyer-biography/> (date of access: 06/04/2023).
5. Sidorova E.I., Danilova E.V. Typology of the dwelling at the present stage on the basis of foreign experience. Types of communications and access zones in residential buildings // *Housing construction*. 2012. No. 10 — P.26-31
6. Tatevosyan A.G. Features of the architecture of the arctic // *Economics of construction*. — 2023. — No. 1. — P.123-132
7. Jacobs J. *Death and life of large American cities* / per. from English. — М.: New publishing house, 2011. — 457 p.
8. Lynch K. *Perfect form in urban planning* / per. from English. — М.: Stroyizdat, 1986. — 264 p.
9. Vershinina I.A. *Sociology of the City by Richard Sennett: Transformation of the Public Sphere* // *Bulletin of Moscow University. Series 18. Sociology and political science*. 2012. — No. 4. — pp. 154-161
10. McCarthy J. Ribbens. *Key concepts in family studies* / Jane Ribbens McCarthy, Rosalind Edwards / transl. from English. / under the scientific editorship. E. Yu. Rozhdestvenskaya. — М.: Ed. house of the Higher School of Economics, 2018. — 342 p.
11. Shirokova O.L., Pavlyuk A.S. Planning solutions for spaces for remote operation // *Construction and architecture*. — 2021. — no. 4. — S. 86-90. DOI: 10.29039/2308-0191-2021-9-4-86-90
12. Balakina A.E., Pavlyuk A.S. *Coliving: infrastructure transformations*// Project Baikal. — 2021. — Volume 18. — No. 70. — P. 156-161. DOI: 10.51461/projectbaikal.70.1907.
13. Abdel H. *Treehouse Coliving Apartments*. // Archdaily. — 2020. — January 29 [Electronic resource]. URL: https://www.archdaily.com/932735/treehouse-apartment-building-bodaad?ad_source=search&ad_medium=projects_tab / (Accessed: 06/04/2023)
14. Ott K. *Tetuan Coliving*. // Archdaily. — 2020. — January 29 [Electronic resource]. URL: https://www.archdaily.com/930394/tetuan-coliving-ch-plus-qs-arquitectos?ad_source=search&ad_medium=projects_tab / (Accessed: 06/04/2023)

УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ КОМПЛЕКСНОЙ ЗАСТРОЙКИ ТЕРРИТОРИЙ С ПОЗИЦИИ НИЗКОУГЛЕРОДНОГО РАЗВИТИЯ

УДК 69.036, 728.1

Суворова Мария Олеговна

старший преподаватель, Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова (кафедра экспертизы и управления недвижимостью), Белгород, Белгородская область, Россия; marykrutilova@gmail.com

Наумов Андрей Евгеньевич

канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (кафедра экспертизы и управления недвижимостью), г. Белгород, Белгородская область, Россия; andrena@mail.ru

Строкова Валерия Валерьевна

д-р техн. наук, профессор, советник РААСН, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, заведующий кафедрой, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (кафедра материаловедения и технология материалов), Белгород, Белгородская область, Россия; vstrokova@gmail.com

Статья получена: 08.04.2023. Одобрена: 07.05.2023. Опубликована онлайн: 27.06.2023 © РИОР

Аннотация. Устойчивое развитие строительной отрасли страны в условиях ограничения доступности ресурсов предполагает внедрение в практику управления жизненным циклом объектов капитального строительства экоориентированных принципов

оценки жизненного цикла на всех этапах, поиск новых организационно-технологических решений в строительстве, что в свою очередь подразумевает переход к «зеленому» низкоуглеродному строительству, а также совершенствованию инструментов ко-

LIFE CYCLE LOW-CARBON MANAGEMENT SYSTEM IMPROVEMENT OF THE INTEGRATED DEVELOPMENT OF BUILDINGS

Krutilova Maria

Graduate school, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Department of Construction Management and Real Estate), Belgorod, Belgorod, Russian Federation; marykrutilova@gmail.com

Naumov Andrej

PhD in Engineering, Associate Professor, Chief of Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Department of Construction Management and Real Estate), Belgorod, Belgorod, Russian Federation; andrena@mail.ru

Strokova Valeria

D. Sc. in Engineering, Prof., Chief of Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Department of Materials Science and Materials Technology), Belgorod, Belgorod, Russian Federation; vstrokova@gmail.com

Abstract: The sustainable development of the country's construction industry in the context of limited availability of resources involves the implementation of eco-oriented principles for assessing all stages of the life cycle into the life cycle management of

construction projects, as well as the search for new organizational and technological solutions in construction. This in turn implies a shift towards green, low-carbon building, as well as improved tools for quantifying, monitoring and managing the carbon footprint of buildings. The intensive growth of complex development and the increased attention to global climate change make the issues of reducing the carbon impact that occurs during construction and pre-construction stages an urgent and promising area of research. In accordance with the Strategy for the Socio-Economic Development of Russia with Low Greenhouse Gas Emissions until 2050, the regulation and reduction of carbon impact and, as a result, the transition to low-carbon construction depends, first of all, on the scientific study of the issue. The authors propose recommendations for improving the tools for assessing the carbon impact of construction projects at the pre-operational stages of their life cycle, which are applicable in the formation of an effective state order for the creation of construction products that meet modern conditions of environmental friendliness and carbon neutrality. This can be effective in creating an institution of extended responsibility for construction participants, including a mechanism for certification of low-carbon building products.

Keywords: building life cycle management, integrated development, zero-carbon building, low-carbon development, pre-operational stages of the life cycle

личественной оценки, мониторинга и управления углеродным воздействием зданий. Интенсивный рост комплексной застройки территорий и возросшее внимание к глобальным изменениям климата делают вопросы сокращения углеродного воздействия, возникающего в процессе строительства и предстроительных этапах, актуальным и перспективным направлением исследования. В соответствии со Стратегией социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года, нормирование и снижение уровня углеродного воздействия и, как следствие, переход к низкоуглеродному строительству зависит, прежде всего, от научной проработки вопроса. Для решения проблемы авторами предложены рекомендации по совершенствованию инструментов оценки углеродного воздействия объектов капитального строительства на предэксплуатационных этапах их жизненного цикла, которые применимы при формировании эффективного государственного заказа на создание строительной продукции, отвечающей современным условиям экологичности и углеродной нейтральности, а также могут быть эффективны при создании института расширенной ответственности участников строительства, включая механизм сертификации низкоуглеродной строительной продукции.

Ключевые слова: управление жизненным циклом зданий, комплексная жилая застройка, углеродная нейтральность зданий, низкоуглеродное развитие, предэксплуатационные этапы жизненного цикла

Введение

В условиях градостроительной застройки жизненный цикл зданий рассматривается как интегрированная система, состав элементов которой должен

обеспечить все сферы жизнедеятельности населения, в том числе экологическую устойчивость, связанную негативным воздействием на окружающую среду (ОС). В течение жизненного цикла (ЖЦ) объекта капитального строительства производится более 40% мирового потребления энергии, что в пересчете на углеродные единицы составляет до 33% глобальных выбросов парниковых газов [1]. Актуальными мировыми трендами минимизации негативного воздействия на ОС с позиции низкоуглеродного развития сегодня являются декарбонизация сектора строительства и жилищно-коммунального хозяйства, создание условий для реализации углероднейтральных инвестиционно-строительных проектов, а также оценка углеродного воздействия (УВ) реализуемых проектов [2-4].

Негативное воздействие на ОС компенсируется диссипативными способностями среды нейтрализуемого углеродного следа, выраженного в выбросах парниковых газов и приведенного к CO_2 -эквиваленту, на всех этапах ЖЦ объекта капитального строительства [5]. Диссипативные способности ограничены сложившейся в экосистеме интенсивностью нейтрализации, измеряемой коэффициентом на линии углеродного следа (рисунок 1).

Любой технологический процесс привносит определённый объем углеродного следа, выражаемый коэффициентом, скорость которого зависит от используемых строительных ресурсов и технологий, сводящийся к энергопотреблению. В этой связи можно выразить условие углеродной нейтральности ОС реализации технологического процесса:

$$\alpha = \beta, \quad (1)$$

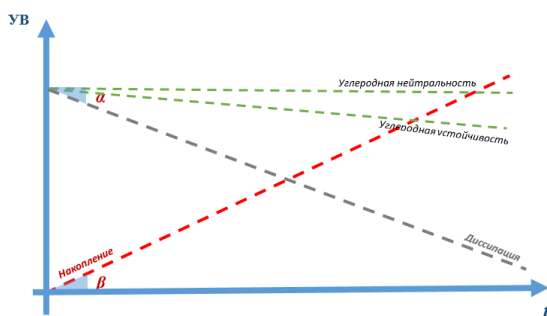


Рис. 1. Условие углеродной нейтральности

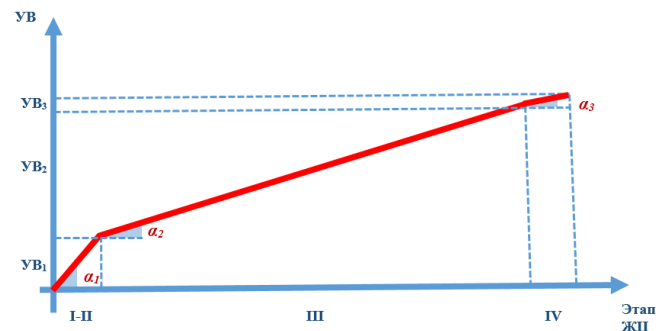


Рис. 2. Интенсивность углеродного воздействия по этапам жизненного цикла ОКС:
I-II — Предстроительные этапы, этап строительства;
III — Этап эксплуатации;
IV — Этапы после окончания эксплуатации

Применительно к объектам капитального строительства, совокупное углеродное воздействие должно быть постоянным при углеродной нейтральности или убывающим при углеродной устойчивости (рисунок 2). В этой связи можно сформулировать основной принцип управления жизненным циклом комплексной застройки территории с позиции низкоуглеродного развития [6]: построение системы жизненного цикла объектов капитального строительства с позиции низкоуглеродного развития следует осуществлять, устремляя его, как минимум, к углеродной нейтральности, с перспективой перехода на углеродную устойчивость.

Методы

Оценка жизненного цикла (Life cycle assessment — LCA) является общепризнанной методологией, применяемой для оценки зданий и сооружений с целью перехода к концепции «зеленого строительства» с применением устойчивый экоориентированных технологий и методов строительства. Оценка жизненного цикла объекта капитального строительства (ОЖЦ ОКС) представляет комплексный подход к оценке всех этапов ЖЦ в целях минимизации уровня потребления энергетических и материальных строительных ресурсов. В рамках подхода ОЖЦ исследователи [7-11] выделяют различные сценарии для минимизации энергопотребления и повышения ресурсоэффективности на всех этапах ЖЦ ОКС, что в итоге позволит снизить негативное воздействие строительного комплекса на ОС. Метод ОЖЦ является действенным инструментом снижения УВ на начальных этапах ЖЦ ОКС: технико-экономическом обосновании инвестиций, архитектурно-строительном и организационно-технологическом проектировании (предстроительные этапы), процесс строительства. Оценка углеродного воздействия на предэксплуатационных этапах позволяет рассчитать потенциальные (еще не осуществленные) выбросы парниковых газов, влияющие на состояние ОС [12].

На основе существующих методов ОЖЦ ОКС и в соответствии с существующими исследованиями в работе представлена система управления жизненным циклом комплексом застройки территории с позиции низкоуглеродного развития на предэксплуатационных этапах жизненного цикла объектов гражданского строительства.

1. Определение натуральной ресурсоемкости по показателям объемно-планировочного решения здания.

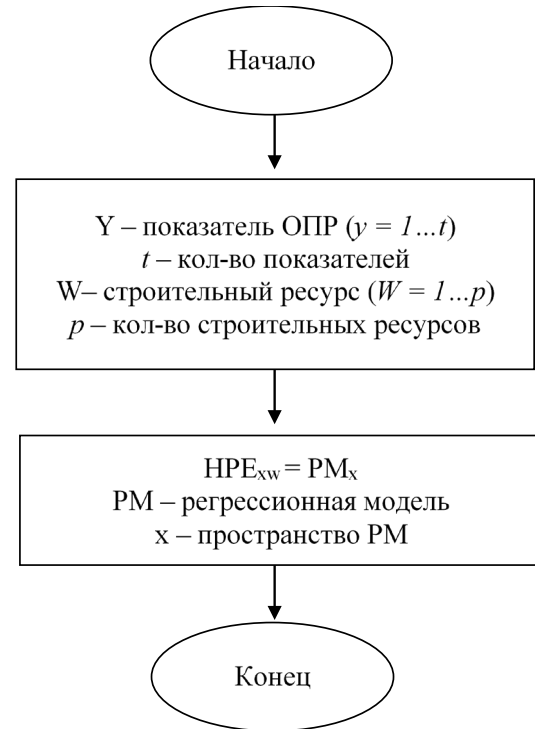


Рис. 3. Определение натуральной ресурсоемкости по показателям объемно-планировочного решения здания (A1)

Авторами предложено систематизировать показатели объемно-планировочных решений строительных проектов (ОПР) и с их помощью выявлять регрессионные зависимости натуральной ресурсоемкости (НРЕ) строительных ресурсов и проектных решений объектов гражданского строительства. Корреляционно-регрессионный анализ натуральной ресурсоемкости ключевых строительных ресурсов и объемно-планировочных решений, применяемых в современном гражданском строительстве, позволяет осуществлять экспресс-диагностику ресурсоемкости и сравнительный анализ низкоуглеродности потенциальных инженерных (объемно-планировочных и организационно-технологических) решений [13], альтернативных для исследуемого объекта капитального строительства (рисунок 3).

2. Экспресс-диагностика ресурсоемкости и сравнительный анализ проектных решений объектов гражданского строительства на этапе обоснования инвестиций.

Для количественной оценки углеродного воздействия объектов гражданского строительства, анализа и систематизации различных факторов, определяющих негативное воздействие, авторами было предложено многослойное факторное пространство (ФП) учитываемых показателей (строительных ресурсов)

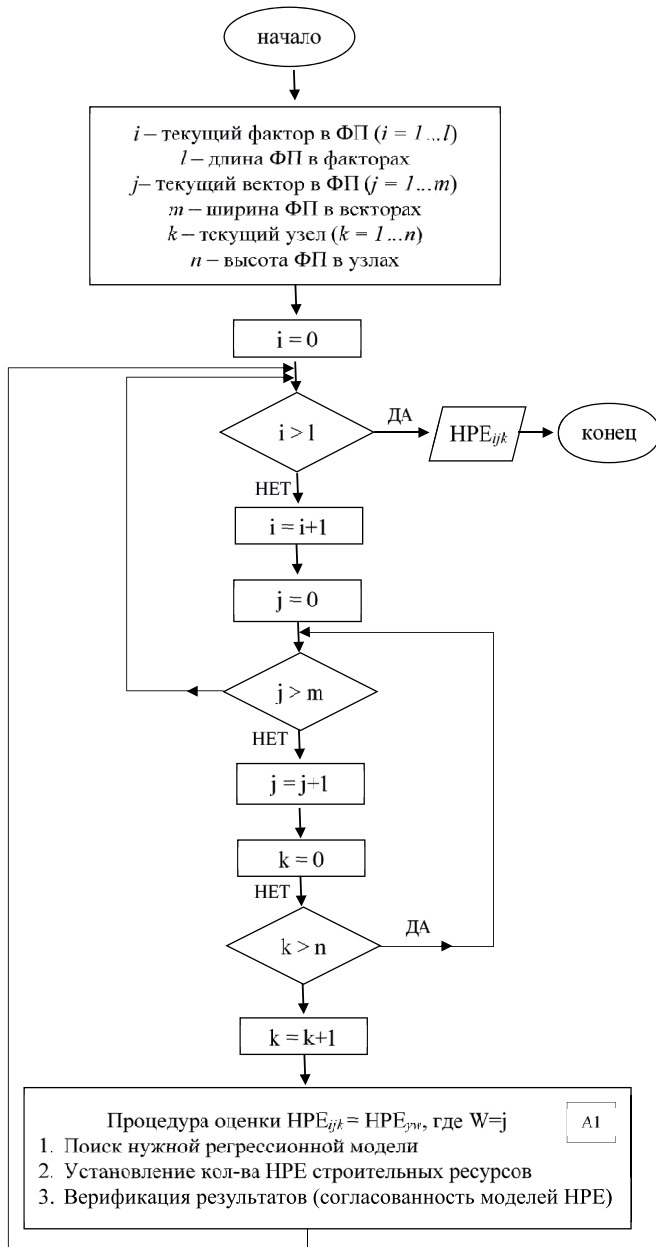


Рис. 4. Экспресс-диагностика ресурсоемкости на этапе обоснования инвестиций (A2)

углеродного воздействия [14]. На верхнем слое факторное пространство объединено в облака, группирующие показатели углеродного воздействия по их назначению и происхождению выбросов ПГ. Авторами предложено выделить l i -ых факторов ($i = 1 \dots l$). Факторы F_{ijk} , формируемые на центральном базовом слое из групп источников углеродного воздействия здания, состоят из j -факторных векторов, определяющих пул строительных ресурсов для оценки их углеродного воздействия. Количество анализируемых строительных ресурсов зависит от проектных реше-

ний здания и может включать m j -факторных векторов ($j = 1 \dots m$). Подмножество k -факторных узлов по j -векторам определяет конкретные технологические характеристики производства строительных ресурсов или их транспортировки, получаемые от производителей или поставщиков и может включать n узлов.

Процедура оценки натуральной ресурсоемкости (HPE_{ijk}) включает в себя поиск нужной регрессионной модели (РМ), установление количественного значения ресурсоемкости отдельных показателей и верификацию полученных результатов путем оценки согласованности моделей HPE_{ijk} (рисунок 4).

3. Технология сравнительной оценки углеродного воздействия объекта гражданского строительства.

Выявленное факторное пространство легло в основу многокритериального анализа и оценки углеродного воздействия объектов гражданского строительства. Методологической основой предлагаемой оценки является информационный учет сопряженных со строительным процессом ресурсных компонентов, и строящийся на нем объективный и перепроверяемый механизм количественной оценки степени УВ строительного проекта, используемой в сравнительном анализе проектных вариантов (рисунок 5) [15].

Авторами предлагается проводить сравнительный анализ альтернативных проектных решений реализации объекта (v – текущий проект, z – число сравниваемых проектов) заданных потребительских характеристик и функционального назначения. На основании разработанных корреляционных оценок приведенных к выбросам ПГ (рис. 4, рис. 5), производимых техническими и технологическими источниками энергии на этапе строительства, включающими приведенные сведения об энергоёмкости производства единичных объемов строительных ресурсов, предлагается к использованию в аналитической практике калькулятор, осуществляющий общую оценку углеродного воздействия, на основании представленных в альтернативных проектных решениях сведений о материалах и технологиях [16].

4. Организационно-экономическая оценка углеродного воздействия объектов гражданского строительства на предэксплуатационных этапах жизненного цикла.

Первичная сравнительная оценка себестоимости строительства здания (ССР) на этапе технико-экономического обоснования инвестиций определяется стандартными методами строительного ценообразования на основании информационно смоделирован-

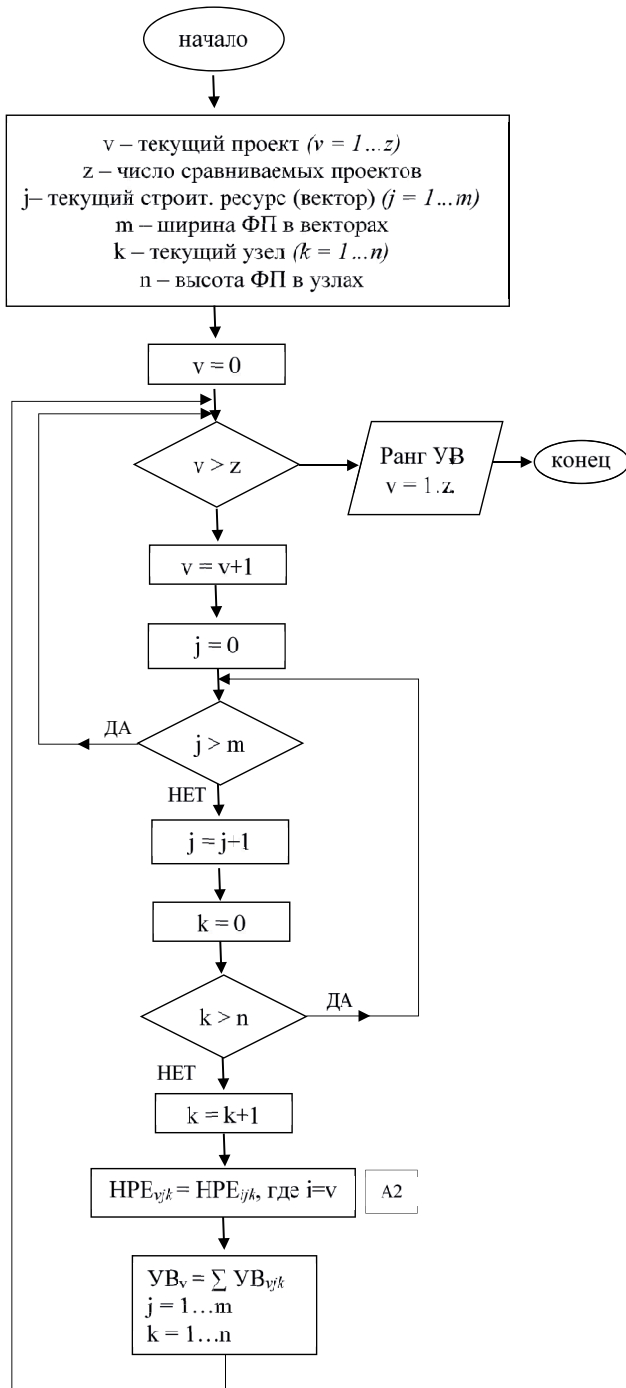


Рис. 5. Технология оценки углеродного воздействия объекта гражданского строительства (А3)

ных объемов работ (V_R) и данных НРЕ, гармонизированной с классификатором строительных ресурсов в составе Федеральной государственной информационной системы ценообразования в строительстве (ФГИС ЦС) [17]. Для формирования системы оценивания УВ разноресурсных альтернативных вариантов проектных и инженерных решений авторами

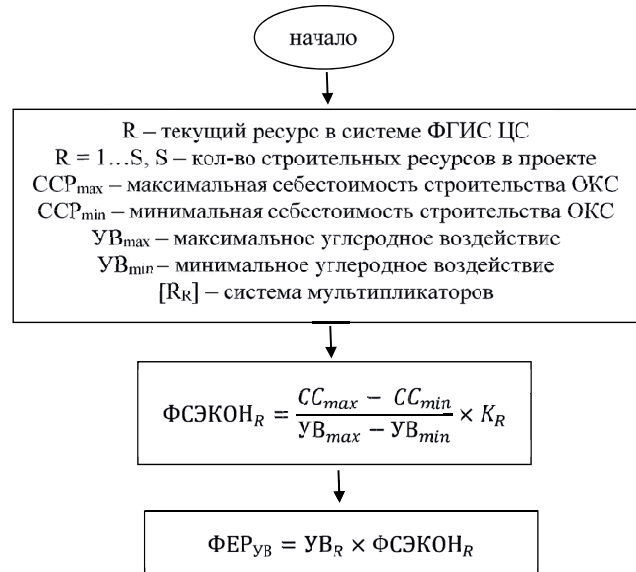


Рис. 6. Организационно-экономическая оценка углеродного воздействия ОКС (А4)

предлагается использовать инструмент условного экологического налогообложения (ЭКОН), который возможно интегрировать в систему ФГИС ЦС путем добавления показателя (ФСЭКОН) для строительных ресурсов-представителей R (рисунок 6).

Структура сметной стоимости строительства объекта, входящего в комплексную застройку территории, с учетом его потенциального углеродного воздействия на ОС определяется по формуле:

$$\sum (ФЕР_{УВ_R} V_R + НР + СП) И_{тек.цен} = СС_{стр}, \quad (2)$$

где $ФЕР_{УВ_R}$ – единичная расценка с учетом показателя ФСЭКОН;
 V_R – объем работы (НРЕ ресурса-представителя);
 НР – накладные расходы;
 СП – сметная прибыль;
 $И_{тек.цен}$ – индекс изменения сметной стоимости и приведения к текущему кварталу текущего года.

5. Рекомендации по проектированию и управлению жизненным циклом объектов гражданского строительства, входящих в комплекс застройки территории, с позиции низкоуглеродного развития.

Заинтересованные стороны, участники строительных процессов, могут принимать альтернативные проектные решения для более устойчивой экологически безопасной реализации инвестиционно-строительного проектов, используя систему мультипликаторов [18] $[K_R]$, учитывающую временной отрезок реализации проекта, тип ОКС и месторасположение,

в составе комплексной застройки территории (рисунок 7).

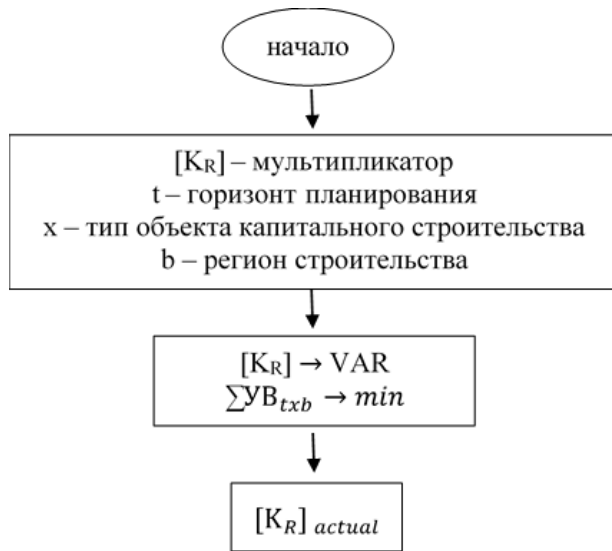


Рис. 7. Рекомендации по проектированию и управлению жизненным циклом объектов гражданского строительства с позиции низкоуглеродного развития (A5)

Результаты

Эскизное проектирование — концептуальная основа выбора объемно-планировочных и конструктивных решений ОКС, определяющая их рациональность и эффективность по различным показателям, складывающимся в дальнейшем в принятие эффективных управленческих решений на всех этапах ЖЦ ОКС, в том числе по критерию углеродного воздействия. Особенно важен выбор таких решений в проектах комплексной городской застройки, определяющий эффективность масштабного, обладающего высокой градостроительной, социальной и экологической значимостью проекта регионального уровня. В этой связи принятие эффективных управленческих решений следует организовать уже на этапах жизнен-

ного цикла, соответствующих максимальной управляемости проекта — этапе технико-экономического обоснования. Рассмотрим применение интегральной методики оценки углеродного воздействия при сравнительном ранжировании проектных альтернатив на этапе технико-экономического обоснования инвестиций при эскизном проектировании комплексной городской застройки одного из территориальных образований Белгородской агломерации на примере жилого комплекса в городе Белгорода «Университет» по ул. Победы, 126 (рисунок 8).

Предпроектная оценка эскизных проектов показала, что расчетная эффективность низкоуглеродных инженерных решений составляет 10,2–24,3%, что демонстрирует участникам строительного рынка гибкий инструмент эколого-экономической мотивации региональных строительных сообществ к внедрению принципов низкоуглеродного строительства в практику.

Выводы

Углеродное воздействие зданий является универсальным индикатором, входящим в число приоритетных показателей при оценке экологической безопасности и устойчивости среды обитания в российской и мировой науке. Несмотря на разработанный и практически используемый аппарат оценки эффективности управлению ЖЦ ОКС, низкоуглеродному развитию строительной отрасли и принятию экологически-ориентированных организационно-управленческих решений в строительстве до сих пор нерешенными и дискуссионными остаются ряд фундаментальных и прикладных вопросов в области количественной оценки и эффективного управления ЖЦ ОКС с позиции минимизации углеродного воздействия. Предложенная в работе интегральная комплексная система управления жизненным циклом комплексной жилой застройки с позиции низкоуглеродного развития позволяет количественно оце-

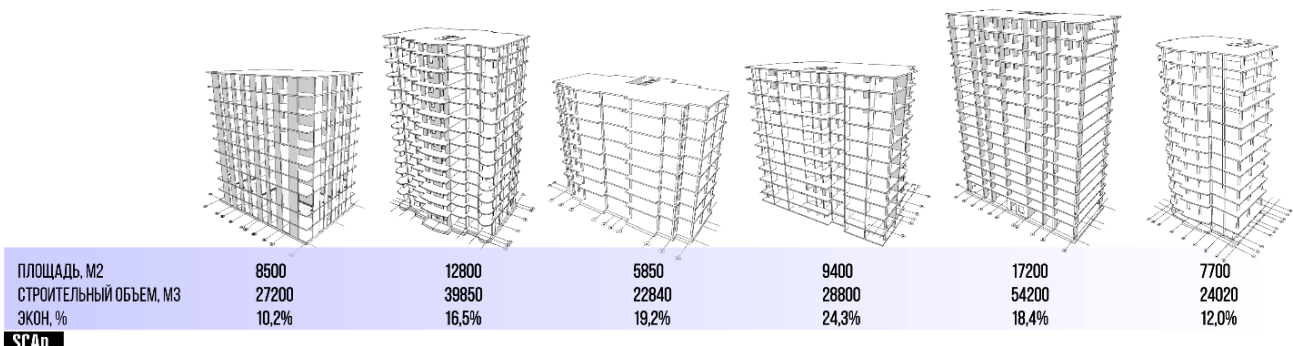


Рис. 8. Применение интегральной методики оценки углеродного воздействия ОКС при сравнительном ранжировании проектных альтернатив

нить ресурсоёмкость, установить углеродное воздействие на предэксплуатационных этапах, выявить и ранжировать наиболее эффективные с позиций углеродного воздействия проектные решения ОКС, используемые в сравнительной оценке эффективности планирования и управления, снижающие углеродное воздействие объектов комплексной застройки до 20% по отношению к традиционным инструментам управления девелоперскими проектами.

Предложенная система становится эффективным подспорьем в совершенствовании институциональных основ углеродоэффективного управления ЖК ОКС. Реализация предложенных положений позво-

ляет достичь расчетной эффективности низкоуглеродных проектных решений в среднем 15-20%, снизить стоимостные затраты на реализацию низкоуглеродного проекта на 10-15%, сформировать гибкий инструмент управленческой мотивации региональных строительных сообществ к внедрению технологий низкоуглеродного строительства в практику, предложить низкоуглеродную сертификацию застройщиков, основанную на стоимостной оценке углеродного воздействия зданий и на повышении тендерной конкурентоспособности участников строительства, использующих низкоуглеродные технологии строительства.

Список литературы

1. Башмаков, И.А. Низкоуглеродная Россия: 2050 год / И. А. Башмаков. — Москва: Авис Оригинал, 2009. — 197 с. — ISBN 978-5-903112-06-7.
2. Basbagill, J., Flager, F., Lepech, M., & Fischer, M. Application of Life-Cycle Assessment to Early Stage Building Design for Reduced Embodied Environmental Impacts // *Building and Environment*. Vol. 60. P. 81-92. 2013. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.11.009
3. H kkinen, T., Kuittinen, M., Ruuska, A., & Jung, N. Reducing embodied carbon during the design process of buildings // *Journal of Building Engineering*. Vol. 4. P. 1–13. 2015. DOI: 10.1016/j.jobe.2015.06.005
4. Norman, Jonathan & Maclean, Heather & Asce, M & Kennedy, Christopher. Comparing High and Low Residential Density: Life-Cycle Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions, *Journal of Urban Planning and Development* 132 (1) (2006): 10–21. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9488(2006)132:1(10)
5. Кокорин, А.О. Глобальный низкоуглеродный тренд развития как движущая сила реализации Парижского соглашения / А. О. Кокорин, В. Ю. Поташников // *Экономическая политика*. — 2018. — Т. 13, № 3. — С. 234-255. — DOI: 10.18288/1994-5124-2018-3-1
6. Авилова, И.П. Инструменты оценки эколого-экономической эффективности проектных решений в жилищно-гражданском строительстве / И. П. Авилова, М. О. Крутилова, В. В. Науменко // *Строительство: наука и образование*. — 2019. — Т. 9, № 4. — С. 1-17. — DOI 10.22227/2305-5502.2019.4.8.
7. Peng, C. Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on Ecotect and building information modeling // *Journal of Cleaner Production*. 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.08.078
8. Adaptation techniques of an urban planning due to climate change / N. Bakaeva, M. Suvorova, R. A. Sheps, A. Kormina // *E3S Web of Conferences*: 24, Moscow, 22–24 апреля 2021 года. Moscow, 2021. P. 05013. DOI: 10.1051/e3sconf/202126305013
9. Шеина, С.Г. Применение технологий зеленого строительства на территории Российской Федерации / С. Г. Шеина, Л. В. Пиря, С. А. Оторьян // *Строительство и архитектура — 2022: материалы международной научно-практической конференции факультета промышленного и гражданского строительства, Ростов-на-Дону, 19–21 апреля 2022 года*. — Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2022. — С. 114-116.
10. Лосев, К.Ю. Создание и внедрение технологии управления жизненным циклом объектов строительства / К.Ю. Лосев // *Промышленное и гражданское строительство*. — 2014. — № 11. — С. 80-83.
11. Кобелева, С.А. Моделирование жилищной сферы, совместимой с биосферой / С. А. Кобелева, Н. В. Бакаева, К. С. Андрейцева // *Жилищное строительство*. — 2014. — № 6. — С. 60.
12. Самосудова, Н. В. Фундаментальные основы проектирования и управления жизненным циклом недвижимости: надежность, эффективность и безопасность / Н. В. Самосудова, Т. В. Варская // *Недвижимость: экономика, управление*. — 2015. — № 2. — С. 71-75.
13. Крутилова, М.О. Направления совершенствования экономических механизмов минимизации выбросов парниковых газов в течение жизненного цикла здания // М.О. Крутилова / *Экономика строительства и природопользования*. — 2018. — № 1(66). — С. 63-71.
14. Жданова И. В., Кузнецова А. А. Особенности проектирования жилых зданий околонулевого энергопотребления // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2023. №. 2. С. 85-93. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-2-85-93
15. Suvorova, M.O. Reducing the carbon footprint of buildings to improve sustainable development mechanisms of the construction complex / M.O. Suvorova, I.P. Avilova // *Real Estate: Economics, Management*. — 2021. — №. 3. — С. 56-60.
16. Горбанева, Е.П. Оптимизация экономических результатов внедрения энергосберегающих мероприятий в течение полного жизненного цикла объекта капитального строительства / Горбанева Е.П., Косовцева И.А., Кстенин Т.В. // *Недвижимость: экономика, управление*. — 4. С. 45–49. 2023. DOI: 10.22337/2073-8412-2022-4-45-49.
17. Шеина, С.Г. Реализация «зелёных» технологий в BIM на примере жилого здания / С.Г. Шеина, К.В. Чубарова, Н.А. Шубина // *Строительство и архитектура — 2021: Материалы Международной научно-практической конференции*, Ростов-на-Дону, 19–23 апреля 2021 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Донской государственный технический университет. — Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2021. — С. 30-31.
18. Бакаева, Н.В. Методические основы эффективного функционирования института низкоуглеродной сертификации застройщиков // Н.В. Бакаева, М.О. Суворова / *Экономика строительства и природопользования*. — 2021. — № 1 (78). — С. 21-27.

References

1. Bashmakov, I.A. Low-carbon Russia: 2050 / I.A. Bashmakov. - Moscow: Avis Original, 2009. — 197 p. — ISBN 978-5-903112-06-7.
2. Basbagill, J., Flager, F., Lepech, M., & Fischer, M. Application of Life-Cycle Assessment to Early Stage Building Design for Reduced Embodied Environmental Impacts // *Building and Environment*. Vol. 60. P. 81-92. 2013. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.11.009
3. Häkkinen, T., Kuittinen, M., Ruuska, A., & Jung, N. Reducing embodied carbon during the design process of buildings // *Journal of Building Engineering*. Vol. 4. P. 1-13. 2015. DOI: 10.1016/j.jobe.2015.06.005
4. Norman, Jonathan & Maclean, Heather & Asce, M & Kennedy, Christopher. Comparing High and Low Residential Density: Life-Cycle Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions, *Journal of Urban Planning and Development* 132 (1) (2006): 10-21. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9488(2006)132:1(10)
5. Kokorin A.O., Potashnikov V.Y. Global low-carbon development trend as a driving force for the implementation of the Paris Agreement / A.O. Kokorin, V.Y. Potashnikov // *Economic Policy*. — 2018. — T. 13, № 3. — P. 234-255. — DOI: 10.18288/1994-5124-2018-3-1
6. Avilova I.P. Tools for assessing the environmental and economic efficiency of design solutions in housing and civil construction / I. P. Avilova, M. O. Krutilova, V. V. Naumenko // *Building: Science and Education*. — 2019. — T. 9, № 4. — P. 1-17. — DOI 10.22227/2305-5502.2019.4.8.
7. Peng, C. Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on Ecotect and building information modeling // *Journal of Cleaner Production*. 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.08.078
8. Adaptation techniques of an urban planning due to climate change / N. Bakaeva, M. Suvorova, R. A. Sheps, A. Kormina // *E3S Web of Conferences*: 24, Moscow, April 22-24, 2021. Moscow, 2021. P. 05013. DOI: 10.1051/e3sconf/202126305013
9. Sheina S.G., Giryva L.V., Otoryan S.A. Application of green building technologies on the territory of Russian Federation / S.G. Sheina, L.G., 2022: materials of international scientific-practical conference of Faculty of Industrial and Civil Engineering, Rostov-on-Don, 19-21 April 2022. — Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2022. — P. 114-116.
10. Losev, K.Y. Creation and implementation of lifecycle management technology of construction objects / K.Y. Losev // *Industrial and Civil Engineering*. — 2014. — № 11. — P. 80-83.
11. Kobeleva S.A. Modeling of the housing sphere compatible with the biosphere / S. A. Kobeleva, N. V. Bakaeva, K. S. Andreytseva // *Housing Construction*. — 2014. — № 6. — P. 60.
12. Samosudova N.V., Varskaya T.V. Fundamental bases of design and management of the life cycle of real estate: reliability, efficiency and safety / N. V. Samosudova, T. V. Varskaya // *Real Estate: Economics, Management*. — 2015. — № 2. — P. 71-75.
13. Krutilova, M.O. Directions for improving economic mechanisms to minimize greenhouse gas emissions during the life cycle of the building / M.O. Krutilova / *Economics of Construction and Environmental Management*. — 2018. — № 1(66). — P. 63-71.
14. Zhdanova I. V., Kuznetsova A. A. Features of the design of residential buildings near-zero energy consumption // *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2023. №. 2. P. 85-93. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-2-85-93
15. Suvorova, M.O. Reducing the carbon footprint of buildings to improve sustainable development mechanisms of the construction complex / M.O. Suvorova, I.P. Avilova // *Real Estate: Economics, Management*. — 2021. — №. 3. — P. 56-60.
16. Gorbaneva E.P., Kosovtseva I.A., & Kstenin T.V. Optimization of economic results of the introduction of energy-saving measures during the full life cycle of capital construction / E.P. Gorbaneva, E.P., Kosovtseva I.A., & Kstenin, T.V. // *Real Estate: Economics, Management*. — 4. P. 45-49. 2023. DOI: 10.22337/2073-8412-2022-4-45-49.
17. Sheina S.G., K.V. Chubarova, N.A. Shubina // *Construction and Architecture* — 2021: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Rostov-on-Don, 19-23 April 2021 / Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Don State Technical University. — Rostov-on-Don: Don State Technical University. 2021. — P. 30-31.
18. Bakaeva N.V. Methodological bases of effective functioning of the institute of low-carbon certification of developers // N.V. Bakaeva, M.O. Suvorova / *Economics of construction and environmental management*. — 2021. — № 1 (78). — P. 21-27.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

УДК 69.003.12:519.868:004.942

Колтун Олег Владимирович

канд. экон. наук, руководитель, АО «ВНИИАЭС» Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций (Департамент экспертизы и оптимизации проектных решений), г. Москва, Россия; ovkoltun@vniiaes.ru

Павлов Александр Сергеевич

д-р техн. наук, профессор, Почетный строитель России, Московский государственный строительный университет (кафедра строительства объектов тепловой и атомной энергетики), г. Москва, Россия; building2020@inbox.ru

Жданова Мария Вячеславовна

аспирант, Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия; mjdanova@briogroup.ru

Статья получена: 06.04.2023. Одобрена: 19.05.2023. Опубликовано онлайн: 27.06.2023 © РИОР

Аннотация. Цифровое моделирование все активнее внедряется в проектирование, управление, научно-исследовательские работы. С помощью цифровой модели могут быть проиграны различные сценарии существования объекта, найдены и проверены рациональные технические решения. Чтобы определить оптимальные параметры объекта, в составе цифровой модели должен быть создан модуль экономической оценки технических решений. Для энергетического объекта выделяются три уровня объектов исследуемых решений: проектные решения электростанции в целом; системные решения отдельных технологических систем, зданий и сооружений; частные технические решения отдельных элементов

оборудования и конструкций. На каждом уровне экономические методы различаются. Предложены различные формулировки экономических расчетов.

Ключевые слова: строительство, электростанция, цифровая модель, цифровой двойник, экономические методы, оптимизация, выбор решений

Введение

В последнее время цифровое моделирование все активнее внедряется в проектирование, управление, научно-исследовательские работы. В том числе речь идет о создании цифровых двойников, как нового вида математических моделей.

TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF DIGITAL MODELING OF POWER PLANT FACILITIES

Koltun Oleg

PhD in Engineering, Head, VNIIAES (department of expertise and optimization of design solutions), Moscow, Russian Federation;

ovkoltun@vniiaes.ru

Pavlov Aleksandr

D. Sc. in Engineering, Prof., Moscow State University of Civil Engineering (Thermal and nuclear power plant department), Moscow, Russian Federation;

building2020@inbox.ru

Zhdanova Maria

graduate student, Moscow state university of civil engineerin, Moscow, Russian Federation;

mjdanova@briogroup.ru

Abstract. Digital modeling is being introduced into design, management, and research. With the help of a digital model, various scenarios of the object's existence can be played out. Rational technical solutions can be found and tested. In order to determine the optimal parameters of the object, a module for the economic evaluation of technical solutions should be created as part of the digital model. For a power plant facility, three levels of objects of the studied solutions are distinguished: design solutions of the power plant as a whole; system solutions of individual technological systems, buildings and structures; partial technical solutions of individual elements of equipment and structures. At each level, economic methods differ. Various formulations of economic calculations are proposed

Keywords: construction, power plant, digital model, digital twin, economic methods, optimization, choice of solutions

Цифровым двойником объекта можно считать совокупность взаимосвязанных электронных моделей или эксплуатируемого (иногда также проектируемого или строящегося) реального объекта. Цифровой двойник может использоваться для изучения процессов, происходящих на реальном объекте, без риска повреждения или другого нежелательного последствия для последнего. Главным требованием к цифровому двойнику является адекватность моделей свойствам реального объекта.

Поскольку цифровой двойник создается в сугубо практических целях, набор его свойств должен отвечать потребностям его использования, хотя, возможно, с некоторой избыточностью, поскольку не все особенности использования могут быть известны заранее. Так, для энергетического объекта в процессе длительной эксплуатации могут возникать рабочие или аварийные режимы, не предусмотренные проектом; под влиянием среды со временем могут изменяться характеристики конструкционных материалов и т.д. Поэтому в цифровой двойник должны быть по возможности заложены функции, изменяющиеся в более широких пределах, чем предусмотрено в рабочих параметрах оборудования и конструкций. Кроме того, должны быть предусмотрены возможности изменения характеристик на основе опыта эксплуатации.

С другой стороны, роль цифрового двойника не ограничивается отображением свойств реального объекта. С помощью развитой цифровой модели, созданной с помощью системного подхода, могут быть проиграны различные сценарии существования объекта, найдены и проверены рациональные технические решения. Такие решения могут осуществляться в различных аспектах деятельности объекта, а также в различных фазах его существования.

Экономической оценке строительных объектов, получаемой с помощью моделей, уделяется значительное внимание в отечественной и зарубежной научной литературе. Так, иногда аналоговые модели показывают более точные результаты, чем модели, основанные на регрессионном анализе или на методах искусственного интеллекта [1]. Для изучения используется факторный анализ исходных параметров [2]. Важными параметрами при этом являются применяемое строительно-технологическое оборудование, особенности площадки [3, 4]. Вероятностный подход позволяет выявить количественную оценку стоимости и продолжительности строительства [5].

Изучаются основные тенденции изменения величины и структуры стоимости энергетических объектов, которые показывают снижение стоимости энергоблоков при увеличении их единичной мощности

[6, 7]. Однако в некоторых исследованиях говорится и об эффективности небольших и средних энергоблоков, подходящих по своим параметрам условиям эксплуатации [8, 9].

В отечественной отрасли энергетического строительства применяются различные методики для сравнительной оценки экономической эффективности путем сравнения численных показателей [10, 11]. Для этого необходимо оценить стоимость основных составляющих затрат, к которым относится, в частности, стоимость энергетического оборудования [12, 13]. Экономические оценки и проведение сравнительных экономических расчетов невозможно без разрабатываемых технико-экономических моделей энергетических объектов, которые разрабатываются в различных институтах энергетического профиля [14–17].

До настоящего времени цифровые модели на строительной площадке используются редко. При этом сведения о выполненных объемах работ часто не соответствуют фактическим данным. Например, пока конструкция не сдана по акту, она не признается выполненной. Поэтому в качестве источника оперативной информации может быть применен специальный планшет с использованием технологии смешанной реальности. Такие планшеты хорошо показали себя при работе со сложными инженерными системами и конструкциями. Используя информационную модель, можно указать текущий статус монтируемого элемента и передать на рабочий стол руководителя [18].

Методы исследования

Использование цифровой модели может быть весьма различным на разных этапах существования реального объекта. Для таких сложных, опасных и уникальных объектов, какими являются объекты энергетики, подходит членение жизненного цикла на шесть принципиально различных основных этапов^[1]. К ним относятся: предынвестиционный (плановый) и предпроектный этапы, проектирование, строительство, эксплуатация и вывод из эксплуатации. При этом часто не существует четких переходов от одного этапа к другому, например, проектирование продолжается несколько лет параллельно со строительством.

Кроме того, имеется целый ряд параллельных и стыковочных процессов, не выделяемых в основные этапы, но существенных для рассмотрения совокуп-

^[1] Гусакова Е.А., Павлов А.С. Основы организации и управления в строительстве. 2-е изд. 2021. Изд-во Юрайт. 649 с. ISBN 9785534138214.

ности производственных процессов (бизнес-процес-сов). К ним относятся, например, изготовление обо-рудования с длительным циклом, конкурсные и контрактные процедуры, пусковые операции, ре-монт, продление эксплуатации и др.

Наиболее полно совпадение свойств реального объ-екта и его модели может быть осуществлено при сдаче объекта в эксплуатацию, когда в модель внесены не-обходимые изменения по сравнению с проектной и рабочей документацией, а эксплуатационные измене-ния реального объекта еще не накопились. В связи с этим цифровым двойником целесообразно называть модель только на стадии эксплуатации (включая ввод в эксплуатацию и вывод из нее), когда характеристики станции в основном фиксированы. На этом этапе осу-ществляется обратная связь объекта с ЦД, могут быть смоделированы различные режимы нормальной экс-плуатации, а также аварийные режимы. Для сохране-ния адекватности необходимо эксплуатационные из-менения постоянно вносить в цифровой двойник.

На других стадиях целесообразно оставить назва-ние «цифровая модель», так как полноценного реаль-ного объекта еще нет, и об адекватности модели гово-рить не приходится. На этапах планирования и про-ектирования модель может быть использована как инструмент выбора и обоснования проектных техни-ческих решений: выбора компоновки и размещения производства, подбора основного и вспомогаельно-го оборудования, вероятностного анализа безопасно-сти и т.д. На этапе строительства, а также при рекон-струкции, продлении срока эксплуатации на цифро-вой модели могут быть отработаны вопросы замены недостающих элементов оборудования, устойчивости конструкций, технологии строительства и монтажа.

При этом во многих случаях недостаточно модели-ровать технические свойства реального объекта. Чтобы принять решение об оптимальных характеристиках элементов и режимах эксплуатации, необходимо оце-нивать базовые показатели объекта, в том числе эко-номические. Для этого должен быть создан модуль экономической оценки технических решений (эконо-мический модуль), поведение которого будет зависеть от моделируемого этапа жизненного цикла объекта. Такой модуль отсутствует в реальном объекте и явля-ется необходимым дополнением цифровой модели.

Результаты исследования

Роль экономического блока изменяется на этапах жизненного цикла и позволяет решать разнообраз-ные задачи, включая оценку конкурентоспособности



Рис. 1. Обобщенная схема принятия решения с помощью цифровой модели

и выбор разнообразных технических решений. Для энергетического объекта можно выделить три уров-ня объектов исследуемых решений: проектные ре-шения электростанции в целом; системные решения отдельных технологических систем, зданий и соору-жений; частные технические решения отдельных элементов оборудования и конструкций. При сопро-вождении жизненного цикла реального объекта ре-шаемые задачи изменяются, как правило, от общих к частным. Последовательность принятия решений на различных этапах жизненного цикла реального объекта может быть проиллюстрирована следующей схемой (рис. 1).

На рисунке условно показана только одна обрат-ная связь: возврат к перебору вариантов в тех случаях, когда вариант не удовлетворяет установленным огра-ничениям, или когда вариант не эффективен по срав-нению с рассмотренными ранее. Однако в реальных ситуациях возможен возврат на более ранние этапы принятия решений. Например, в случаях, когда ни один из вариантов не удовлетворяет установленным ограничениям, последние могут быть смягчены.

На ранних стадиях жизненного цикла могут об-суждаться такие проблемы энергетического объекта, как место размещения, состав и единичная мощность энергоблоков, общая компоновка станции и т. д. При определении основных характеристик энергоблоков для всех рассматриваемых вариантов определяются

капитальные вложения и эксплуатационные затраты как по изменяемой, так и по неизменяемой частям станции, так как при изменении единичной мощности практически составляется новый проект станции.

Таким образом, стратегические решения принимаются на такой стадии жизненного цикла объекта, на которой цифровой двойник еще не готов или недостаточно подробен. На этих этапах применяются экономико-математические модели, реализующие приближенные технико-экономические закономерности на уровне электростанции в целом. Тем не менее, для задач этого класса необходимы энергетические и топливные параметры, требования эксплуатации и безопасности, климатические, геологические и гидрологические условия, экономические, экологические, социальные, административные требования. Необходимо изучение многочисленных материалов исследований, изысканий и отчетов. При этом роль цифрового двойника (к этому времени еще только создаваемого) ограничивается моделированием лишь некоторых, наиболее простых и изученных сторон планируемого реального объекта.

На основании анализа могут быть созданы абсолютные, относительные и удельные экономические интегральные целевые показатели. К ним можно отнести следующие.

Удельные капитальные затраты на единицу мощности определяются по формуле

$$k_p = \frac{\sum_t (K_t)}{N} \quad (1)$$

где K_t — капитальные вложения в период t ;

N — установленная мощность электростанции (энергоблока).

Суммирование производится по всем периодам строительства электростанции.

Среднегодовая себестоимость электроэнергии может быть вычислена по формуле

$$c_e = \frac{\sum_t (K_t + A_t + F_t)}{W_e} \quad (2)$$

где K_t — капитальные вложения в период t ;

A_t — эксплуатационные затраты в период t ;

F_t — топливные затраты в период t ;

W_e — выработка электроэнергии за год.

Суммирование ведется по периодам одного года. Эксплуатационные затраты на выработку электроэнергии включают заработную плату с начислениями, затраты на ремонт, налоги, выплачиваемые из

себестоимости, прочие эксплуатационные расходы, включая обязательные отчисления в отраслевые резервы. Не включается сумма амортизационных отчислений, если учтены капитальные вложения и затраты на замену оборудования.

Для атомных электростанций топливная составляющая включает расходы на закупку топлива, перевозку и обработку отработавшего ядерного топлива, захоронение радиоактивных отходов.

Аналогичным способом может быть определена себестоимость отпущенной электроэнергии, которая неизбежно выше себестоимости выработанной электроэнергии. Для этого в знаменателе подставляется объем электроэнергии, отпущенной с шин электростанции (то есть за вычетом расходов на собственные нужды). Для АЭС в эксплуатационных затратах должны быть учтены управленческие и коммерческие расходы, среди которых главное место занимают отчисления в отраслевые резервы на обеспечение безопасности, физической защиты, развития АЭС, вывода из эксплуатации, захоронения радиоактивных отходов [19, 20].

Недостатками показателя (2) является отсутствие учета затрат на другую продукцию электростанции (теплофикацию, опреснение) и вариативность по годам эксплуатации.

Существуют показатели эффективности, учитывающие фактор времени, включая неравномерность затрат и доходов. К ним можно отнести чистый дисконтированный доход и внутреннюю норму доходности. Для вычисления универсального чистого дисконтированного дохода используется общая формула (3). При этом можно учесть различные денежные потоки, включая кредитование, а также доходы от продажи энергии и дополнительных видов продукции. Однако метод не предусматривает удельную форму подсчета.

Для учета фактора времени успешно применяется дисконтирование денежных потоков с приведением затрат к единому моменту времени при помощи нормы дисконта. В основе дисконтирования потоков лежит формула

$$C_0 = \sum_t C_t \beta_t = \sum_t C_t (1 + E)^{t_0 - t} \quad (3)$$

где C_0 — эквивалентный денежный поток;

C_t — денежный поток в ценах периода t ;

β_t — коэффициент приведения затрат в период t .

Внутренняя норма доходности определяется как норма доходности, при которой суммарный чистый

дисконтированный доход становится равным нулю, то есть это обратная задача по отношению к предыдущей. Недостаток метода в том, что полученное значение трудно интерпретировать на практике.

Удельные эквивалентные затраты на выработку электроэнергии часто называют *LCOE* (Levelized Cost of Electricity). Они используются Международным энергетическим агентством и могут быть вычислены по формуле

$$LCOE = \frac{\sum_t \frac{K_t + A_t + F_t}{(1+E)^t}}{\sum_t \frac{W_t}{(1+E)^t}} \quad (4)$$

Как видим, для вычисления *LCOE* используются те же данные, что и в формуле (2), но приведенные к сопоставимому периоду. Таким образом, *LCOE* является приведенной себестоимостью киловатт-часа электроэнергии и не зависит от уровня цен на энергию [10, 11].

Недостатком метода является невозможность учета дополнительного производства тепла, пресной воды и других продуктов. Кроме того, невозможно учесть особенности многоставочного тарифа (например, на электроэнергию и мощность).

Довольно успешно может применяться индекс доходности дисконтированных капитальных вложений, который представляет собой отношение дисконтированной алгебраической суммы операционных денежных потоков к дисконтированной величине капитальных вложений. Применительно к энергетическим объектам он может быть определен по формуле

$$PI = 1 + \frac{\sum_t (P_t - A_t - F_t)\beta_t}{\sum_t K_t\beta_t} \quad (5)$$

где P_t — доходы от продажи энергии в период t .

Этот показатель позволяет оценить сравнительную эффективность капитальных затрат в различных проектах, даже имеющих различную мощность. Для вычисления доходов от продаж следует учитывать доходы от продажи электроэнергии и мощности за сопоставимые периоды. При необходимости в сумму доходов может быть добавлена выручка от продажи дополнительной продукции, а также эффекты (со своим знаком) от иных сопутствующих мероприятий, включая экономическую оценку финансовых, социальных и экологических процессов.

Для абсолютной оценки рентабельности проекта следует учитывать, что проект считается выгодным

при значении *PI* больше единицы. Для сравнительной оценки наилучшим признается проект с максимальным значением индекса доходности.

Указанные критерии, особенно индекс доходности, могут быть успешно применены в качестве экономических критериев при выборе проектных решений электростанций.

Решения отдельных технологических систем электростанции, а также компоновочные решения зданий и сооружений представляют собой второй, промежуточный уровень между проектным решением по станции в целом и частным решением по отдельному элементу. В состав системы могут входить разнородные элементы технологического оборудования, а также силовые и слаботочные электрические устройства, сопутствующие строительные конструкции и т.д. При назначении вариантов компоновочных решений изменяются не только строительные конструкции, но и длины трубопроводов и кабеля, воздуховодов и лотков. Поэтому при выборе компоновочного решения также необходимы исходные данные по изменяемой части оборудования.

Для определения затрат и доходов по системному техническому решению нужны принципиально те же данные по капитальным и эксплуатационным затратам, что и для частных технических решений. Изменение финансовых потоков практически не затрагивается. Во многих случаях не изменяется и выработка электроэнергии станцией (за исключением собственных нужд), соответственно не требуется учет топливной составляющей затрат и доходов владельца станции.

Состав исходных данных для определения капитальных затрат в принципе тот же, что и для частного технического решения, однако необходимы данные по всем элементам системы:

- стоимость изготовления элементов оборудования системы;
- стоимость транспортировки;
- стоимость монтажа элементов оборудования системы;
- стоимость строительства элементов системы.

Таким образом, капитальные затраты, связанные с техническим решением по системе оборудования и компоновке, могут быть вычислены по формуле:

$$K_{\text{сист}} = C_{\text{изг}} + C_{\text{тр}} + C_{\text{монт}} + C_{\text{стр}} \quad (6)$$

где $C_{\text{изг}}$ — стоимость изготовления оборудования системы;

$C_{\text{тр}}$ — стоимость транспортировки оборудования системы;

Ставки железнодорожных перевозок на транспортерах (фрагмент)

Железнодорожный транспортер	Степень и вид негабаритности	Ставка А, руб./вагон	Ставка В, руб./(вагоно-км)
16-осный сочлененный 300 т	1-3 боковая	112623	470,249
32-осный сочлененный 500 т	1-3 боковая	219540	582,653
16-осный сочлененный 300 т	3-4 боковая	112623	869,365
32-осный сочлененный 500 т	3-4 боковая	219540	981,770
16-осный сочлененный 300 т	5 боковая	112623	1191,278
32-осный сочлененный 500 т	5 боковая	219540	1310,428
16-осный сочлененный 300 т	6 боковая	112623	1533,091
32-осный сочлененный 500 т	6 боковая	219540	3145,735

$C_{\text{монт}}$ — стоимость монтажа оборудования системы;

$C_{\text{стр}}$ — стоимость возведения строительной части системы.

Стоимость изготовления элементов оборудования системы может определяться по аналогам или по данным заводов-изготовителей оборудования.

Эксплуатационные затраты для технических решений систем и компоновок должны включать влияние различных факторов:

- материальные расходы, включая затраты на ремонт;
- затраты на электроэнергию для собственных нужд станции;
- расходы на оплату труда эксплуатационного персонала;
- начисления на оплату труда, включая взносы на обязательное страхование;
- прочие прямые затраты, включающие налоги и другие плановые платежи;
- накладные расходы;
- прибыль;
- работы и услуги сторонних организаций.

Методы расчета стоимости монтажа, строительства и эксплуатационных затрат изложены ниже для частных технических решений. Разница в том, что при создании вариантов системы редко удается обойтись одним варьируемым параметром и малым количеством вариантов, поэтому необходимо шире привлекать аналитические выражения и параметрические методы оценки стоимости. Поэтому наряду с базой технико-экономических данных должны быть по мере разработки ЦД подобраны аналитические или табличные зависимости стоимости от параметров систем. Состав таких параметров неизбежно будет различным для систем разного назначения.

В качестве примера исходных данных приведем фрагмент стоимости перевозок одной тонны груза в базовых ценах в соответствии с тарифами железных дорог. Провозная плата в рублях за тонну груза определяется по формуле

$$\Pi = \frac{A + BL}{P_{\text{отп}}} K_{\text{кл}} K_{\text{ц}} \quad (7)$$

где A — ставка за начально-конечные операции, руб. за отправку;

B — ставка за движущие операции, руб. за км отправки;

$P_{\text{отп}}$ — вес груза в отправке;

$K_{\text{кл}}$ — коэффициент класса груза;

$K_{\text{ц}}$ — индекс пересчета в текущие цены.

Фрагмент ставок для некоторых характеристик оборудования в базовых ценах приведены в табл. 2.

Как показано выше, частные технические решения хронологически принимаются на более поздних этапах жизненного цикла объекта, чем системные и проектные. Они представляют третий, наиболее подробный вид технико-экономических расчетов.

Поскольку частные технические решения могут быть приняты в большинстве случаев на основании частного экономического критерия, состав исходных данных может ограничиваться теми параметрами, которые отражаются на стоимости. При этом должны быть учтены капитальные вложения (единовременные затраты) и затраты на эксплуатацию (текущие затраты).

Для определения капитальных вложений при рассмотрении частных технических решений, касающихся энергетического оборудования, должны быть указаны следующие основные исходные данные:

- стоимость изготовления оборудования франко-завод (точнее, франко-транспортное средство у завода-изготовителя);

– стоимость транспортировки до приобъектного склада (строительной базы, склада дирекции) электростанции;

– стоимость монтажа оборудования, включая подачу от приобъектного склада до проектного положения.

В случаях применения несерийного (именного) оборудования, оборудования длительного цикла изготовления должны быть учтены расходы на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, связанные с рассматриваемым оборудованием. Эти расходы раскладываются на всю выпускаемую серию оборудования либо учитываются только для головного образца. Размер серии может также учитываться путем учета относительного снижения затрат (в первую очередь трудовых и косвенных) при увеличении размера серии. Такой эффект носит название «эффект серийности» или «эффект обучаемости» и моделируется степенной функцией.

Стоимость изготовления оборудования складывается из себестоимости изготовления и расчетной прибыли завода-изготовителя. Ни элементы себестоимости, ни рентабельность производства в настоящее время на предприятиях энергетического машиностроения не нормируются. Единственным исключением можно считать изготовление продукции по государственному оборонному заказу, в котором действует государственное регулирование цен на продукцию предприятий. При этом для собственных затрат (добавленной стоимости) плановая рентабельность должна составлять от 10 до 25 %, для привнесенных затрат — до 1% соответствующей суммы затрат [21].

В остальных случаях надежда на адекватную цену продукции возлагается на рыночную конкуренцию или на справедливое определение цены для единственного поставщика. В обоих случаях в основе лежит установление заказчиком начальной (максимальной) цены договора. При этом используются следующие методы [22], которые могут быть (с известными оговорками) применены также в экономическом блоке цифровой модели:

- затратный метод;
- проектно-сметный метод;
- поиск аналогов;
- запрос технико-коммерческих предложений.

При оценке стоимости продукции затратным методом должны быть учтены следующие статьи затрат:

– материальные расходы, включая закупку сырья, материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий;

– затраты на топливо, энергию, пар и другие энергоносители;

– специальное оборудование и оснастка, закупаемые в том случае, если для изготовления продукции невозможно использовать имеющееся на заводе оборудование;

– амортизационные отчисления от стоимости основных средств завода;

– расходы на оплату труда;

– начисления на оплату труда, включая взносы на обязательное страхование;

– прочие прямые затраты, включающие налоги и другие плановые платежи;

– накладные расходы, определяемые в процентах к расходам на оплату труда и включающие общепроизводственные и общехозяйственные расходы;

– прибыль, определяемая процентом рентабельности по отношению к себестоимости;

– работы и услуги производственного характера, выполняемые сторонними организациями.

Стоимость транспортировки оборудования от завода-изготовителя до склада на территории строительной базы электростанции должна учитывать затраты на железнодорожные и автомобильные перевозки, погрузо-разгрузочные работы, а также необходимые перевалки и страхование грузов в пути. Тарифы на железнодорожные перевозки ежегодно индексируются. Цены на автомобильные перевозки могут быть получены в транспортных компаниях.

Стоимость монтажа оборудования определяется по государственным элементным сметным нормам на монтажные работы, входящим в Федеральную сметно-нормативную базу ФСНБ-2022 [23].

Для определения затрат на транспорт и монтаж оборудования исходными данными являются тип и количество единиц оборудования, его масса (вес), габаритные размеры.

Таким образом, капитальные затраты, связанные с частным техническим решением по элементу оборудования, могут быть вычислены по формуле:

$$K_{\text{обор}} = C_{\text{изг}} + C_{\text{тр}} + C_{\text{монт}} \quad (8)$$

где $C_{\text{изг}}$ — стоимость изготовления оборудования;

$C_{\text{тр}}$ — стоимость транспортировки оборудования;

$C_{\text{монт}}$ — стоимость монтажа оборудования.

В свою очередь, стоимость монтажа оборудования может быть определена по формуле

$$C_{\text{монт}} = (C_{\text{зп}} (1 + \text{НР} + \text{СП}) + C_{\text{маш}} + C_{\text{мат}}) (1 + \text{НДЗ}) \quad (9)$$

где НР и СП — нормативы накладных расходов и сметной прибыли;

$C_{\text{маш}}$ — затраты на эксплуатацию монтажных машин и механизмов;

$C_{\text{мат}}$ — стоимость вспомогательных материалов;

НДЗ — нормы дополнительных затрат на зимнее удорожание.

Затраты на зимнее удорожание учитываются в зависимости от региона расположения станции и отражают климатические особенности стройки. Затраты на возведение временных зданий и сооружений для частных технических решений изменяются незначительно, поэтому, как правило, не учитываются.

Проектно-сметный метод может быть использован при расчете стоимости технического решения, касающегося строительных конструкций зданий и сооружений электростанции. В отличие от монтажа оборудования, стоимость применяемых конструкций и их транспортировки включается в стоимость строительных работ наравне со строительными материалами. Поэтому затраты на строительные конструкции исчерпываются формулой, аналогичной формуле (9):

$$K_{\text{стр}} = ((C_{\text{эл}} (\text{НР} + \text{СП}) + C_{\text{маш}} + C_{\text{мат}}) (1 + \text{НДЗ})) \quad (10)$$

где $C_{\text{мат}}$ — стоимость основных и вспомогательных материалов и конструкций.

При расчете затрат, в первую очередь капитальных, следует дополнительно решить вопрос о достоверности исходных данных в свете взаимоотношений с проектировщиками. Так, сметные отделы проектных организаций в случае применения бюджетного финансирования придерживаются данных, входящих в официальный реестр сметных нормативов. В противном случае прохождение государственной экспертизы проектной документации будет невозможным.

В то же время известно, что многие нормативы, содержащиеся в этом реестре, не соответствуют фактически действующим ценам (в основном занижены). Поэтому для адекватного отображения стоимостных данных (в первую очередь для зарубежного строительства) целесообразно организовать ввод фактических цен с прогнозом их изменения в ходе строительства и эксплуатации.

Эксплуатационные затраты для частных технических решений, не отражающихся на выработке электроэнергии и потреблении топлива, должны включать:

— материальные расходы, включая затраты на ремонт;

— затраты на электроэнергию для собственных нужд электростанции;

— расходы на оплату труда эксплуатационного персонала;

— начисления на оплату труда, включая взносы на обязательное страхование;

— прочие прямые затраты, включающие налоги и другие плановые платежи;

— накладные расходы, определяемые в процентах к расходам на оплату труда и включающие общепроизводственные и общехозяйственные расходы;

— прибыль, определяемая процентом рентабельности по отношению к себестоимости;

— работы и услуги производственного характера, выполняемые сторонними организациями.

Амортизационные отчисления от стоимости рассматриваемого оборудования и конструкций не должны учитываться, так как это могло бы привести к двойному счету капитальных затрат. При выборе технического решения статьи эксплуатационных затрат, не затрагиваемые данным решением, могут не учитываться.

Для упрощения задачи при выборе частных технических решений эксплуатационные затраты можно принимать равномерными в течение расчетного периода. В этом случае приведение текущих (операционных) затрат к единовременным производится с помощью годового эквивалента (аннуитета), определяемого по формуле финансового менеджмента:

$$\alpha_T = \frac{E}{1 - (1 + E)^{-T}}, \quad (11)$$

где α_T — годового эквивалент равномерных затрат за срок использования, год-1;

T — срок осуществления затрат, лет.

Формула действительна и при отрицательной норме дисконта.

При сроке службы оборудования и конструкций $\tau < T$ их приходится заменять несколько раз за время расчетного периода T . С учетом этого общие эквивалентные затраты, включающие капитальные и операционные расходы, могут быть вычислены по упрощенной формуле^[2]

$$R = K \frac{\alpha_{\tau}}{\alpha_T} + \frac{A}{\alpha_T}, \quad (12)$$

где K — капитальные затраты, связанные с применением технического решения;

^[2] Павлов А.С. Экономика строительства. в 2 тт. 2-е изд. 2022. Изд-во Юрайт. 337 + 416 с. ISBN 9785534139556.

Таблица 3

Условный пример расчета эквивалентных затрат

Расчетный год	Коэффициент приведения	Капитальные затраты, тыс. руб.	Эксплуатационные затраты, тыс. руб.	Эквивалентные затраты с учетом приведения, тыс. руб.
-2	1,10250	50 000		75901,03
-1	1,05000	50 000		72286,70
0	1,00000		10 000	10000,00
1	0,95238		10 000	9523,81
2	0,90703		10 000	9070,30
...		
9	0,64461		10 000	6446,09
10	0,61391		12 000	7366,96
11	0,58468		12 000	7016,15
...		
18	0,41552		12 000	4986,25
19	0,39573		12 000	4748,81
20	0,37689		10 000	3768,89
21	0,35894		10 000	3589,42
...		
29	0,24295		10 000	2429,46
30	0,23138		12 000	2776,53
31	0,22036		12 000	2644,31
...		
39	0,14915		12 000	1789,78
Итого		100 000	440 000	342065,07

α_t — годовой эквивалент равномерных затрат за срок службы, год⁻¹;

A — ежегодные операционные затраты, связанные с применением технического решения.

При некрatном числе замен соотношение годовых эквивалентов α_t и α_T подразумевает некоторую остаточную стоимость оборудования, снятого по окончании эксплуатации, что не всегда реализуемо.

В таблице 3 приведен условный пример расчета эквивалентных затрат некоторой технологической системы электростанции. Норма дисконта принята 5% годовых, расчетный горизонт 40 лет, расчетный интервал 1 год. Поставка и монтаж оборудования системы занимает 2 года при равномерном распределении вложений в размере 100 млн. руб. Срок службы оборудования составляет 20 лет, через 10 лет эксплуатации

затраты на обслуживание системы (10 млн. руб./год) возрастают на 20%. Выручка станции не изменяется. Годовые эквиваленты по формуле (11) составляют $\alpha_{20} = 0,08024$, $\alpha_{40} = 0,05828$. За «нулевой» интервал (год приведения) принят первый год эксплуатации системы. Вывод системы из эксплуатации не учитывается.

Стоимость замены оборудования к 20-м году не учитывается, если применено соотношение годовых эквивалентов по формуле (12). Нетрудно убедиться, что, если не применять указанное соотношение, но добавить затраты на замену в 18-м и 19-м расчетных годах, результат расчета эквивалентных затрат будет тот же. При некрatном числе замен оборудования этот способ будет даже точнее, поскольку продолжение использования оборудования, снятого с АЭС, едва ли возможно.

Для конкурирующих систем АС следует провести аналогичные расчеты для всего расчетного горизон-

та. В данном случае экономически выгодной системой будет вариант с минимальным значением эквивалентных затрат.

Выводы

Для цифровых моделей энергетических объектов необходимо создание технико-экономических блоков, моделирующих производственно-экономические свойства объектов. Для сложных энергетических объ-

ектов предложены три уровня технико-экономических задач, используемых для оптимизации и выбора технических решений. Стратегический, системный и частный уровни задач описываются различными экономическими моделями, сформулированными в статье. Для решения этих задач часто необходимы обширные исходные данные, сводимые в специализированную базу данных, включающую не только свойства реального объекта, но и данные о внешней среде.

Список литературы

- Kim, G. H., An, S. H., & Kang, K. I. (2004). Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning. *Building and Environment*, 39(10), 1235-1242. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.02.013>.
- Gauch, H., Dunant, C. F., Hawkins, W., & Cabrera Serrenho, A. (2023). What really matters in multi-storey building design? A simultaneous sensitivity study of embodied carbon, construction cost, and operational energy. *Applied Energy*, 333, [120585]. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120585>.
- Arsalan Mahmoodzadeh, Hamid Reza Nejati, Mokhtar Mohammadi, Hawkar Hashim Ibrahim, Mohammad Khishe, Shima Rashidi, Adil Hussein Mohammed. Developing six hybrid machine learning models based on gaussian process regression and meta-heuristic optimization algorithms for prediction of duration and cost of road tunnels construction. *Tunnelling and Underground Space Technology*. V. 130, December 2022, 104759. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104759>.
- Optimized machine learning modelling for predicting the construction cost and duration of tunnelling projects. Arsalan Mahmoodzadeh, Hamid Reza Nejati, Mokhtar Mohammadi. Optimized machine learning modelling for predicting the construction cost and duration of tunnelling projects. *Automation in Construction*. V. 139, July 2022, 104305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104305>.
- Debaditya Chakraborty, Hosam Elhegazy, Hazem Elzarka, Lilianna Gutierrez. A novel construction cost prediction model using hybrid natural and light gradient boosting. *Advanced Engineering Informatics*. V. 46, October 2020, 101201. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101201>
- Loving J.R., Yip A., Nordhaus T. Historical construction costs of global nuclear power reactors, *Energy Policy*, 91, 2016. Pp. 371-382. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.01.011>.
- Kharitonov V.V., Kosterin N.N. Criteria of return on investment in nuclear energy. *Nuclear Energy and Technology* 2017. V. 3 (3). 176-182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nucet.2017.08.006>.
- Carelli M.D. et al. Economic features of integral, modular, small-to-medium size reactors. *Progress in Nuclear Energy*. 2010. 52. Pp. 403-414.
- Touran N. Economics of nuclear power. 2020-01-26. URL=<https://whatisnuclear.com/economics.html>.
- Единые отраслевые методические указания по расчету показателя LCOE зарубежных проектов по строительству новых АЭС за рубежом. Утв. приказом государственной корпорации Росатом от 26.04.2016г. № 1/360-П.
- Единые отраслевые методические указания по определению показателя LCOE и предельной стоимости соору-
- жения АЭС в России, обеспечивающей конкурентоспособный уровень показателя LCOE. Утв. приказом государственной корпорации «Росатом» от 14.04.2017г. № 1/320-П.
- Гольцов А.Е., Молоканов Н.А. Обзор и анализ принципов и методов определения стоимости разрабатываемого оборудования для объектов использования атомной энергии. *Атомная энергия*. 2016. Т. 120, вып. 5. С. 282-291.
- Брыкалов С.М., Удалишев С.В., Фатеев С.А. Анализ влияния фактора мощности на технико-экономические показатели реакторных установок. Тезисы X Международной молодежной научной конференции «Полярное сияние 2007» СПб, 2007. с. 126-127, URL=<http://www.polarlights.ru>.
- Тюкаев Д.А. Модель проведения инвестиционного проектирования в ядерной энергетике. *Приволжский научный вестник*. 2011. № 4. С. 81-83.
- Карякин А.М., Тарасова А.С., Осинцев В.Ю. Об оценке влияния инновационной составляющей на экономическую эффективность проекта атомной станции. *Вестник ИГЭУ*. 2012. № 4. С. 99-108.
- Андреанов А.А. и др. Программные комплексы технико-экономического моделирования, анализа и оценки систем ядерной энергетики и объектов использования атомной энергии: каталог. Депонированная рукопись. ВИНТИ РАН 2021. № 36-B2021.
- Колтун О.В., Павлов А.С., Темишев Р.Р., Тыхшаев В.П., Орехов М.Н. «Технико-экономическая модель оценки эффективности жизненного цикла АЭС с использованием различных сценариев производства топлива» // Сборник докладов Одиннадцатой Международной научно-технической конференции «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики» АО «Концерн Росэнергоатом» (23 — 24.05.2018 г., г. Москва).
- Сайт группы компаний БРИО URL=<https://briogroup.ru/szentr-upravleniya-stroitelnyimi-proektami/>.
- Гусакова Е.А., Павлов А.С. Основы организации и управления в строительстве. 2-е изд. 2021. Изд-во Юрайт. 649 с. ISBN 9785534138214.
- «Правила отчисления предприятиями и организациями, эксплуатирующими особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты (атомные станции), средств для формирования резервов, предназначенных для обеспечения безопасности атомных станций на всех стадиях их жизненного цикла и развития», утв. постановлением Правительства РФ от 30.01.2002 № 68.
- «Методические указания по определению размера денежных средств, необходимых для обеспечения безопасной эксплуатации атомных станций и гидроэлектростанций», утв. приказом ФАС от 22.03.2018.

22. Постановление Правительства РФ от 2 декабря 2017 г. № 1465 "О государственном регулировании цен на продукцию, поставляемую по государственному оборонному заказу, а также о внесении изменений и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации"
23. Единый отраслевой стандарт закупок (Положение о закупке) Государственной корпорации по атомной энергии

- «Росатом». Утв. решением наблюдательного совета Госкорпорации «Росатом» от 07.02.2012 № 37.
24. Федеральная сметно-нормативная база ФСНБ-2022. Утв. приказом Министра России от 30.12.2021 № 1046/пр.
25. Павлов А.С. Экономика строительства. в 2 тт. 2-е изд. 2022. Изд-во Юрайт. 337 + 416 с. ISBN 9785534139556.

References

1. Kim, G. H., An, S. H., & Kang, K. I. (2004). Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning. *Building and Environment*, 39(10), 1235-1242. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.02.013>.
2. Gauch, H., Dunant, C. F., Hawkins, W., & Cabrera Serrenho, A. (2023). What really matters in multi-storey building design? A simultaneous sensitivity study of embodied carbon, construction cost, and operational energy. *Applied Energy*, 333, [120585]. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120585>.
3. Arsalan Mahmoodzadeh, Hamid Reza Nejadi, Mokhtar Mohammadi, Hawkar Hashim Ibrahim, Mohammad Khishe, Shima Rashidi, Adil Hussein Mohammed. Developing six hybrid machine learning models based on gaussian process regression and meta-heuristic optimization algorithms for prediction of duration and cost of road tunnels construction. *Tunnelling and Underground Space Technology*. V. 130, December 2022, 104759. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104759>.
4. Optimized machine learning modelling for predicting the construction cost and duration of tunnelling projects. Arsalan Mahmoodzadeh, Hamid Reza Nejadi, Mokhtar Mohammadi. Optimized machine learning modelling for predicting the construction cost and duration of tunnelling projects. *Automation in Construction*. V. 139, July 2022, 104305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104305>.
5. Debaditya Chakraborty, Hosam Elhegazy, Hazem Elzarka, Lilianna Gutierrez. A novel construction cost prediction model using hybrid natural and light gradient boosting. *Advanced Engineering Informatics*. V. 46, October 2020, 101201. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101201>
6. Lovering J.R., Yip A., Nordhaus T. Historical construction costs of global nuclear power reactors, *Energy Policy*, 91, 2016. Pp. 371-382. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.01.011>.
7. Kharitonov V.V., Kosterin N.N. Criteria of return on investment in nuclear energy. *Nuclear Energy and Technology* 2017. V. 3 (3). 176-182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nucet.2017.08.006>.
8. Carelli M.D. et al. Economic features of integral, modular, small-to-medium size reactors. *Progress in Nuclear Energy*. 2010. 52. Pp. 403-414.
9. Touran N. Economics of nuclear power. 2020-01-26. URL=<https://whatisnuclear.com/economics.html>.
10. Unified industry guidelines for calculating the LCOE indicator of foreign projects for the construction of new nuclear power plants abroad. Rosatom, 26.04.2016. 1/360-P.
11. Unified industry guidelines for determining the LCOE indicator and the marginal cost of NPP construction in Russia, providing a competitive level of the LCOE indicator. Rosatom 14.04.2017. 1/320-P.
12. Goltsov A.E., Molokanov N.A. Review and analysis of the principles and methods of determining the cost of the developed equipment for nuclear energy facilities. *Nuclear power*. 2016. V. 120, Issue. 5. Pp. 282-291.
13. Brykalov S.M., Udalishchev S.V., Fateev S.A. Analysis of the influence of the power factor on the technical and economic indicators of reactor installations. Abstracts of the X International Youth Scientific Conference «Polar Lights 2007» St. Petersburg, 2007. Pp. 126-127, URL=<http://www.polarlights.ru>.
14. Tyukaev D.A. Model of investment design in nuclear energy. *Volga Scientific Bulletin*. 2011. 4. Pp. 81-83.
15. Karyakin A.M., Tarasova A.S., Osintsev V.Yu. On the assessment of the impact of the innovative component on the economic efficiency of the nuclear power plant project. *IGEU Bulletin*. 2012. 4. Pp. 99-108.
16. Andrianov A.A. et al. Software complexes of technical and economic modeling, analysis and evaluation of nuclear power systems and facilities for the use of atomic energy: catalog. Deposited manuscript. VINITI RAN 2021. № 36-B2021.
17. Koltun O.V., Pavlov A.S., Temishev R.R., Tykshaev V.P., Orekhov M.N. «Technical and economic model for assessing the efficiency of the life cycle of nuclear power plants using various fuel production scenarios» // Collection of reports of the Eleventh International Scientific and Technical Conference «Safety, Efficiency and Economics of Nuclear Energy» JSC «Concern Rosenergoatom» (23 — 24.05.2018, Moscow).
18. Web-site of the BRIO group. URL=<https://briogroup.ru/czentr-upravleniya-stroitelnyimi-proektami/>.
19. Gusakova E.A., Pavlov A.S. Fundamentals of organization and management in construction. 2nd Ed. 2021. Urait, 649 pp. ISBN 9785534138214.
20. Rules of deduction by enterprises and organizations Operating particularly radiation-hazardous and nuclear-hazardous production facilities and facilities (nuclear power plants), funds for the formation of reserves intended to ensure the safety of nuclear power plants at all stages of their life cycle and development, Government of the RF, 30.01.2002. 68.
21. Methodological guidelines for determining the amount of funds needed to ensure the safe operation of nuclear power plants and hydroelectric power plants. Federal antimonopoly service, 22.03.2018.
22. About the state regulation of prices for products supplied under the state defense order. Government of the RF, 02/12/2017. 1465.
23. Unified Industry Procurement Standard (Procurement Regulations) The State Atomic Energy Corporation Rosatom. 07.02.2012. 37.
24. Federal Budget and regulatory framework of the FSNB-2022. Approved by the order of the Ministry of Construction of the Russian Federation 30.12.2021. 1046/пр.
25. Pavlov A.S. Economics of construction, 2nd Ed. 2022. Urait. 337+416 pp. ISBN 9785534139556.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ КРОВЕЛЬ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ЕЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ

УДК 004.891, 69

Долженко Александр Валериевич

старший преподаватель, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (кафедра экспертизы и управления недвижимостью), Белгород, Белгородская область, Россия; da7182@mail.ru

Наумов Андрей Евгеньевич

канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (кафедра экспертизы и управления недвижимостью), г. Белгород, Белгородская область, Россия; andrena@mail.ru

Строкова Валерия Валерьевна

д-р техн. наук, профессор, советник РААСН, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, заведующий кафедрой, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (кафедра материаловедения и технология материалов), Белгород, Белгородская область, Россия; vstrokova@gmail.com

Статья получена: 05.05.2023. Одобрена: 19.05.2023. Опубликовано онлайн: 27.06.2023 © РИОР

Аннотация. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная Правительством Российской Федерации, активно внедряется в строительную отрасль, преимущественно, на стадиях инженерных изысканий и архитектурно-строительного проектирования. Технологии информаци-

онного моделирования (BIM) используются большинством вендоров как зарубежных, так и отечественных САД приложений. На остальных стадиях жизненного цикла здания цифровизация не получила глубокого распространения, несмотря на то, что стадия эксплуатации является самой продол-

INTELLECTUALIZATION OF CONSTRUCTION AND TECHNICAL EXPERTISE OF FLAT ROOFS AS A TOOL FOR ITS LIFE CYCLE MANAGING

Dolzhenko Aleksandr

Lecturer, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Department of Construction Management and Real Estate), Belgorod, Belgorod, Russian Federation; da7182@mail.ru

Naumov Andrej

PhD in Engineering, Associate Professor, Chief of Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Department of Construction Management and Real Estate), Belgorod, Belgorod, Russian Federation; andrena@mail.ru

Strokova Victoria

D. Sc. in Engineering, Prof., Chief of Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Department of Materials Science and Materials Technology), Belgorod, Belgorod, Russian Federation; vstrokova@gmail.com

Abstract. The program «Digital Economy of the Russian Federation», approved by the Government of the Russian Federation, is being actively implemented in the building construction industry, mainly at the stages of engineering surveys and architectural and construction design. Building information modeling (BIM) technologies are used by most foreign and domestic CAD system vendors. At the other

stages of the building's life cycle, digitalization has not been widely distributed, despite the fact that the operation stage is the longest and the trouble-free existence of building structures at this stage is the key to the economic and social efficiency of building ownership. Flat rolled roofs in our country are the most common type of roofs and at the same time the most susceptible to defect formation structural element of a building. The standard operation period of such roofs is 10 years, despite the fact that the actual period of trouble-free operation of flat rolled roofs rarely exceeds 7 years. The assessment of the technical condition of the roofs is carried out by a construction and technical expertise, performed, as a rule, after the occurrence of leaks. Assessment of the degree of damage, as well as the prevalence of defects, is carried out by an expert visually, often without the use of measuring equipment. Due to the fact that the assessment of damage by an expert is purely subjective, it is impossible to correctly assess the development of the defect over time. The proposed technology of automation of construction and technical expertise of flat rolled roofs of a building allows timely detection of defects, assess the degree of their danger and make forecasts of their development over time. This approach allows you to make a timely decision on the need to carry out current repairs or to plan their implementation in the future. This will increase the service life of a flat rolled roof without increasing the cost of the life cycle.

Keywords: construction and technical expertise, constructions flaw detection, neural network, artificial intelligence, deep convolutional neural network, life cycle of a flat roof, life cycle management

жительной и безотказное существование строительных конструкций на этой стадии является залогом экономической и социальной эффективности владения зданием. Плоские рулонные кровли в нашей стране являются самым распространенным типом кровель и одновременно самым дефектоемким конструктивным элементом здания. Средний нормативный срок эксплуатации таких кровель составляет 10 лет, при том, что фактический срок безотказной эксплуатации плоских рулонных кровель редко превышает 7 лет. Оценка технического состояния кровель осуществляется строительно-технической экспертизой, выполняемой, как правило, после возникновения протечек. Оценка степени повреждения, а также распространенности дефектов осуществляется экспертом визуально, зачастую, без использования измерительного оборудования. В связи с тем, что оценка поврежденных экспертом сугубо субъективна, корректно оценить развитие дефекта во времени невозможно. Предлагаемая технология автоматизации строительно-технической экспертизы плоских рулонных кровель здания позволяет своевременно выявить дефекты, оценить степень их опасности и построить прогнозы их развития во времени. Такой подход позволяет своевременно принять решение о необходимости выполнения текущих ремонтов или же запланировать их проведение в будущем. Это позволит увеличить срок эксплуатации плоской рулонной кровли без увеличения стоимости жизненного цикла.

Ключевые слова: строительно-техническая экспертиза, строительная дефектоскопия, нейросеть, искусственный интеллект, глубокая сверточная нейронная сеть, жизненный цикл плоской рулонной кровли, управление жизненным циклом

Вступление

Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная Правительством Российской Федерации в июле 2017 г, активно внедряется в строительную отрасль, преимущественно, на стадиях инженерных изысканий и архитектурно-строительного проектирования. Строительная отрасль весьма консервативна, и в отличие от других отраслей экономики, где цифровизация получила наибольшее распространение, не демонстрирует широкого её внедрения [7]. Цифровые технологии получили внедрение в области архитектурно-строительного проектирования в виде информационных моделей строительных объектов, а также в виде различных приложений, используемых на стадии эксплуатации

здания для взаимодействия риелторов с покупателями недвижимости, а также управляющих компаний с жильцами.

Технологии информационного моделирования зданий (BIM) используются большинством вендоров как зарубежных, так и отечественных CAD приложений. При этом используется BIM не выше 5D, что не позволяет широко применять эти модели на стадии эксплуатации жизненного цикла здания, являющейся самой продолжительной. Своевременно принятые управленческие решения на этой стадии позволяют обеспечить безотказное функционирование здания. При этом возникает острая необходимость в правильной оценке необходимости проведения тех или иных ремонтно-восстановительных работ [12].

На текущий момент времени такие работы выполняются экспертами путем проведения строительно-технической экспертизы, целью которой является оценка функциональной надежности и конструктивной безопасности строительного объекта или его части [11]. В перечень работ, проводимых экспертами, входят выявление и фиксация дефектов, оценка их геометрических параметров, анализ причин появления повреждений, а также прогнозирование их дальнейшего развития [9]. Такая работа, как правило, субъективна, трудно повторяема и проверяема, особенно на строительных конструкциях, имеющих большую площадь и дефектоемкость, к которым несомненной относятся плоские рулонные кровли, имеющие наибольшую распространённость в нашей стране.

Способом, нивелирующим вышеописанные недостатки экспертной деятельности при эксплуатации здания, является применение автоматизированных систем на базе искусственного интеллекта [8], дублирующего деятельность эксперта, и беспилотных летательных аппаратов, позволяющих обеспечить повторимость маршрута проведения экспертизы.

Методы. Исследование возможности интеллектуализации строительно-технической экспертизы кровель проводилось с использованием нескольких методик:

- изучение нормативно-технической документации, регламентирующей правила эксплуатации плоских рулонных кровель [17], проведение строительно-технических экспертиз, структурирующей типовые дефекты, описывающей причины их возникновения [18] и содержащей рекомендации по выполнению ремонтных работ [14];

- изучение, описание и структурирование данных, описывающих типовые дефекты плоских ру-

лонных кровель на фотоматериалах, получаемых с помощью беспилотных летательных аппаратов;

– тестирование практикующих строительных экспертов на распознавание типовых дефектов плоских рулонных кровель на примере типовых фотографий участков имеющей повреждения кровли;

– обучение существующих нейронных сетей распознаванию не менее трех типовых дефектов плоских рулонных кровель (вздутие, впадины, растрескивание верхнего слоя) [10];

– исследование возможности повторения маршрута полета и фотофиксации беспилотным летательным аппаратом;

– полевые исследования применимости предлагаемой технологии проведения строительно-технических экспертиз плоских рулонных кровель с применением нейронных сетей и беспилотных летательных аппаратов на примере строительных объектов Белгородской области;

– изучение технологий информационного моделирования зданий (BIM), методов насыщения BIM-модели зданий цифровыми двойниками выявленных при проведении строительно-технической экспертизы дефектов, а также способы учета их развития на стадии эксплуатации здания.

Результаты



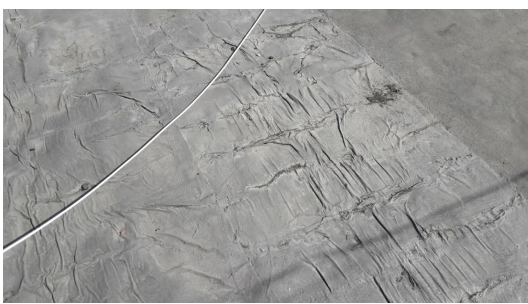


Анализ нормативно-технической документации в области строительно-технической экспертизы позволил сделать вывод, что плоские рулонные кровли обладают типовыми наиболее распространёнными дефектами, которые могут быть установлены как визуально, так и инструментально [13]. К дефектам, определяемым визуально, так как основным инструментом сбора информации предлагаемой технологии является фотокамера беспилотного летательного аппарата следует отнести:

Все вышеперечисленные дефекты кроме того, что могут быть определены визуально, могут быть измерены, а координаты характерных точек описаны и привязаны к поверхности исследуемого объекта.

Деятельность строительного эксперта весьма субъективна, а её результаты труднопроверяемы и не всегда повторимы. При большой протяженности насыщенного дефектами объекта точная фиксация их геометрических параметров труднодостижима, в результате чего решение о физическом износе и степени поврежденности кровли принимается экспертом «на глаз», что не всегда рационально с точки зрения собственника объекта, для которого одним из наи-

Типовые, возможные к визуальному определению, дефекты плоских рулонных кровель

Дефект, описание	Пример диагностируемого изображения
Отсутствие водоизоляционного ковра	
Отсутствие защитного слоя	
Механическое повреждение рулонного ковра	
Расхождение швов полотён	

Дефект, описание	Пример диагностируемого изображения
Расстрескивание водоизоляционного ковра [1,15]	
Разрушение покровного слоя материала	
Сползание рулонного ковра. Складки [2]	
Вздутие водоизоляционного ковра	
Впадины. Образование зон застоя воды	






Дефект, описание	Пример диагностируемого изображения
Биологическое повреждение	
Отслоение рулонного ковра от вертикальных поверхностей	
Отсутствие элементов из оцинкованной стали	
Отсутствие крышек элементов организованного водостока	
Коррозия металлических элементов	



Рис. 1. Дефект «Вздутие», определенный разными экспертами

более важных условий экономически эффективного существования объекта является наибольшая продолжительность безотказного функционирования его конструктивных элементов, достигаемая своевременным выполнением ремонтно-восстановительных работ [20].

С целью проверки предположения об субъективности решений строительных экспертов было проведено тестирование группы практикующих инженеров-обследователей экспертных организаций г. Белгорода. Наиболее выразительный пример, под-

тверждающий это предположение представлен на рисунке 1. При одной и той же площади кровли, равной $27,5 \text{ м}^2$, эксперты оценили дефекты по-разному:

- 75 зон вздутий общей площадью $4,95 \text{ м}^2$, 18% площади поверхности кровли;
- 55 зон вздутий общей площадью $2,12 \text{ м}^2$, 8% площади поверхности кровли.

Для оценки геометрических параметров распознанных дефектов был составлен алгоритм визуального программирования в программе Rhino 7 + Grasshopper, представленный на рисунке 2.

Для обучения и последующей оценки качества распознавания дефектов была выбрана нейронная сеть сети DeepLabv3+ [16], мерой оценки качества работы которой является метрика Intersection over Union (IoU) [3] (см. рис. 3), представляющая собой отношение площади пересечения прямоугольного региона-кандидата с прямоугольником, на самом деле обхватывающим объект, к площади объединения этих прямоугольников [5].

Ключевыми детектируемыми дефектами плоской рулонной кровли, анализируемыми обученной нейронной сетью, являются впадины, вздутия, трещины, отслоение, разрывы, отрывы, отсутствие рулонного ковра, биологическое и коррозионное повреждение её элементов (см. рис. 4) [6].

Предложенный подход к нейросетевому обучению [19] разработанного автоматизированного комплекса распознавания и диагностики типовых дефектов плоских рулонных кровель показал приемлемые результаты, что позволяет выделять области таких дефектов с достаточным для практического применения качеством.

Также авторами был разработан алгоритм по автоматизированному преобразованию контуров распознанного дефекта-вздутия в информационную его модель. Алгоритм был построен на языке визуального программирования в ПК Rhino 7 + Grasshopper и представлен на рисунке 5. Результаты автоматического построения информационной модели также представлены на рисунке 5.

Полученные информационные модели дефектов автоматически экспортируются в информационную модель здания в CAD системе, в нашем случае был использован ПК ArchiCAD, что позволяет учитывать поврежденность дефектами реальных строительных конструкций в BIM модели здания на стадии эксплуатации жизненного его цикла [4].

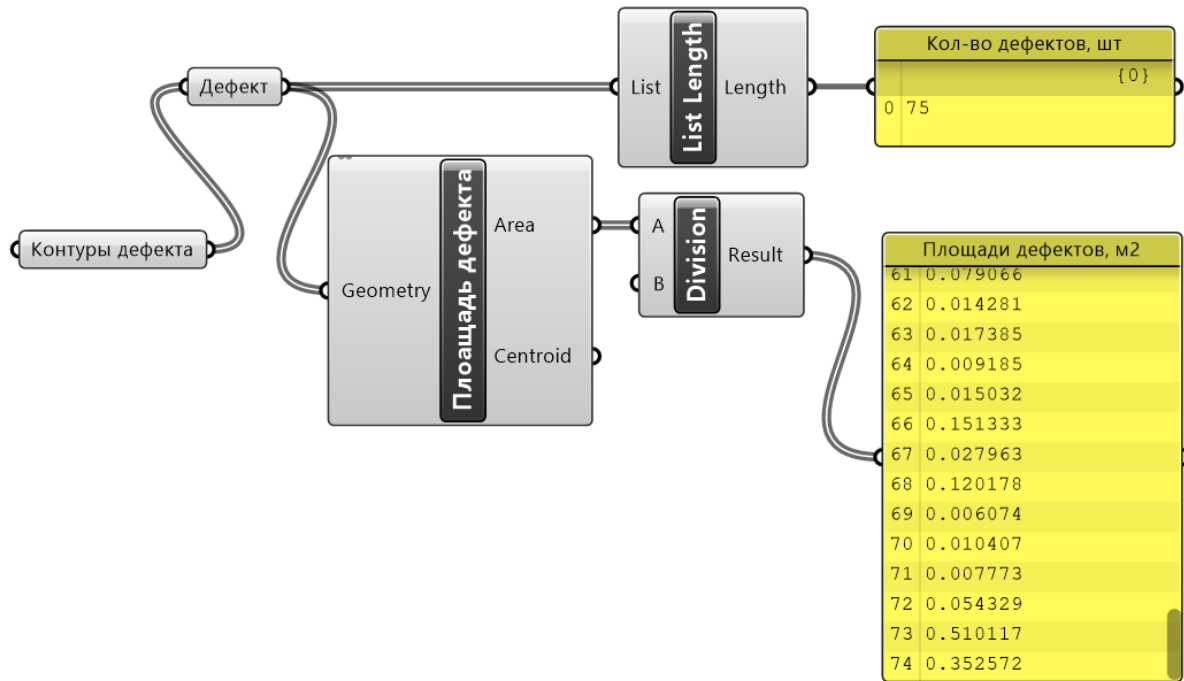


Рис. 2. Алгоритм оценки геометрических параметров дефектов

Обучение с новыми данными

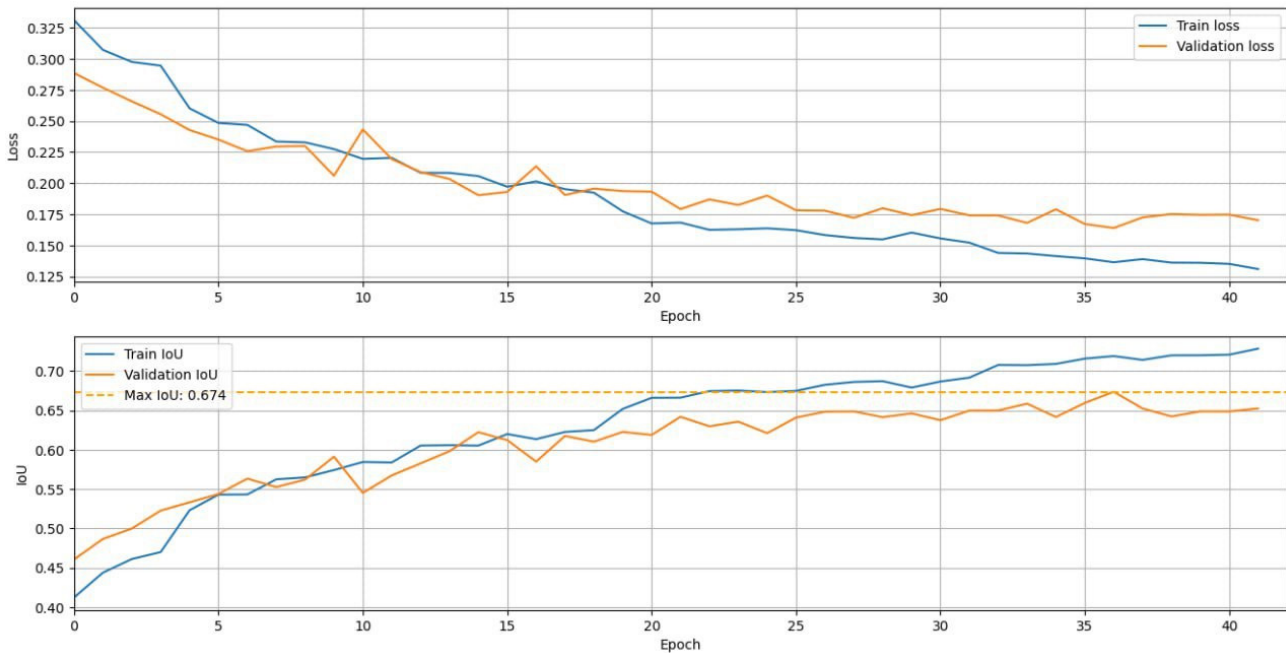


Рис. 3. Повышение эффективности распознавания дефектов плоской рулонной кровли в процессе обучения глубокой сверточной нейронной сети

Работа выполнена в рамках Программы «Приоритет 2030» на базе Белгородского государственного технологического университета

им. В.Г. Шухова с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

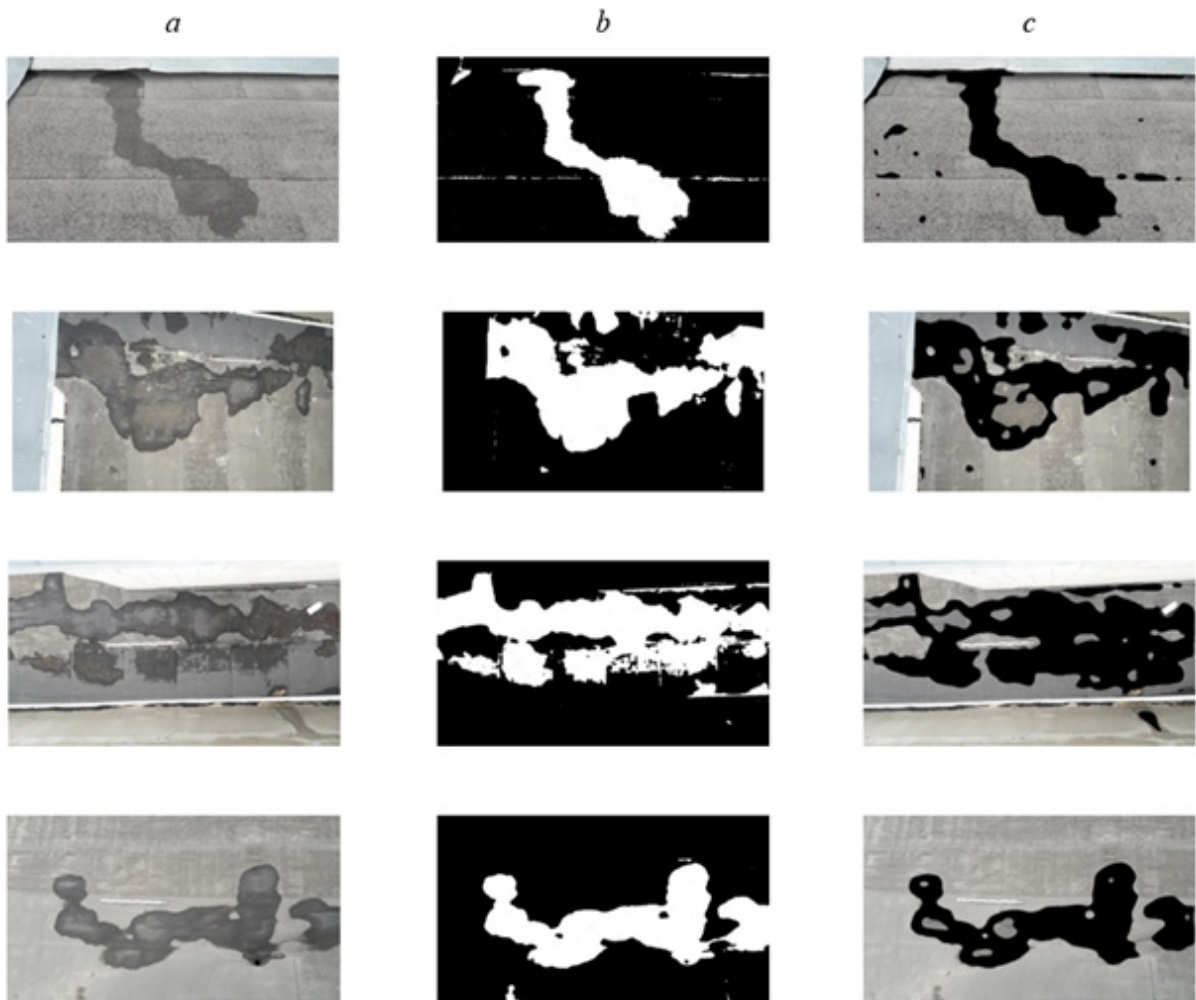


Рис. 4. Примеры распознавания дефектов:

a — исходное изображение, *b* — подготовленная бинарная маска (обучение); *c* — результаты работы нейронной сети

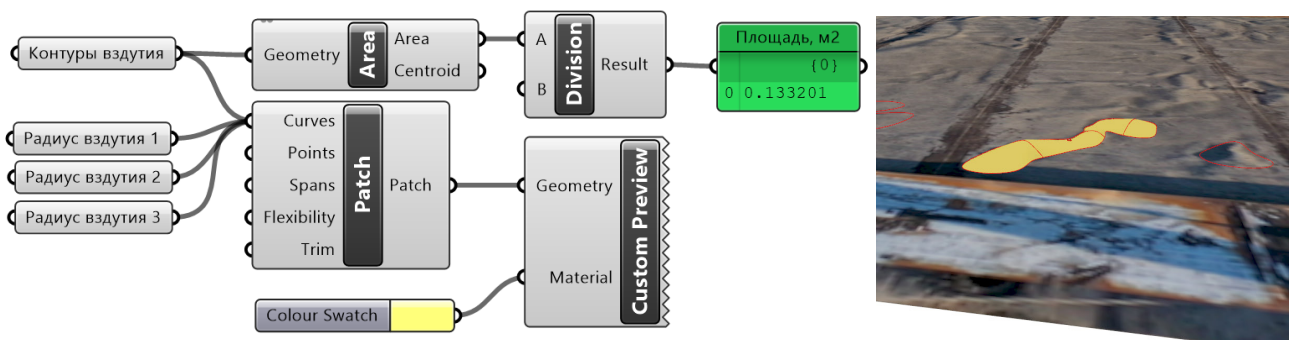


Рис. 5. Алгоритм и результата автоматизированного построения информационной модели дефекта-вздутия из распознанных нейронной сетью его контуров

Выводы

Проведенные исследования применимости нейронных сетей для автоматизации проведения строительно-технической экспертизы в части детектирования дефектов, определения их геометрических параметров, а также динамического мониторинга их развития весьма перспективно. Внедрение такой тех-

нологии позволит повысить скорость, качество, достоверность и проверяемость результатов экспертизы, позволит снизить стоимость жизненного цикла отдельных строительных конструкций и здания в целом путем рационального инвестирования в текущие и капитальные ремонты с целью продления сроков безотказной эксплуатации строительных конструкций.

Список литературы

- Filatova, D. A Crack Detection System for Structural Health Monitoring Aided by a Convolutional Neural Network and Mapreduce Framework / D. Filatova, Ch. El-Nouty // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. — 2020. — Vol. 16, No. 4. — P. 38-49. — DOI 10.22337/2587-9618-2020-16-4-38-49. — EDN GOCETM.
- Filatova, D. High-Throughput Deep Learning Algorithm for Diagnosis and Defects Classification of Waterproofing Membranes / D. Filatova, U. V. Punko, Ch. El-Nouty // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. — 2020. — Vol. 16, No. 2. — P. 26-38. — DOI 10.22337/2587-9618-2020-16-2-26-38. — EDN CGFQEW.
- Object Detection with Deep Neural Networks for Reinforcement Learning in the Task of Autonomous Vehicles Path Planning at the Intersection / D. A. Yudin, A. Krishtopik, I. Belkin [et al.] // 2019. — Vol. 28, No. 4. — P. 283-295. — DOI 10.3103/S1060992X19040118. — EDN UCHGBP.
- Obolewicz, Jerzy & Baryka, Adam. (2021). Life cycle engineering of a construction object. In *ynieria Bezpiecze stwa Obiekt w Antropogenicznych*. DOI 11-20. 10.37105/iboa.115.
- Rezanov, A. Deep Neural Networks for Ortophoto-Based Vehicle Localization / A. Rezanov, D. Yudin // Studies in Computational Intelligence. — 2021. — Vol. 925 SCI. — P. 167-174. — DOI 10.1007/978-3-030-60577-3_19. — EDN TOBLCF.
- Roof Defect Segmentation on Aerial Images Using Neural Networks / D. A. Yudin, V. Adeshkin, A. V. Dolzhenko [et al.] // 2021. — Vol. 925 SCI. — P. 175-183. — DOI 10.1007/978-3-030-60577-3_20. — EDN OPHRID.
- Гареев, И. Ф. Внедрение цифровых технологий на этапах жизненного цикла объектов жилой недвижимости / И. Ф. Гареев, Н. Н. Мухаметова // Жилищные стратегии. — 2018. — Т. 5, № 3. — С. 305-322. — DOI 10.18334/zhs.5.3.39692. — EDN YRLKJV.
- Гинзбург, А. В. Возможности искусственного интеллекта по повышению организационно-технологической надежности строительного производства / А. В. Гинзбург, А. И. Рыжкова // Вестник МГСУ. — 2018. — Т. 13, № 1(112). — С. 7-13. — DOI 10.22227/1997-0935.2018.1.7-13. — EDN XCIOMJ.
- Гнам, П. А. Анализ методик технического обследования объектов с целью определения их физического износа / П. А. Гнам // AlfaBuild. — 2019. — № 4(11). — С. 7-22. — EDN RQVYXK.
- Годунов, А. И. Сегментация изображений и распознавание объектов на основе технологии сверточных нейронных сетей / А. И. Годунов, С. Т. Балаян, П. С. Егоров // Надежность и качество сложных систем. — 2021. — № 3(35). — С. 62-73. — DOI 10.21685/2307-4205-2021-3-8. — EDN GUZZTD.
- Грабовый, П. Г. Система экспертиз недвижимости и их содержание / П. Г. Грабовый // Цифровое будущее инновационной экономики России : межвузовский сборник научных трудов и результатов совместных научно-исследовательских проектов. — Москва : Издательство «Аудитор», 2018. — С. 89-95. — EDN XMTQQP.
- Грабовый, П. Г. Управление недвижимостью в России на современном этапе: теория, практика, перспективы развития / П. Г. Грабовый // Недвижимость: экономика, управление. — 2007. — № 1-2. — С. 9-10. — EDN NULOXN.
- Жолобов, А. Л. Систематизация методов увеличения срока службы строительных конструкций / А. Л. Жолобов, Е. А. Жолобова // Научное обозрение. — 2014. — № 10-3. — С. 633-636. — EDN TLAVFN.
- Жолобов, А. Л. Современные технологические решения по ремонту многослойных кровель / А. Л. Жолобов // Вестник гражданских инженеров. — 2008. — № 4(17). — С. 55-62. — EDN JVMPOX.
- Модель глубокой сверточной нейронной сети в задаче сегментации трещин на изображениях асфальта / Б. В. Соболев, А. Н. Соловьев, П. В. Васильев, Л. А. Подколзина // Вестник Донского государственного технического университета. — 2019. — Т. 19, № 1. — С. 63-73. — DOI 10.23947/1992-5980-2019-19-1-63-73. — EDN DMPFGM.
- Наумов, А. Е. Совершенствование технологии проведения строительно-технических экспертиз с использованием аппаратно-программного комплекса автоматизированной дефектоскопии / А. Е. Наумов, Д. А. Юдин, А. В. Долженко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2019. — № 4. — С. 61-69. — DOI 10.34031/article_5cb824d26344e7.45899508. — EDN FHPDTK.
- О концепции развития нормативно-технической базы строительных объектов в период их эксплуатации / В. И. Травуш, В. В. Гурьев, А. Н. Дмитриев [и др.] // Academia. Архитектура и строительство. — 2021. — № 1. — С. 121-133. — DOI 10.22337/2077-9038-2021-1-121-133. — EDN RHMCWM.
- Сысоев, А. К. О причинах преждевременного разрушения кровель из полимерных мембран / А. К. Сысоев, Е. А. Жолобова, А. Л. Жолобов // Инженерный вестник Дона. — 2021. — № 5(77). — С. 81-87. — EDN YPOLJX.
- Юдин, Д. А. Программный комплекс автоматизированной разметки изображений с применением нейросетевого детектирования объектов / Д. А. Юдин, В. В. Прахов // Опτικο-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов и обработки изображений. Распознавание — 2019 : сборник материалов XV Международной научно-технической конференции, Курск, 14–17 мая 2019 года. — Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. — С. 205-207. — EDN RTETTX.
- Ярцев, В. П. Прогнозирование долговечности кровельных битумно-полимерных композитов / В. П. Ярцев, М. В. Долженкова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. — 2012. — Т. 18, № 4. — С. 1042-1050. — EDN PRGISZ.

References

1. Filatova, D. A Crack Detection System for Structural Health Monitoring Aided by a Convolutional Neural Network and Mapreduce Framework / D. Filatova, Ch. El-Nouty // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. — 2020. — Vol. 16, No. 4. — P. 38-49. — DOI 10.22337/2587-9618-2020-16-4-38-49. — EDN GOCETM.
2. Filatova, D. High-Throughput Deep Learning Algorithm for Diagnosis and Defects Classification of Waterproofing Membranes / D. Filatova, U. V. Punko, Ch. El-Nouty // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. — 2020. — Vol. 16, No. 2. — P. 26-38. — DOI 10.22337/2587-9618-2020-16-2-26-38. — EDN CGFQEW.
3. Object Detection with Deep Neural Networks for Reinforcement Learning in the Task of Autonomous Vehicles Path Planning at the Intersection / D. A. Yudin, A. Krishtopik, I. Belkin [et al.] // 2019. — Vol. 28, No. 4. — P. 283-295. — DOI 10.3103/S1060992X19040118. — EDN UCHGBP.
4. Obolewicz, Jerzy & Baryka, Adam. (2021). Life cycle engineering of a construction object. In *ynieria Bezpiecze stwa Obiekt w Antropogenicznych*. DOI 11-20. 10.37105/iboa.115.
5. Rezanov, A. Deep Neural Networks for Orthophoto-Based Vehicle Localization / A. Rezanov, D. Yudin // Studies in Computational Intelligence. — 2021. — Vol. 925 SCI. — P. 167-174. — DOI 10.1007/978-3-030-60577-3_19. — EDN TOBLCF.
6. Roof Defect Segmentation on Aerial Images Using Neural Networks / D. A. Yudin, V. Adeshkin, A. V. Dolzhenko [et al.] // 2021. — Vol. 925 SCI. — P. 175-183. — DOI 10.1007/978-3-030-60577-3_20. — EDN OPHRID.
7. Gareev, I. F. The introduction of digital technologies at the stages of the life cycle of residential real estate / I. F. Gareev, N. N. Mukhametova // Housing strategies. — 2018. — v. 5, № 3. — p. 305-322. — DOI 10.18334/zhs.5.3.39692. — EDN YRLKJV.
8. Ginsburg, A. V. Opportunities and intellectual capacity of the most important organizational and technological reliability of the construction industry (s). V. Ginsburg, A. And. Mgsu newspaper. — 2018. — v. 13, № 1(112). — p. 7-13. — DOI 10.22227/1997-0935.2018.1.7-13. — EDN XCIOMJ.
9. Gnam P. A. Analysis of methods of technical inspection of objects in order to determine their physical wear / P. A. Gnam // AlfaBuild. — 2019. — № 4(11). — p. 7-22. — EDN RQVYXK.
10. Godunov, A. I. Image segmentation and object recognition based on convolutional neural network technology / A. I. Godunov, S. T. Balanyan, P. S. Egorov // Reliability and quality of complex systems. — 2021. — № 3(35). — p. 62-73. — DOI 10.21685/2307-4205-2021-3-8. — EDN GUZZTD.
11. Grabovy, P. G. The system of real estate expertise and their content / P. G. Grabovy // The digital future of the innovative economy of Russia: an interuniversity collection of scientific papers and the results of joint research projects. — Moscow : Auditor Publishing House, 2018. — p. 89-95. — EDN XMTQQP.
12. Grabovy, P. G. Real estate management in Russia at the present stage: theory, practice, development prospects / P. G. Grabovy // Real estate: economics, management. — 2007. — № 1-2. — p. 9-10. — EDN NULOXN.
13. Zholobov, A. L. Systematization of methods for increasing the service life of building structures / A. L. Zholobov, E. A. Zholobova // Scientific review. — 2014. — № 10-3. — p. 633-636. — EDN TLAVFN.
14. Zholobov, A. L. Modern technological solutions for the repair of multilayer roofs / A. L. Zholobov // Bulletin of Civil Engineers. — 2008. — № 4(17). — p. 55-62. — EDN JVMPOX.
15. A model of a deep convolutional neural network in the problem of crack segmentation on asphalt images / B. V. Sobol, A. N. Soloviev, P. V. Vasiliev, L. A. Podkolzina // Bulletin of the Don State Technical University. — 2019. — v. 19, № 1. — p. 63-73. — DOI 10.23947/1992-5980-2019-19-1-63-73. — EDN DMPFGM.
16. Naumov, A. E. Improvement of the technology of construction and technical expertise using hardware and software complex of automated flaw detection / A. E. Naumov, D. A. Yudin, A. V. Dolzhenko // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov — 2019. — № 4. — p. 61-69. — DOI 10.34031/article_5cb824d26344e7.45899508. — EDN FHPDTK.
17. On the concept of development of the regulatory and technical base of construction objects during their operation / V. I. Travush, V. V. Guryev, A. N. Dmitriev [et al.] // Academia. Architecture and construction. — 2021. — № 1. — p. 121-133. — DOI 10.22337/2077-9038-2021-1-121-133. — EDN RHMCWM.
18. Sysoev, A. K. On the causes of premature destruction of roofs made of polymer membranes / A. K. Sysoev, E. A. Zholobova, A. L. Zholobov // Engineering Bulletin of the Don. — 2021. — № 5(77). — p. 81-87. — EDN YPOLJX.
19. Yudin, D. A. Software package for automated image markup using neural network object detection / D. A. Yudin, V. V. Prakhov // Optoelectronic devices and devices in image recognition and image processing systems. Recognition - 2019 : Proceedings of the XV International Scientific and Technical Conference, Kursk, May 14-17, 2019. — Kursk: Southwest State University, 2019. — p. 205-207. — EDN RTETTX.
20. Yartsev, V. P. Forecasting the durability of roofing bitumen-polymer composites / V. P. Yartsev, M. V. Dolzhenkova // Bulletin of the Tambov State Technical University. — 2012. — v. 18, № 4. — p. 1042-1050. — EDN PRGISZ.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДОМАШНИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

УДК 681.5

Коротеев Дмитрий Дмитриевич

канд. техн. наук, доцент, Московский государственный строительный университет (кафедра технологий и организации строительного производства), г. Москва, Россия;
KoroteevMGSU@yandex.ru

Коротеева Татьяна Александровна

ведущий инженер, ФГУП «Центральные научно-реставрационные проектные мастерские», г. Москва, Россия;
Zakaruchka@inbox.ru

Хуан Цзюежу

аспирант, Российский университет дружбы народов (Департамент строительства), г. Москва, Россия;
huangjueru52@qq.com

Статья получена: 02.04.2023. Одобрена: 18.05.2023. Опубликовано онлайн: 27.06.2023 © РИОР

Аннотация. Сокращение энергопотребления объектами капитального строительства на всех стадиях их жизненного цикла является актуальной задачей для строительной отрасли и жилищно-коммунального комплекса. В статье рассматриваются пути сокращения энергозатрат при эксплуатации жилых зданий. Целью исследования является разработка методики прогнозирования энергозатрат при использовании системы управления домашнего энергопотребления на основе метода машинного обучения. Все устройства, входящие в систему «умного дома» разделены на три типа, для каждого из них описана методика расчёта энергопотребления. Ал-

горитм работы системы управления домашним энергопотреблением заключается в получении от поставщика энергоресурсов информации об их стоимости на час вперед, расчете энергозатрат всех устройств и прогнозировании энергопотребления на основе метода машинного обучения с подкреплением. Эффективность выбранного метода и достоверность прогнозирования оценивалась путем сопоставления результатов с реальными затратами за выбранный временной период, а также вычисления средней абсолютной ошибки и средней абсолютной ошибки в процентах. Результаты исследования свидетельствуют об перспективности применения метода машин-

FORECASTING ENERGY CONSUMPTION IN HOME ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS USING MACHINE LEARNING METHOD

Koroteev Dmitry

PhD in Engineering, Associate Professor, Moscow State University of Civil Engineering (Kafedra tehnologii i organizacii stroitel'nogo proizvodstva), Moscow, Russian Federation;
KoroteevMGSU@yandex.ru

Koroteeva Tatiana

Leading Engineer, Federal State Unitary Enterprise «Central Scientific and Restoration Design Workshops», Moscow, Russian Federation;
Zakaruchka@inbox.ru

Huang Jueru

graduate student, Peoples' Friendship University of Russia (Department of Civil Engineering), Moscow, Russian Federation;
huangjueru52@qq.com

Abstract: Reducing energy consumption by capital construction projects at all stages of their life cycle is an urgent task for the construction industry and the housing and communal complex. The

article discusses ways to reduce energy costs in the operation of residential buildings. The aim of the study is to develop a methodology for predicting energy costs when using a home energy management system based on the machine learning method. All devices included in the «smart home» system are divided into three types, for each of them a method for calculating energy consumption is described. The algorithm of the home energy management system is to receive information from the energy supplier about their cost an hour in advance, calculate the energy consumption of all devices and predict energy consumption based on the reinforcement machine learning method. The effectiveness of the chosen method and the reliability of forecasting were evaluated by comparing the results with real costs for the selected time and calculating the average absolute error and the average absolute error in percent. The results of the study indicate the promise of using the method of machine learning with reinforcement to build a home energy management system based on forecasting energy consumption over time.

Keywords: home energy management system, reinforcement learning method, energy saving in construction, life cycle of capital construction projects

ного обучения с подкреплением для выстраивания системы управления домашним энергопотреблением на основе прогнозирования энергозатрат во времени.

Ключевые слова: система управления домашним энергопотреблением, метод машинного обучения с подкреплением, энергосбережение в строительстве, жизненный цикл объектов капитального строительства

Введение

Снижение энергетических затрат объектами капитального строительства является актуальным на всех стадиях их жизненного цикла, особенно на наиболее продолжительной стадии — эксплуатации здания. Это связано с тем, что строительная отрасль и жилищно-коммунальный комплекс являются одними из крупнейших потребителей энергетических ресурсов и испытывают повышенный спрос на энергию, который приводит к увеличению расходов на развитие и укрепление энергетической инфраструктуры [1, 2].

Снижение энергозатрат объектами капитального строительства возможно за счет выстраивания системы разумного энергопотребления и применения альтернативных источников энергии как на эксплуатационной, так и на других стадиях их жизненного цикла [3, 4].

В последние годы в странах с развитой экономикой происходит сокращение государственного регулирования оптового рынка энергии и открытие новых возможностей для автономных производителей и поставщиков энергии, что приводит к изменению способов продажи и покупки энергетических ресурсов [5]. Устойчивый тренд на снижение энергопотребления в строительном секторе наблюдается и в нашей стране, что подтверждается принятым в 2009 году Федеральным Законом РФ №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», изданным в 2011 году Приказом Министерства регионального развития РФ №161 «Об утверждении Правил определения классов энергетической эффективности многоквартирных домов и Требований к указателю класса энергетической эффективности многоквартирного дома, размещаемого на фасаде многоквартирного дома», а также рядом других документов [6].

Для выстраивания системы разумного энергопотребления операторы энергетической инфраструктуры, прежде всего электросетей, внедряют гибкое тарифное планирование и программы регулирования

спроса на энергию, сокращающие энергозатраты в определённые промежутки времени и выстраивающие баланс между спросом и предложением [7].

Гибкое тарифное планирование позволяет менять тарифы на электроэнергию в зависимости от времени суток, дня недели и месяца. В него входят пиковые, средние и непииковые периоды. Подобный подход предоставляет потребителю возможность сместить потребление электроэнергии на более дешёвые периоды, тем самым контролируя свое энергопотребление [8]. Несмотря на то, что гибкое тарифное планирование снижает пиковое потребление энергии, оно может привести к такому же или даже большему энергопотреблению в непииковые часы.

Программы регулирования спроса могут быть оощрительными, предоставляющими потребителям льготные условия использования энергии при уровне потребления меньше установленного порога, и принудительными, предусматривающими как значительное увеличение цен на энергию при превышении лимита, так и принудительное ограничение доступа к энергоресурсам [9, 10]. Программное обеспечение, реализующее подобные алгоритмы, может быть использовано коммунальными службами, управляющими компаниями и т.п.

В последнее время начали появляться системы управления домашним энергопотреблением, позволяющие выстроить максимально гибкий баланс спроса и предложения для каждого отдельного потребителя. Они объединяются в общую систему «умного дома» и позволяют учитывать энергопотребление каждого потребителя в общей программе регулирования спроса многоквартирных домов [11-13].

Целью исследования является разработка методики прогнозирования энергозатрат в системах управления домашним энергопотреблением с применением методов машинного обучения.

Объектом исследования являются системы управления домашним энергопотреблением. Предметом исследования является применение методов машинного обучения в работе систем управления домашним энергопотреблением.

Методология

Для прогнозирования энергозатрат в системах управления домашним энергопотреблением был выбран метод машинного обучения с подкреплением, предполагающий обучение на своем опыте и адаптацию для достижения наилучших результатов [14]. Планирование энергопотребления выполняется с

использованием многоагентного обучения, при этом каждое домашнее устройство представляет собой среду, содержащую своего собственного агента с различными мерами и вознаграждениями [15, 16].

Выбранный алгоритм работы системы управления домашним энергопотреблением позволяет пользователю получить данные о стоимости энергии на 1 час вперед и прогнозировать предстоящие энергозатраты [17]. Вместе с прогнозированием предстоящих затрат метод машинного обучения с подкреплением используется для принятия оптимального решения для различных устройств с использованием децентрализованного подхода, при этом вычислительная нагрузка переносится с центрального оптимизатора на группу интеллектуальных агентов [18].

Система управления получает данные о стоимости энергии на час вперед от поставщиков энергоресурсов, при этом энергопотребление каждого n -го устройства в момент времени t можно описать уравнением (1).

$$E_{n,t} = e_{n,t} \quad (1)$$

где $n \in \{1, \dots, N\}$ — номер устройства от 1 до N ;
 $t \in \{1, \dots, T\}$ — момент времени (час в сутках от 1 до $T = 24$); $e_{n,t}$ — потребность в энергии n -го устройства в момент времени t .

Домашние устройства по своим техническим характеристикам и возможностям разделены на 3 группы:

1. С непереключаемой нагрузкой;
2. С переключаемой нагрузкой;
3. С регулируемой нагрузкой (освещение, кондиционирование).

Для устройств с непереключаемой нагрузкой стоимость энергопотребления определяется уравнением (2).

$$C_{n,t}^H = c_t E_{n,t}^H \quad (2)$$

где c_t — стоимость энергии в момент времени t , $E_{n,t}^H$ — потребление энергии n -го устройства с нерегулируемой нагрузкой в момент времени t .

Для устройств с переключаемой нагрузкой есть 2 положения: включено и выключено, энергопотребление при этом можно описать уравнением (3).

$$E_{n,t}^П = I_{n,t} e_{n,t}^П \quad (3)$$

где $I_{n,t}$ — текущее положение n -го устройства, $I_{n,t} = 1$ когда устройство в положении «включено», $I_{n,t} = 0$ когда устройство в положении «выключено».

Для устройств с переключаемой нагрузкой существует 2 типа стоимостных затрат: за потребление

энергии и дискомфорт, связанный с ожиданием запуска и завершения работы устройства (4-6).

$$C_{n,t}^П = c_t E_{n,t}^П + k_n (T_{n,н.р} - T_{n,нач}) \quad (4)$$

$$T_{n,нач} \leq T_{n,н.р} \leq [T_{n,кон} - T_{n,раб}] \quad (5)$$

$$T_{n,раб} \leq T_{n,кон} - T_{n,нач} \quad (6)$$

где k_n — коэффициент, учитывающий переключение режима работы;

$T_{n,нач}$ — время начала эксплуатации устройства;
 $T_{n,кон}$ — время окончания эксплуатации устройства;
 $T_{n,н.р}$ — время начала работы устройства;
 $T_{n,раб}$ — время, необходимое для выполнения устройством своей работы.

Устройства с регулируемой нагрузкой могут переходить из режима с наименьшим ($e_{n,min}$) к режиму с наибольшим ($e_{n,max}$) энергопотреблением по мере изменения цен, стоимость в данном случае можно определить по формулам (7-9).

$$E_{n,t}^P = e_{n,t}^P \quad (7)$$

$$e_{n,min} \leq e_{n,t}^P \leq e_{n,max} \quad (8)$$

$$C_{n,t}^P = c_t E_{n,t}^P + \beta_n (E_{n,t}^P - e_{n,max})^2 \quad (9)$$

Целью приборов этой группы является снижение энергозатрат пользователя, которое, однако, может привести к его дискомфорту при понижении режима работы устройства, что отражается переменной β_n .

Минимальные затраты на энергию и дискомфорт, связанные с изменением режима работы домашних устройств определяется по формуле (10).

$$\min \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \left\{ (1-\rho) P_t (E_{n,t}^H + E_{n,t}^П + E_{n,t}^P) + \rho \left[k_n (T_{n,н.р} - T_{n,нач}) + \beta_n (E_{n,t}^P - e_{n,max})^2 \right] \right\} \quad (10)$$

где ρ — переменная компромисса для достижения баланса между ценами на энергию и дискомфортом в соответствии с предпочтениями потребителя.

Эффективность метода оценивалась через среднюю абсолютную ошибку (MAE) и среднюю абсолютную ошибку в процентах (MAPE) между прогнозируемыми и реальными затратами на энергию в соответствии с уравнением (11) и (12).

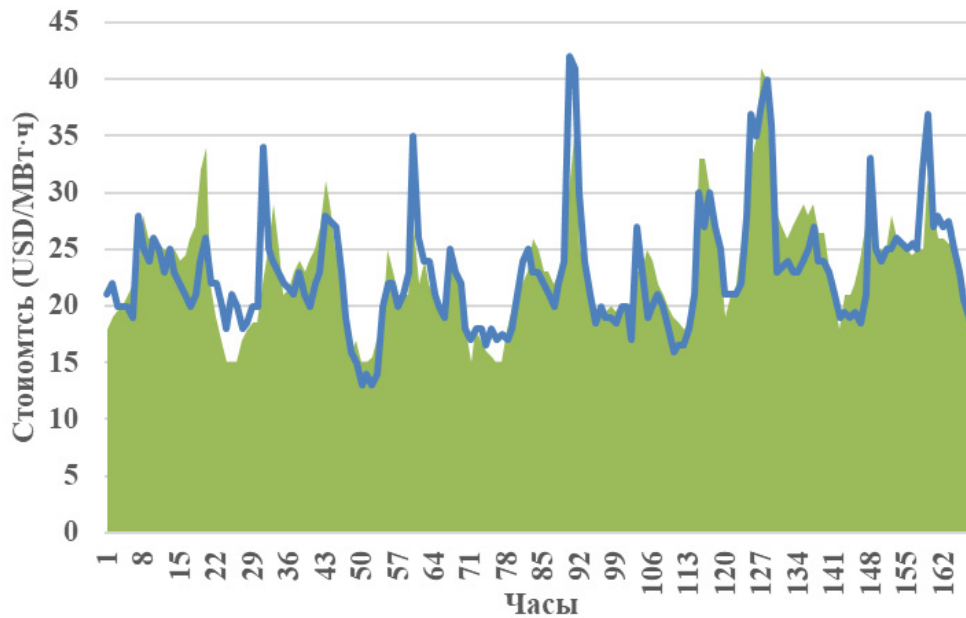


График реальных и прогнозируемых затрат в период с 22 по 28 февраля 2022 г.

$$MAE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |C_t - C_t^f| \quad (11)$$

$$MAPE = \frac{100}{T} \sum_{t=1}^T \frac{|C_t - C_t^f|}{C_t} \quad (12)$$

где C_t — реальная стоимость энергии;
 C_t^f — прогнозируемая стоимость энергии.

Результаты

Алгоритм работы системы запускается в начале дня, то есть в момент времени $t = 1$, при этом инициализируется номинальная мощность, время работы, переменная цены дискомфорта и переменная компромисса. Используя переменные, в каждый час t система обновляет входные данные использует метод машинного обучения с подкреплением для прогнозирования предстоящих затрат на следующий час. Затем система вычисляет оптимальное решение для всех устройств, используя прогнозируемые предстоящие затраты.

Метод машинного обучение с подкреплением протестирован с использованием информации о стоимости и мощности рынка электроэнергии, полученной из открытых источников с помощью расширения Data Miner. Информация для обучения была взята в период с 1 января 2022 г. по 21 февраля 2022 г., а затем

выполнено прогнозирование затрат в период с 22 по 28 февраля 2022 г. Архитектура используемой нейронной сети содержит 5 слоев: 1 входной слой с 18 нейронами, 3 скрытых слоя с 40, 20 и 10 нейронами и 1 выходной слой с 1 нейроном.

График иллюстрирует разницу между прогнозируемыми (зеленый цвет) и реальными (синий цвет) затратами за выбранный период времени.

Согласно графику, прогнозируемые затраты следуют той же тенденции, что и реальные затраты, при этом MAE составляет 2,12, а MAPE составляет 8,59%.

Заключение

Результаты сравнения прогнозируемых и реальных затрат, а также вычисленные средняя абсолютная ошибка и средняя абсолютная ошибка в процентах, не превышающая 10%, подтверждают применимость разработанной методики прогнозирования энергозатрат в системах управления домашним энергопотреблением с применением методов машинного обучения. Результаты исследования также свидетельствуют об перспективности применения метода машинного обучения с подкреплением для выстраивания системы управления домашним энергопотреблением на основе прогнозирования энергозатрат во времени.

Список литературы

- Hong, J. A Framework for Reducing Dust Emissions and Energy Consumption on Construction Sites / J. Hong, T. Hong, H. Kang, M. Lee // *Energy Procedia*. — 2019. — Vol. 158. — P. 5092-5096. — doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.637.
- Huang, J. Artificial intelligence for planning of energy and waste management / J. Huang, D. D. Koroteev // *Sustainable energy technologies and assessments*. — 2021. — Vol. 47. — P. 101426. — DOI 10.1016/j.seta.2021.101426.
- Tadeu, S. Eco-efficiency to support selection of energy conservation measures for buildings: A life-cycle approach / S. Tadeu, C. Rodrigues, P. Marques, F. Freire // *Journal of Building Engineering*. — 2022. — Vol. 61. — P. 105142. — doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105142.
- Shahrabi, E. Developing optimal energy management of energy hub in the presence of stochastic renewable energy resources / E. Shahrabi, S.M. Hakimi, A. Hasankhani, G. Derakhshan, B. Abdi // *Sustainable Energy, Grids and Networks*. — 2021. — Vol. 26. — P. 100428. — doi.org/10.1016/j.segan.2020.100428.
- Yan, X. A review on price-driven residential demand response / X. Yan, Y. Ozturk, Z. Hu, Y. Song // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. — 2018. — Vol. 96. — P. 411-419. — doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.003.
- Коротеев, Д. Д. Законодательство в сфере энергосбережения в строительстве / Д. Д. Коротеев // *Современные проблемы механики, энергоэффективность сооружений и ресурсосберегающие технологии: Сборник трудов научной школы-семинара молодых ученых и студентов с международным участием, Москва, 15–17 сентября 2015 года. — Москва: Российский университет дружбы народов, 2015. — С. 243-245.*
- Nguyen, H. Optimal demand side management scheduling-based bidirectional regulation of energy distribution network for multi-residential demand response with self-produced renewable energy / H. Nguyen, U. Safder, J. Loy-Benitez, C. Yoo // *Applied Energy*. — 2022. — Vol. 322. — P. 119425. — doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119425.
- Chen, Z. Multi-objective residential load scheduling approach for demand response in smart grid / Z. Chen, Y. Chen, R. He, J. Liu, M. Gao, L. Zhang // *Sustainable Cities and Society*. — 2022. — Vol. 76. — P. 103530. — doi.org/10.1016/j.scs.2021.103530.
- Li, S. Double-layer energy management system based on energy sharing cloud for virtual residential microgrid / S. Li, J. Zhu, Z. Chen, T. Luo // *Applied Energy*. — 2021. — Vol. 282. — P. 116089. — doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116089.
- Jasim, A.M. A new optimized demand management system for smart grid-based residential buildings adopting renewable and storage energies / A.M. Jasim, B.H. Jasim, A. Flah, V. Bolshev, L. Mihet-Popa // *Energy Reports*. — 2023. — Vol. 9. — P. 4018-4035. — doi.org/10.1016/j.egy.2023.03.038.
- Duman, A. C. A home energy management system with an integrated smart thermostat for demand response in smart grids / A. C. Duman, A. C. Erden, . G n l, . G ler // *Sustainable Cities and Society*. — 2021. — Vol. 65. — P. 102639. — doi.org/10.1016/j.scs.2020.102639.
- Aliero, M.S. Smart Home Energy Management Systems in Internet of Things networks for green cities demands and services / M.S. Aliero, K.N. Qureshi, M.F. Pasha, G. Jeon // *Environmental Technology & Innovation*. — 2021. — Vol. 22. — P. 101443. — doi.org/10.1016/j.eti.2021.101443.
- Gon alves, I. Optimizing the management of smart home energy resources under different power cost scenarios / I. Gon alves, . Gomes, C.H. Antunes // *Applied Energy*. — 2019. — Vol. 242. — P. 351-363. — doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.108.
- Сорокин, И. В. Анализ опыта применения методов машинного обучения в строительной отрасли России / И. В. Сорокин, А. В. Настычук // *Строительство и архитектура*. — 2023. — Т. 11, № 1. — С. 18. — DOI 10.29039/2308-0191-2022-11-1-18-18.
- Park, K. Multi-agent deep reinforcement learning approach for EV charging scheduling in a smart grid / K. Park, I. Moon // *Applied Energy*. — 2022. — Vol 328. — P. 120111. — doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120111.
- Wang, Y. Cooperative energy management and eco-driving of plug-in hybrid electric vehicle via multi-agent reinforcement learning / Y. Wang, Y. Wu, Y. Tang, Q. Li, H. He // *Applied Energy*. — 2023. — Vol. 332. — P. 120563. — doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120563.
- Lehna, M. Forecasting day-ahead electricity prices: A comparison of time series and neural network models taking external regressors into account / M. Lehna, F. Scheller, H. Herwartz // *Energy Economics*. — 2022. — Vol. 106. — P. 105742. — doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105742.
- Keles, D. Extended forecast methods for day-ahead electricity spot prices applying artificial neural networks / D. Keles, J. Scelle, F. Paraschiv, W. Fichtner // *Applied Energy*. — 2016. — Vol. 162. — P.218-230. — doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.087.

References

- Hong, J. A Framework for Reducing Dust Emissions and Energy Consumption on Construction Sites / J. Hong, T. Hong, H. Kang, M. Lee // *Energy Procedia*. — 2019. — Vol. 158. — P. 5092-5096. — doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.637.
- Huang, J. Artificial intelligence for planning of energy and waste management / J. Huang, D. D. Koroteev // *Sustainable energy technologies and assessments*. — 2021. — Vol. 47. — P. 101426. — DOI 10.1016/j.seta.2021.101426.
- Tadeu, S. Eco-efficiency to support selection of energy conservation measures for buildings: A life-cycle approach / S. Tadeu, C. Rodrigues, P. Marques, F. Freire // *Journal of Building Engineering*. — 2022. — Vol. 61. — P. 105142. — doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105142.
- Shahrabi, E. Developing optimal energy management of energy hub in the presence of stochastic renewable energy resources / E. Shahrabi, S.M. Hakimi, A. Hasankhani, G. Derakhshan, B. Abdi // *Sustainable Energy, Grids and Networks*. — 2021. — Vol. 26. — P. 100428. — doi.org/10.1016/j.segan.2020.100428.
- Yan, X. A review on price-driven residential demand response / X. Yan, Y. Ozturk, Z. Hu, Y. Song // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. — 2018. — Vol. 96. — P. 411-419. — doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.003.
- Koroteev, D.D. Legislation in the field of energy saving in construction / D.D. Koroteev // *Modern problems of mechanics, energy efficiency of buildings and resource-saving technologies: Proceedings of the scientific school-seminar of*

- young scientists and students with international participation, Moscow, September 15–17, 2015. — Moscow: Peoples' Friendship University of Russia, 2015. — P. 243-245.
7. Nguyen, H. Optimal demand side management scheduling-based bidirectional regulation of energy distribution network for multi-residential demand response with self-produced renewable energy / H. Nguyen, U. Safder, J. Loy-Benitez, C. Yoo // *Applied Energy*. — 2022. — Vol. 322. — P. 119425. — doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119425.
 8. Chen, Z. Multi-objective residential load scheduling approach for demand response in smart grid / Z. Chen, Y. Chen, R. He, J. Liu, M. Gao, L. Zhang // *Sustainable Cities and Society*. — 2022. — Vol. 76. — P. 103530. — doi.org/10.1016/j.scs.2021.103530.
 9. Li, S. Double-layer energy management system based on energy sharing cloud for virtual residential microgrid / S. Li, J. Zhu, Z. Chen, T. Luo // *Applied Energy*. — 2021. — Vol. 282. — P. 116089. — doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116089.
 10. Jasim, A.M. A new optimized demand management system for smart grid-based residential buildings adopting renewable and storage energies / A.M. Jasim, B.H. Jasim, A. Flah, V. Bolshev, L. Mihet-Popa // *Energy Reports*. — 2023. — Vol. 9. — P. 4018-4035. — doi.org/10.1016/j.egy.2023.03.038.
 11. Duman, A. C. A home energy management system with an integrated smart thermostat for demand response in smart grids / A. C. Duman, A. C. Erden, . G n l, . G ler // *Sustainable Cities and Society*. — 2021. — Vol. 65. — P. 102639. — doi.org/10.1016/j.scs.2020.102639.
 12. Aliero, M.S. Smart Home Energy Management Systems in Internet of Things networks for green cities demands and services / M.S. Aliero, K.N. Qureshi, M.F. Pasha, G. Jeon // *Environmental Technology & Innovation*. — 2021. — Vol. 22. — P. 101443. — doi.org/10.1016/j.eti.2021.101443.
 13. Gon alves, I. Optimizing the management of smart home energy resources under different power cost scenarios / I. Gon alves, . Gomes, C.H. Antunes // *Applied Energy*. — 2019. — Vol. 242. — P. 351-363. — doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.108.
 14. Sorokin, I.V. Analysis of the experience of applying machine learning methods in the Russian construction industry / I.V. Sorokin, A.V. Nastychuk // *Construction and Architecture*. — 2023. — Vol. 11. — No. 1(38). — P. 18. — DOI 10.29039/2308-0191-2022-11-1-18-18.
 15. Park, K. Multi-agent deep reinforcement learning approach for EV charging scheduling in a smart grid / K. Park, I. Moon // *Applied Energy*. — 2022. — Vol 328. — P. 120111. — doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120111.
 16. Wang, Y. Cooperative energy management and eco-driving of plug-in hybrid electric vehicle via multi-agent reinforcement learning / Y. Wang, Y. Wu, Y. Tang, Q. Li, H. He // *Applied Energy*. — 2023. — Vol. 332. — P. 120563. — doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120563.
 17. Lehna, M. Forecasting day-ahead electricity prices: A comparison of time series and neural network models taking external regressors into account / M. Lehna, F. Scheller, H. Herwartz // *Energy Economics*. — 2022. — Vol. 106. — P. 105742. — doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105742.
 18. Keles, D. Extended forecast methods for day-ahead electricity spot prices applying artificial neural networks / D. Keles, J. Scelle, F. Paraschiv, W. Fichtner // *Applied Energy*. — 2016. — Vol. 162. — P. 218-230. — doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.087.

ВЫБОР ЗЕМЕЛЬНОГО УЧАСТКА ПОД ЗАСТРОЙКУ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТИ

УДК 69.051: 004.8

Постнов Константин Владимирович

старший преподаватель, Московский государственный строительный университет (кафедра «Информационные системы, технологии и автоматизация в строительстве»), г. Москва, Россия; kovpost@gmail.com

Витько Никита Сергеевич

студент, Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия; nikitavitko@gmail.com

Статья получена: 05.05.2023. Одобрена: 08.06.2023. Опубликовано онлайн: 27.06.2023 © РИОР

Аннотация. Авторами статьи рассматриваются вопросы, связанные с предварительным выбором земельного участка для размещения объекта при проведении рекогносцировочных изысканий. Представлены и проанализированы алгоритмы предварительного выбора земельных участков для размещения объекта в заданном районе до и после внедрения нейросети. Исходный алгоритм носит принципиальный характер и направлен на предварительный выбор земельного участка (ЗУ) для размещения объекта в заданном районе с учетом возможных ограничений (природных, техногенных, функциональных и др.). Он является базой для построения следующего алгоритма, преобразующего необходимые данные для их использования в нейросети и обучающего ее процедурам выбора ЗУ.

Ключевые слова: земельный участок, алгоритм, ограничения, геоинформационная система, нейросеть, данные, обучение, программная среда, карты

Актуальность работы

Предварительный выбор земельного участка для размещения объекта зачастую оказывается для застройщика сложной задачей, особенно с учетом мно-

жество факторов, таких как природные, техногенные, функциональные, целевые, геометрические и многие другие. Применение сквозных цифровых технологий, в частности нейросетей, позволяет решить эту проблему максимально эффективно.

Используемые методы и подходы

Нейросеть представляет собой базу, на которой строятся многие системы искусственного интеллекта (ИИ). По сути, нейросеть является сложной программой, состоящей из огромного множества простых, каждая из которых «реагирует» на какой-то сигнал. Каждая из таких программ называется нейроном, а нейросеть становится гигантской сетью нейронов, объединенных в последовательные слои [1]. Нейрон — это элемент, который имитирует работу нейронов человеческого мозга. И в нейросети, и в мозге человека нейроны по отдельности примитивны, но, системно объединенные, могут научиться решать почти любую задачу [2].

Одним из главных преимуществ использования нейросети при предварительном выборе земельного участка для строительства объекта, является способ-

SELECTION OF A LAND PLOT FOR BUILDING USING A NEURAL NETWORK

Postnov Konstantin

Lecturer of the Department, Moscow State University of Civil Engineering (Department «Information Systems, Technologies and Automation in Construction»), Moscow, Russian Federation; kovpost@gmail.com

Vitko Nikita

student, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation; nikitavitko@gmail.com

Abstract. The authors of the article consider issues related to the preliminary selection of a land plot for the accommodation of the

object when conducting reconnaissance surveys. The algorithms of preliminary selection of land plots for placement of an object in a given area before and after introduction of a neural network are presented and analyzed. The initial algorithm is of a fundamental nature and is aimed at the preliminary selection of a land plot (LP) for the location of the object in a given area, taking into account possible limitations (natural, technogenic, functional, etc.). It is the basis for constructing the next algorithm, which converts the necessary data for their use in the neural network and teaches it the procedures of selection of the LP.

Keywords: land, algorithm, restrictions, geographic information system, neural network, data, training, application environment, maps

ность обрабатывать большие объемы данных [3]. Кроме того, нейросети могут обучаться на основе экспертного опыта и адаптироваться к изменяющимся условиям. Таким образом, точность нейросети возрастает по мере получения новых данных, что является важным преимуществом при предварительном выборе места для размещения объекта [4].

Поскольку размеры района, как правило, составляют десятки и сотни километров в меридиональном и широтном направлениях, а количество факторов, влияющих на возможность размещения объекта огромно, решение задачи выбора становится весьма нетривиальной задачей. Для её решения были разработаны алгоритмы, представляемые в данной статье и имеющие условные наименования «Алгоритм предварительного выбора ЗУ для размещения объекта в заданном районе до внедрения нейросети» и «Алгоритм предварительного выбора ЗУ для размещения объекта в заданном районе после внедрения нейросети» (представленные на рисунках 1-2).

Рассмотрим детально первый алгоритм под названием «Алгоритм предварительного выбора ЗУ для размещения объекта в заданном районе до внедрения нейросети», представленный на рисунке 1.

Прежде всего, необходимо выбрать программную среду обработки пространственных данных — геоинформационную систему (ГИС) (блок 1).

После выбора наиболее подходящей ГИС, необходимо загрузить данные непосредственно в программную среду для проведения анализа (блок 2). Это могут быть данные из военно-топографического управления, Роскартографии, а также внешние интернет-сервисы с геопропространственной информацией (блок 2.1) [5].

Затем, согласно техническому заданию на размещение объекта (блок 3.1), на цифровой карте местности определяются границы района, в котором будет проводиться предварительный выбор земельных участков (блок 3) [6-7].

Следующим шагом является сбор данных о заданном районе (блок 4) из всех возможных государственных баз данных (блок 4.1). На этом этапе происходит сбор данных о топографии района, включая высоты земли, рельеф и геоморфологические особенности; сбор информации о наличии промышленных объектов, административных зданий, торговых центров; сбор данных о землепользовании и зонировании в районе, включая назначение земли, ограничения и разрешения на использование земли; сбор данных о природной среде в районе, включая экологические

особенности, растительный и животный мир, гидрологические условия и другие параметры.

После сбора данных о заданном районе, осуществляется формирование ограничений для размещения объекта и их нанесение на карту (блок 5). Под ограничениями при этом понимаются свойства земельного участка и (или) прилегающей территории геофизического, климатического, правового, социального, политического экологического или иного характера, делающие невозможным (чрезвычайно дорогим или нежелательным по иным причинам) размещение на нём объекта [8].

Все имеющиеся ограничения при этом относятся к одной из следующих основных групп:

- Природные. Связаны с природными особенностями территории, такими как рельеф, геологические условия, климат, почвы и др.;
- Техногенные. Связаны с наличием технических объектов и коммуникаций на территории, таких как дороги, линии электропередач, водопроводные и канализационные сети, магистральные газопроводы и др.;
- Функциональные. Связаны с назначением земельных участков и допустимыми видами деятельности на них. Например, нельзя размещать жилые объекты на землях, предназначенных для промышленности или сельского хозяйства;
- Целевые. Связаны с назначением земельных участков и требованиями к их использованию, например, заповедные территории, зоны рекреации, лесничества и т.д.;
- Геометрические или пространственные. Связаны с ограничениями на площадь, форму и расположение земельных участков. Например, требования к минимальной площади участка, ширине дороги или расстоянию от соседних зданий.

После нанесения ограничений на карту в рамках заданного района производится поиск земель специального назначения (земли промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земли для обеспечения космической деятельности, земли обороны, безопасности и т.д. — блок 6) [9]. Если такие земли найдены, то они наносятся на карту (блок 7). Источниками исходных данных (блок 7.1) при этом являются:

- база данных о соединениях и частях МО РФ;
- публичная кадастровая карта Росреестра;
- государственный регистрационный центр по единому учету земельных участков, кадастра и картографии;
- районная администрация.

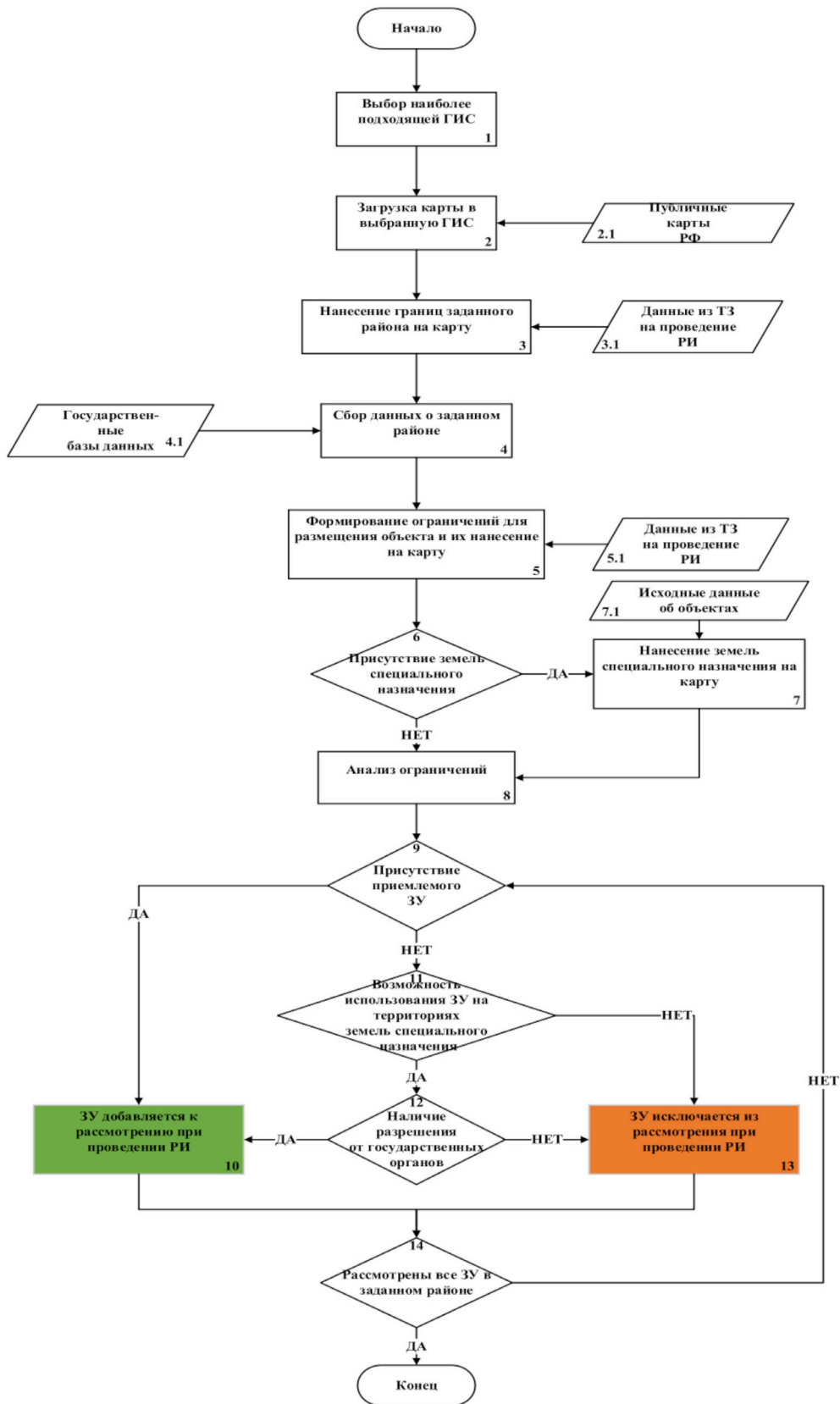


Рис. 1. Алгоритм предварительного выбора ЗУ для размещения объекта в заданном районе до внедрения нейросети

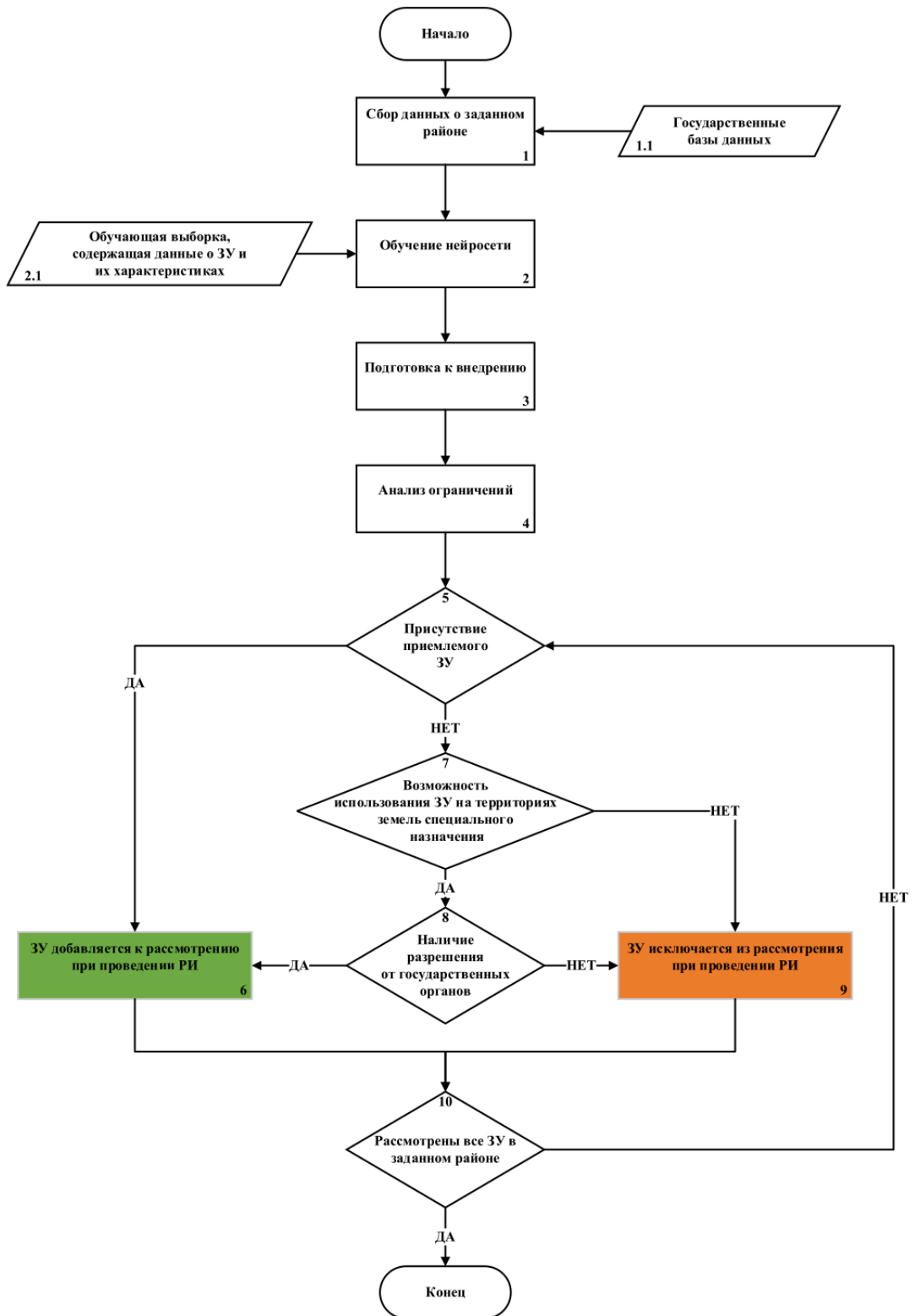


Рис. 2. Алгоритм предварительного выбора ЗУ для размещения объекта в заданном районе после внедрения нейросети

На следующем этапе происходит анализ ограничений (блок 8). При этом те земельные участки, которые попадают в зону действия того или иного ограничения (ограничений), исключаются из дальнейшего рассмотрения [10].

Земельные участки, свободные от ограничений, (информация по которым может быть получена на данном этапе рекогносцировочных изысканий) добавляются к рассмотрению при проведении РИ (блок 10) [11].

Если приемлемые земельные участки отсутствуют, рассматривается возможность разместить объект на землях специального назначения (блок 11). Если такой возможности нет, то земельный участок исключается из рассмотрения при проведении РИ (блок 13). Нежелательность использования некоторых земель специального назначения связана с возможным наличием ограничений прав на землю, значительными затратами времени на перевод земель из одной категории в другую, существенными материальными затратами на компенсационные выплаты собственникам земельных участков и другое [12].

На землях специального назначения требуются дополнительные согласования от государственных органов (блок 12). Если удалось получить такое разрешение, то земельный участок добавляется к рассмотрению при проведении РИ (блок 10). Если в результате процесса согласования был получен отказ от государственных органов, то земельный участок исключается из рассмотрения при проведении РИ (блок 13) [13].

Заключительным этапом является проверка на то, все ли земельные участки в заданном районе рассмотрены (блок 14). Если это так, то алгоритм завершается, если нет, то вновь осуществляется проверка на присутствие приемлемого земельного участка (блок 9) [14].

Следующий алгоритм — «Алгоритм предварительного выбора ЗУ для размещения объекта в заданном районе после внедрения нейросети», представленный на рисунке 2 — состоит в следующем.

Первым шагом является сбор данных о заданном районе (блок 1). Его логика соответствует шагу № 4 первого алгоритма, но есть исключение. Все собранные данные необходимо преобразовать в такой формат, который соответствует входным требованиям нейросети. Обычно нейросети работают с числовыми значениями и матрицами, поэтому данные должны быть представлены в числовой форме [15]. Процесс перевода данных в язык, понятный нейросети обычно включает в себя следующие шаги:

1. Преобразование текстовых данных в числовой формат. Если собранные данные включают текстовую

информацию, то необходимо преобразовать ее в числовой формат. Для этого можно использовать методы векторизации текста, такие как «мешок слов» (Bag-of-words) или TF-IDF (term frequency — inverse document frequency).

2. Масштабирование и нормализация данных. Нейросети часто работают лучше, когда данные находятся в одном диапазоне значений. Поэтому данные рекомендуется приводить к определенным диапазонам, например, от 0 до 1 или -1 до 1.

3. Кодирование категориальных переменных. Если собранные данные включают категориальные переменные, такие как тип земельного участка или категория рельефа, то их можно закодировать в числовые значения, например, с помощью метода one-hot encoding.

4. Удаление выбросов и обработка пропущенных данных. Перед использованием данных в нейросети рекомендуется выполнить обработку выбросов и пропущенных данных. Выбросы могут быть удалены или заменены более реалистичными значениями, а пропущенные данные могут быть заполнены с помощью различных методов, таких как заполнение средним или медианой по всем значениям в столбце.

5. Подготовка данных для обучения. Для обучения нейросети данные должны быть разделены на обучающую, проверочную и тестовую выборки. Обучающая выборка соответственно используется для обучения нейросети, проверочная выборка — для настройки гиперпараметров (это такие параметры, значение которых используются для управления процессом обучения), а тестовая выборка — для оценки общей производительности модели [16].

Далее происходит обучение нейросети (блок 2) на основе созданной обучающей выборки (2.1). На этом этапе нейросеть учится распознавать основные критерии и характеристики земельных участков, которые могут влиять на их пригодность для размещения объекта. Для достижения наилучших результатов, обучение нейросети может проводиться несколько раз, пока не будет достигнуто оптимальное соотношение между точностью и быстродействием модели [17]. На рисунке 3 приведен пример процесса обучения нейросети.

Подготовка к внедрению (блок 3) может включать в себя определение методов, которые будут использоваться для представления результатов предварительного выбора земельного участка, например, в виде списка пригодных участков с указанием их оценок по каждому критерию.

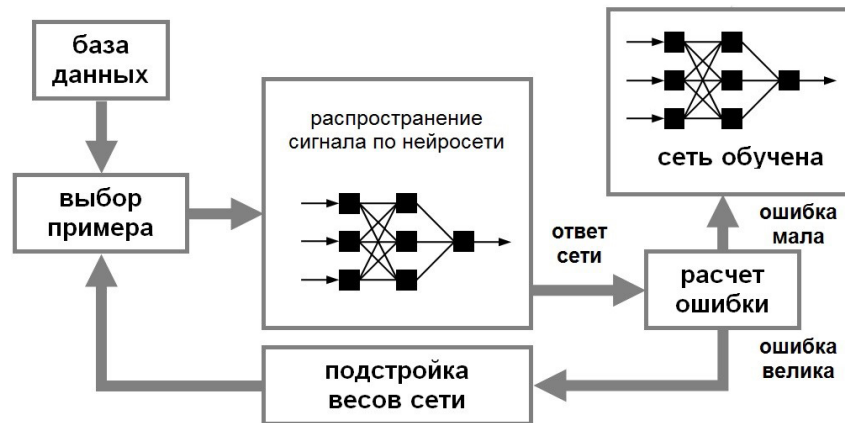


Рис. 3. Процесс обучения нейросети

Все оставшиеся блоки (то есть блоки № 4-10) аналогичны по логике блокам № 8-14 первого алгоритма, однако, в отличие от первого алгоритма, на этом этапе используется нейросеть, которая принимает и анализирует входные данные, обрабатывает их и выдает результат.

Выводы

Представленные в статье алгоритмы позволяют упростить процедуру выбора участков для их последующего углублённого изучения и отсеять заведомо неподходящие земельные участки, а также выделить в заданном районе те участки, которые могут быть рассмотрены углубленно при выезде в район проведения рекогносцировочных изысканий.

В «Алгоритм предварительного выбора ЗУ для размещения объекта в заданном районе после вне-

дрения нейросети» вся работа делегируется нейросети. С ее помощью можно увеличить точность и скорость обработки больших объемов данных, что сокращает время, затрачиваемое на выбор подходящего земельного участка. В некоторых случаях это может привести к сокращению времени выбора земельных участков до нескольких дней или даже недель.

Эффективность внедрения нейросети зависит от многих факторов, таких как качество и количество данных, использованных для обучения нейросети, качество разработки и реализации алгоритма, а также характеристики конкретного района и типа объекта, который необходимо разместить. В целом, эффективность внедрения нейросети составляет от 10% до 24% или более, в зависимости от конкретных условий и задач.

Список литературы

1. Ростовцев В.С. Искусственные нейронные сети. — М.: Диалектика-Вильямс, 2021. — 216 с.
2. Николенко С. И., Кадури А. А., Архангельская Е. О. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. — М.: Питер, 2020. — 407 с.
3. Джоши П. Искусственный интеллект с примерами на Python. — М.: Диалектика-Вильямс, 2019. — 349 с.
4. Рашид Т. Создаем нейронную сеть — М.: Печатная книга, 2017. — 272 с.
5. Ситков Р.А. База данных на основе геоинформационной системы, формируемая по результатам проведения рекогносцировочных изысканий, назначение и предъявляемые требования // Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. — 2020. С. 114-119. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44038068> (дата обращения 22.04.2023)
6. Давиденко Ю.В. Методология выбора земельного участка, как объекта недвижимости // Юго-Западный государственный университет. — 2020. С. 63-64. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42979749> (дата обращения 18.04.2023)
7. Чумакова О.В. Правовой механизм формирования земельных участков под строительство // Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. — 2019. С. 117-125. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41195949> (дата обращения 19.04.2023)
8. Лиманская А.П. Основания ограничений прав на земельные участки // ФГБОУ ВО «Московский государственный юридический университет им. О.Е. Кутафина» (МГЮА). — 2022. С. 87-92. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48524003> (дата обращения 23.04.2023)
9. Гошко Д.К., Землянухина С.К. Категории земель и их целевое назначение в РФ // Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина. — 2021. С. 134-137. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46507969> (дата обращения 22.04.2023)
10. Земельный кодекс РФ: Федеральный закон [принят Гос. Думой 25.10.2001] №136-ФЗ. // Собрание законодательства РФ. 2001. №44. Ст. 4147
11. Рождайкина Е.И. Земли в пределах зон с особыми условиями использования земель в составе земель промышлен-

- ности и иного специального назначения // Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. — 2019. С. 195-199. [URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42520512> (дата обращения 23.04.2023)]
12. Ситков Р.А., Сальников В.М., Ситников А.В., Щельников В.Н. Анализ современной практики проведения рекогносцировочных изысканий и выбора участка под строительство объектов специального назначения // ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского». — 2016. С. 717-721. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28130973> (дата обращения 23.04.2023)
 13. Короткова О.И. О распоряжении земельными участками, государственная собственность на которые не разграничена // Орловский государственный университет. — 2011. С. 59-63. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16563881> (дата обращения 19.04.2023)
 14. Ситков Р.А., Ситников А.В., Тюрин Е.А. Алгоритм предварительного выбора земельных участков при проведении рекогносцировочных изысканий // Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. — 2020. С. 293-300. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43895273> (дата обращения 12.04.2023)
 15. Гафаров Ф.М., Галимянов А.Ф. Искусственные нейронные сети и их приложения // Издательство Казанского университета. — 2018. С. 121 URL: https://kpfu.ru/staff_files/F1493580427/NejronGafGal.pdf (дата обращения 15.04.2023)
 16. Сысоев Д.В. Введение в теорию искусственного интеллекта: учебное пособие // Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2014. — 171 с.
 17. Советов Б.Я. Интеллектуальные системы и технологии: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 230400 Информационные системы и технологии — М: Академия, 2013. — 320 с.

References

1. Rostovtsev V.S. Artificial Neural Networks. — Moscow: Dialectics-Williams, 2021. — P. 216
2. Nikolenko S. I., Kadurin A. A., Arkhangelskaya E. O. Deep Learning. Immersion in the world of neural networks. — Moscow: Peter, 2020. — P. 407.
3. Joshi P. Artificial intelligence with examples in Python. — Moscow: Dialectics-Williams, 2019. — P. 349
4. Rashid T. Creating a neural network — M.: Printed Book, 2017. — P. 272
5. Sitkov R.A. Database based on geoinformation system formed by the results of reconnaissance surveys, purpose and requirements // Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky. — 2020. P. 114-119. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44038068> (accessed 22.04.2023)
6. Davidenko Y.V. Methodology of the choice of a land plot as an object of real estate // Southwestern State University. — 2020. P. 63-64. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42979749> (accessed 18.04.2023)
7. Chumakova O.V. Legal mechanism for the formation of land plots for construction // National Research Moscow State Construction University. — 2019. P. 117-125. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41195949> (accessed 19.04.2023)
8. Limanskaya A.P. Grounds for limitation of rights to land plots // Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Moscow State Law University named after O.E. Kutafin (MSALU). Kutafin Moscow State Law University. — 2022. P. 87-92. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48524003> (date of reference 23.04.2023)
9. Goshko D.K., Zemlyanukhina S.K. Categories of lands and their purpose in the Russian Federation // Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin. — 2021. P. 134-137. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46507969> (accessed 22.04.2023)
10. Land Code of the Russian Federation: Federal law [adopted by the State Duma on 25.10.2001] №136-FZ. // Sobranie zakonodatel'stva RF. 2001. №44. Art. 4147
11. Rozhdaykina E.I. Land within the zones of special conditions of land use as part of the lands of industrial and other special purposes // South Ural State University, Chelyabinsk. — 2019. P. 195-199. [URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42520512> (circulation date 23.04.2023)]
12. Sitkov R.A., Salnikov V.M., Sitnikov A.V., Schelnikov V.N. Analysis of modern practice of reconnaissance surveys and site selection for the construction of special purpose // FGBVOU VPO «Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky». — 2016. P. 717-721. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28130973> (accessed 23.04.2023)
13. Korotkova O.I. On the disposal of land plots, the state ownership of which is not delimited // Oryol State University. — 2011. P. 59-63. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16563881> (accessed 19.04.2023)
14. Sitkov R.A., Sitnikov A.V., Tyurin E.A. Algorithm of preliminary selection of land plots during reconnaissance surveys // Mozhaysky Military Space Academy. — 2020. P. 293-300. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43895273> (accessed 12.04.2023)
15. Gaфаров F.M., Galimyanov A.F. Artificial neural networks and their applications // Kazan University Press. — 2018. P. 121 URL: https://kpfu.ru/staff_files/F1493580427/NejronGafGal.pdf (date of reference 15.04.2023)
16. Sysoev D.V. Introduction to the theory of artificial intelligence: textbook // Voronezh: Voronezh State University of Architecture and Construction, EBS ASV, 2014. — P/171
17. Sovetov B.Y. Intellectual systems and technologies: textbook for students of higher education institutions studying in the direction of training 230400 Information systems and technologies — M: Academy, 2013. — P.320

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ С ЦЕЛЬЮ ПРЕДСКАЗАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ФАЗ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЭЛЕМЕНТОВ ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

УДК 004.65 : 696.117

Сигитов Андрей Александрович

аспирант, Московский государственный строительный университет, Москва, Россия;
SigitovAA@gic.mgsu.ru

Статья получена: 05.05.2023. Одобрена: 08.06.2023. Опубликовано онлайн: 27.06.2023 © РИОР

Аннотация. Введение. Технологии анализа «Больших данных» являются основой развития информационного общества. Хранение и обработка «Больших данных» требует значительных затрат вычислительной мощности, дорогостоящих систем хранения данных. В сфере строительства основным источником «Больших данных» являются технологии «Умного дома» и «Умного города». Разработка методики анализа больших данных, направлена на снижение затрат по эксплуатации элементов инженерного оборудования, своевременное обслуживание, с целью безаварийной эксплуатации. Представленную методику анализа можно распространить на любые элементы оборудования, собирающего данные о своей работе и состоянии. Материалы и методы. Используются данные из открытых источников. Данные для анализа получены от управляющей компании ООО «Южный». Предметом исследования является шаровый кран с электроприводом. Подготовка и визу-

ализация информации выполнялась при помощи Microsoft Office Excel. Результаты. Разработанная методика анализа больших данных с целью предсказания изменения фаз жизненного цикла элементов инженерного оборудования зданий и сооружений, по результатам предварительного анализа показала свою работоспособность. Высокую результативность в задаче выявления бракованных изделий продемонстрировал метод с использованием «Контрольных карт Шухарта». Применение методов кластерного и квалиметрического анализа в несвойственных для них сценариях, позволило предсказать изменение фаз жизненного цикла с приемлемой для задач исследования точностью. Выводы. Методика анализа основана на использовании современных алгоритмов. Сами алгоритмы часто используются в целях обработки больших данных. Научная новизна состоит в подходе к анализу, в котором в отличие от классических схем, где кластерный и квалиметрический

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR ANALYZING BIG DATA IN ORDER TO PREDICT CHANGES IN THE PHASES OF THE LIFE CYCLE OF ELEMENTS OF ENGINEERING EQUIPMENT OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Sigitov Andrei

graduate student, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation;
SigitovAA@gic.mgsu.ru

Abstract. Introduction. Big data analysis technologies are the basis for the development of the information society. Storage and processing of “Big data” requires significant expenditures of computing power, expensive data storage systems. In the field of construction, the main source of “Big data” is the technology of “Smart home” and “Smart city”. The development of a methodology for analyzing big data is aimed at reducing the cost of operating elements of engineering equipment, timely maintenance, with the aim of trouble-free operation. The presented analysis technique can be extended to any piece of equipment that collects data on its operation and condition. Materials and methods. Used data from open sources. The data for analysis were obtained from the management compa-

ny Yuzhny LLC. The subject of the study is an electric ball valve. Preparation and visualization of information was carried out using Microsoft Office Excel. Results. The developed methodology for analyzing big data in order to predict changes in the phases of the life cycle of elements of engineering equipment of buildings and structures, according to the results of a preliminary analysis, showed its efficiency. High performance in the task of identifying defective products was demonstrated by the method using Shewhart’s Control Charts. The use of cluster and qualimetric analysis methods in scenarios unusual for them made it possible to predict the change in the life cycle phases with an accuracy acceptable for research problems. Conclusions. The analysis technique is based on the use of modern algorithms. Algorithms themselves are often used to process big data. The scientific novelty lies in the approach to analysis, in which, unlike classical schemes, where cluster and qualimetric methods of analysis are used to find the best management solution, in this work, the purpose of the analysis is to search for equipment items close to a change in the phase of the life cycle.

Keywords: big data, life cycle, engineering equipment, data mining, cluster analysis, qualimetry, life cycle phases, predictive systems, Shewhart control charts

методы анализа используются для поиска наилучшего управленческого решения, в данной работе целью анализа, является поиск элементов оборудования близких к изменению фазы жизненного цикла.

Ключевые слова: большие данные, жизненный цикл, инженерное оборудование, интеллектуальный анализ данных, кластерный анализ, квалиметрия, фазы жизненного цикла, системы прогнозирования, контрольные карты Шухарта

Введение

В современной науке достаточно широкое распространение получили подходы, связанные с обработкой, хранением и анализом больших массивов данных. Такое направление, связанное с изменением технологии обработки и анализа данных, с развитием распределенных систем хранения и обработки информации, с уходом от традиционных баз и банков, получил общее наименование «Big Data» (большие данные) [1-3]. Термин «Data Mining», который часто переводится как «Интеллектуальный анализ данных» или «Раскопка данных», описывает систему поиска закономерностей и, возможно, прогнозирования тенденций проявления данных.

Научный интерес к этой области знаний возрастает год от года. В качестве примера можно привести несколько наиболее значимых статей за последние годы: Lu W., «Big data analytics to identify illegal construction waste dumping: A Hong Kong study.»; Zhang, Z. and Xie, X «Towards testing big data analytics software: the essential role of metamorphic testing»; Youssra Riahi, Sara Riahi «Big Data and Big Data Analytics: Concepts, Types and Technologies»; Blazquez, D. and Domenech, J., «Big Data sources and methods for social and economic analyses»; Breed, D.G. and Verster, T., «An empirical investigation of alternative semi-supervised segmentation methodologies.»; Lekhwar, S., Yadav, S. and Singh, A., 2019. Lekhwar, S., Yadav, S. and Singh, A., «Big Data Analytics in Retail» [4-9].

Всё чаще такой подход применяется и в строительстве в связи с дальнейшим развитием цифровых технологий в отрасли «Умного дома» [10-16].

В качестве примера такого подхода рассмотрим методику анализа больших данных с целью предсказания изменения фаз жизненного цикла элементов инженерного оборудования зданий и сооружений, которая, в итоге, направлена на снижение издержек при проектировании и реализации систем инженерного оборудования зданий за счёт отказа от многоуровневого дублирования, упрощение работы обслу-

живающего персонала снижения аварийности в процессе эксплуатации зданий и сооружений. Данное исследование является развитием идей, представленных автором в статье «Predicting the Elements Operation of Buildings' Engineering Equipment Using the Big Data Analysis Technologies» [17].

Материалы и методы

Данные для анализа получены от управляющей компании ООО «Южный», путём оцифровки сведений, содержащихся в рабочих и аварийных журналах. В качестве предмета исследования использовались данные о установленных в жилых домах шаровых кранах с электроприводом, регистрирующих своё текущее состояние и ежедневно отправляющие данные по своему состоянию в управляющую компанию.

Структура приложения включает шесть основных блоков.

1. База данных, — в блоке хранятся данные необходимые для анализа;

2. Блок «Предварительной оценки», — где с использованием «контрольных карт Шухарта» отделяются данные по бракованным и наиболее удачным устройствам, вышедшим из эксплуатации;

3. Блок «Эталонная модель стандартная», — где с использованием метода кластерного анализа моделируется динамическая эталонная модель на основе данных, собранных с устройств, вышедших из строя в процессе эксплуатации;

4. Блок «Эталонная модель брак», — где с использованием метода кластерного анализа моделируется динамическая эталонная модель на основе данных, собранных с устройств, вышедших из строя в результате допущенного брака;

5. «Блок предсказания стандартный» — в блоке на основании эталонной модели и исходных данных из первого блока, с использованием квалиметрического и экспертного анализа, прогнозируются сроки выхода изделий из строя и формируются рекомендации сервисным службам для их проверки или замены;

6. «Блок предсказания брак», — в блоке на основании эталонной модели и исходных данных из первого блока, с использованием квалиметрического и экспертного анализа, прогнозируются сроки выхода изделий из строя и формируются рекомендации сервисным службам для их первоочередной проверки или замены (рис. 1).

Алгоритм работы приложения (рис. 2):

Внешние данные поступают в логический блок, где проверяется, является ли изделие работающим?

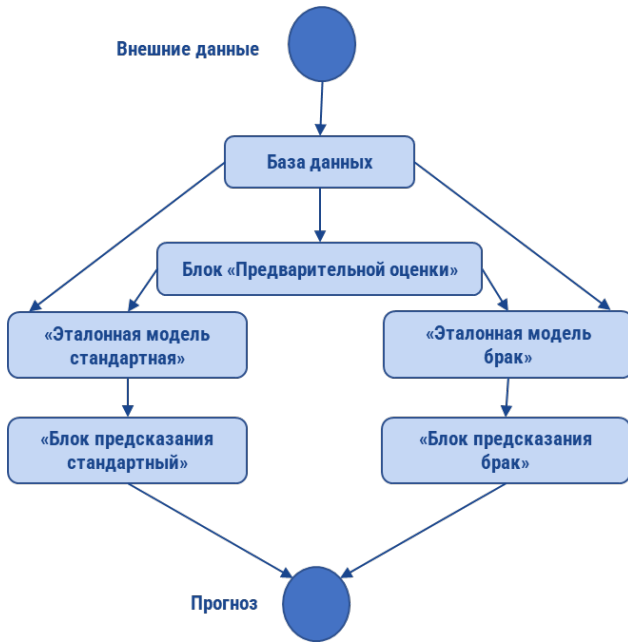


Рис. 1. Структура приложения

Если оно работает, передаём данные в блок прогнозирования. Если устройство не работает, снимаем дампы данных и передаём в следующий логический блок, где с использованием метода «Контрольных карт Шухарта» определяется является ли вышедшее изделие браком [18]. Если устройство вышло из строя штатно, данные передаются в модуль перерасчёта «Эталонной модели стандартной» с использованием метода «Кластерного анализа» [19]. Данные, полученные от работающего изделия, обрабатываются

методом «Квалиметрического анализа» с эталоном, полученным в блоке «Эталонная модель стандартная» [20]. Если полученные данные приближаются к эталонной модели, выдаётся рекомендация на проверку состояния устройства, в противном случае никаких действий не предпринимается. Если устройство вышло из строя с показателями, находящимися в области «Брак», данные передаются в модуль перерасчёта «Эталонной модели брак» с использованием метода «Кластерного анализа». Данные, полученные от работающего изделия, обрабатываются методом «Квалиметрического анализа» с эталоном, полученным в блоке «Эталонная модель брак». Если полученные данные приближаются к эталонной модели выдаётся первоочередная рекомендация на проверку состояния устройства, в противном случае никаких действий не предпринимается (рис. 2).

Результаты исследования

Расчёты производились на массиве данных, сгенерированном для проверки работоспособности математической модели в приложении Microsoft Excel. Каждый объект описывается набором своих характеристик, называемых параметрами. Параметры могут быть числовыми или нечисловыми. Исходные данные на первоначальном этапе фильтруются с использованием экспертного метода и контрольных карт Шухарта (рис. 3.) Для построения карт были выбраны следующие параметры: наработка часов фактическая, количество включений, количество пропущенной воды. Для построения CL — централь-

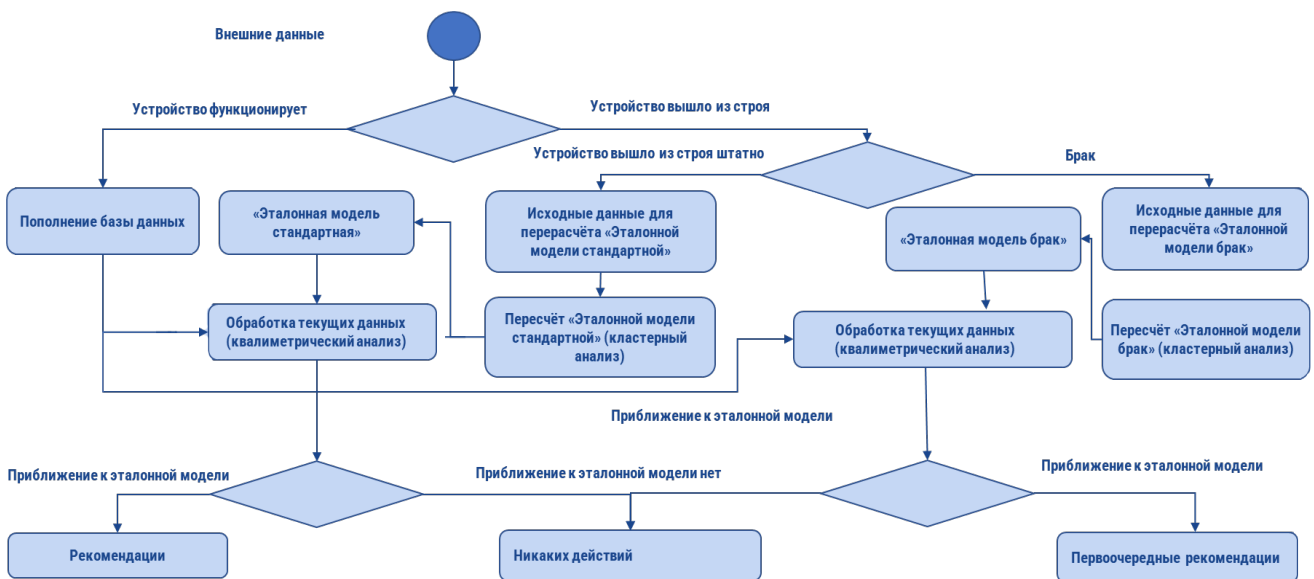


Рис. 2. Алгоритм работы приложения

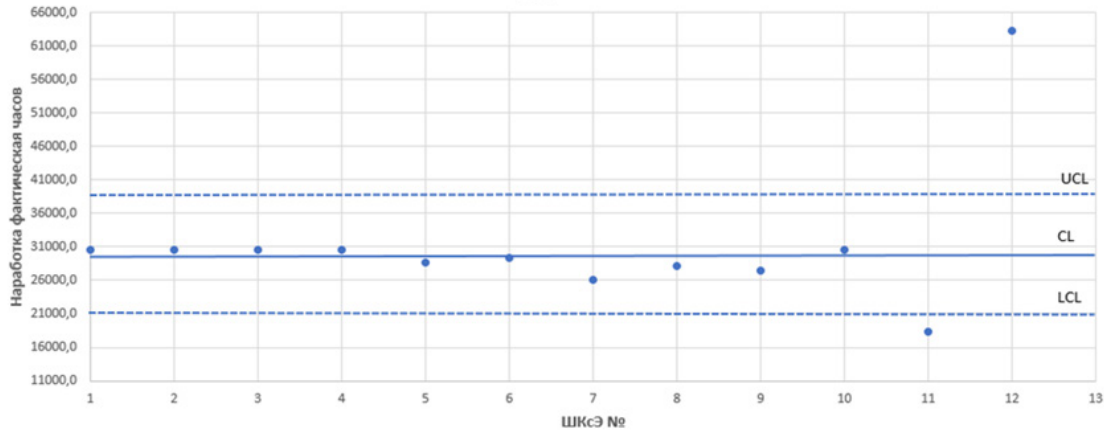


Рис. 3. Контрольные карты Шухарта

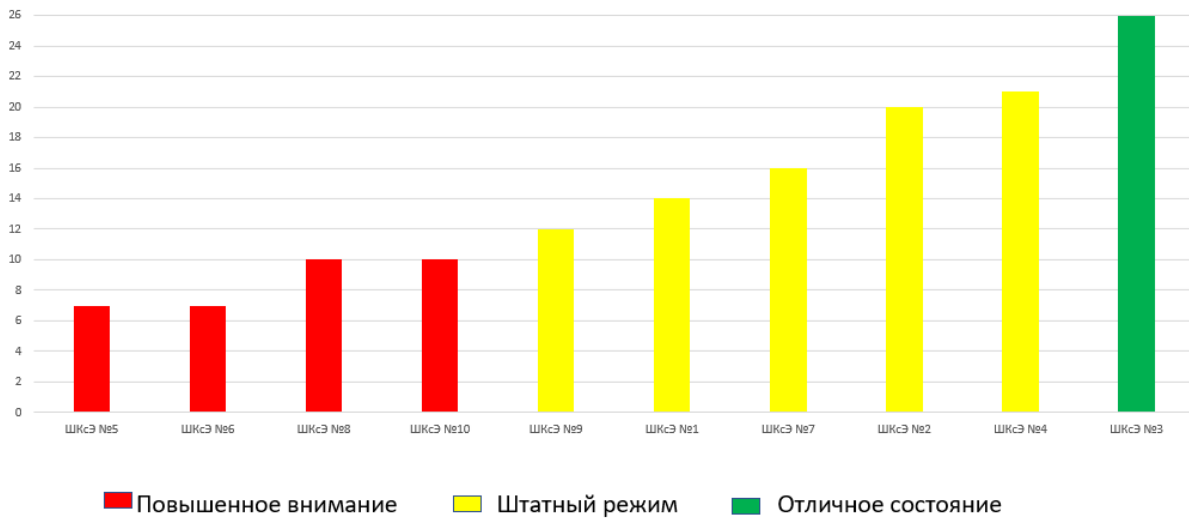


Рис. 4. Итоговая диаграмма прогноза

ной линии использовали среднее геометрическое значение параметров:

$$\bar{t} = \sqrt[n]{t_1 t_2 \dots t_n}, \quad (1)$$

где \bar{t} — среднее геометрическое, n — число показателей, а t_1, t_2, \dots, t_n — набор показателей.

С целью приведения параметров к сопоставимым величинам перед началом анализа используется метод нормализации данных:

$$t_j = \frac{t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}, \quad (2)$$

где t_j — нормализованный параметр, t_i — ненормализованный параметр,

$\sum_{i=1}^n t_i$ — сумма исходных значений параметра t ,

нуждающегося в нормализации.

Для поиска расстояний между объектами в матрице несходства использовалась формула нахождения евклидова расстояния:

$$d(x, y) = \sum_{i=1}^m (x_i - y_i)^2, \quad (3)$$

где $d(x, y)$ — евклидово расстояние, m — количество параметров у сравниваемых объектов, x_i, y_i — значения параметров [21].

На первом этапе квалиметрического анализа рассчитывается процент ошибки на основании данных из эталонной модели кластерного анализа и показателей:

$$q\% = \left| t_3 - \frac{\bar{t}}{t_3} \right|, \quad (4)$$

где $q\%$ — величина ошибки в процентах,
 t_3 — эталонное значение параметра,
 $i = 1 \dots n$ — диапазон текущих параметров,
 \bar{t} — среднее геометрическое параметров, рассчитывается по формуле

$$\bar{t} = \sqrt[n]{t_1 t_2 \dots t_n},$$

где t — значение параметра для соответствующего устройства.

Параллельно указывается величина ошибки, полученная экспертным методом и все вычисления идут параллельно.

На втором этапе квалиметрического анализа нормализуем данные для анализа, используя следующие формулы:

1. Отклонение от эталонного значения параметра (Δt_i):

$$\Delta t_i = \left| \frac{(t_3 - t_i) \cdot 100}{t_3} \right|, \quad (5)$$

где t_i — исходный параметр,
 t_3 — эталонное значение параметра.

2. Интегральный показатель качества ($Q_{\text{инт}}$):

$$Q_{\text{инт}} = \left(1 - \frac{q\%}{\Delta t_i} \right) \ln \frac{\Delta t_i}{q\%}, \quad (6)$$

где Δt_i — отклонение от эталонного значения параметра,

$q\%$ — величина ошибки в процентах.

На завершающем этапе квалиметрического анализа находим среднее значение по объектам, сортируем их по возрастанию, вычисляем интервалы в

полученной последовательности и находим среднее геометрическое интервалов. На основании вычисленной среднегеометрической делим получившуюся последовательность на кластеры. Объединив результаты вычислений, полученных с использованием математического и экспертного методов, получаем итоговую диаграмму с прогнозом (рис. 4) [22].

Заключение и обсуждение

Методика анализа больших данных с целью предсказания изменения фаз жизненного цикла элементов инженерного оборудования зданий и сооружений основана на использовании современных алгоритмов. Сами алгоритмы часто используются в целях обработки больших данных.

В качестве примера можно привести алгоритмы машинного обучения RFR (Random Forest Regressor), GBC (Gradient Busting Classifier) и GBR (Gradient Busting Regressor) описанные М.Р. Салиховым и Р.А. Юрьевой в статье «Алгоритм прогнозирования состояния оборудования на основе машинного обучения» [23].

Научная новизна состоит в подходе к анализу, в котором в отличие от классических схем, где кластерный и квалиметрический методы анализа используются для поиска наилучшего управленческого решения, в данной работе целью анализа, является поиск элементов оборудования близких к изменению фазы жизненного цикла.

На сегодняшний день исследование находится в активной фазе тестирования методики расчётов. Конечным результатом проведённого исследования будет являться полнофункциональный, гибкий программный комплекс, пригодный как для предприятия, от которого получены исходные данные, так и для любого предприятия строительной сферы, с целью увеличения эффективности обслуживания элементов инженерного оборудования.

Список литературы

1. Форман Д. Много чисел: анализ больших данных с помощью Excel. Альпина Паблишер, Москва, 2016, стр. 464.
2. Прокопец А. Конкурентное программирование на Scala ДМК-Пресс, Москва, 2018 стр.342.
3. Kagan P. Big data sets in construction. E3S Web Conf., International Science Conference SPbWOSCE-2018 "Business Technologies for Sustainable Urban Development". 2019, Volume 110, Number 3, pages: 80-84, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/2/022004>
4. Lu W., Big data analytics to identify illegal construction waste dumping: A Hong Kong study. Resources, Conservation and Recycling, 2019. Vol., 141, pp.264-272. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.039>
5. Zhang Z. and Xie X., Towards testing big data analytics software: the essential role of metamorphic testing. Biophysical reviews, 2019, Vol. 11(1), pp.123-125 <https://doi.org/10.1007/s12551-019-00500-x>
6. Youssra Riahi, Sara Riahi, 2018, Big Data and Big Data Analytics: Concepts, Types and Technologies, International Journal of Research and Engineering. | September-October 2018 |, Vol. 5 No. 9, PP. 524-528 DOI: 10.21276/ijre.2018.5.9.5
7. Blazquez D. and Domenech, J., 2018. Big Data sources and methods for social and economic analyses. Technological Forecasting and Social Change journal, Volume 130, pp. 99–113. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.07.027>

8. Breed D.G. and Verster T., 2019. An empirical investigation of alternative semi-supervised segmentation methodologies. *South African Journal of Science*, Volume 115, pp. pp.92-98. <http://dx.doi.org/10.17159/sajs.2019/5359>.
9. Lekhwar S., Yadav S. and Singh, A., *Big Data Analytics in Retail*. Singapore, Springer, 2019, pp. 469-477. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1747-7_45.
10. Асаул В.В., Лушников А.С. Реализация элементов цифровой экономики в строительстве: отечественный и зарубежный опыт / Сборник «Экономические проблемы в архитектуре, градостроительстве и инвестиционно-строительной деятельности. Современное состояние и проблемы» — материалы Всероссийской научно-практической конференции членов РААСН, ППС, молодых ученых СПбГАСУ и специалистов инвестиционно-строительной отрасли. Санкт-Петербург, 2019, стр. 89-93. DOI 10.17513/vaael.1729.
11. Травуш В.И. Цифровые технологии в строительстве Академия. Архитектура и строительство. 2018, том 3 стр. 107-117. DOI 10.22337/2077-9038-2018-3-107-117.
12. Травуш В.И. Белостоцкий А.М., Акимов П.А. Цифровые технологии в строительстве: декларации и реальность. Часть 2. Экспериментальные и локальные исследования, производство материалов, изделий и конструкций, материаловедение, экономика строительства, информационное моделирование / Сборник «Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт». Материалы 5-й Международной научно-практической конференции Института архитектуры, строительства и транспорта. 2018, С. 25-38.
13. Добрынин А.П., Черных К.Ю., Куприяновский В.П., Куприяновский П.В., Синягов С.А. Цифровая экономика — различные пути эффективного применения технологий (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA и др.) *International Журнал открытых информационных технологий*, 2016, том 4, выпуск 1, стр. 4-11. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-2-4-11.
14. Корабельникова С.С., Корабельникова С.К. Цифровые технологии как элемент снижения рисков в строительстве. Дискуссия. 2019, том 2 (93) С. 18-27. DOI: 24411/2077-7639-2019-10002.
15. Лескова Ю.Г. Применение информационных (цифровых) технологий в саморегулировании как условие развития строительной отрасли и правовое регулирование. Издательская группа «Юрист». *Гражданское право*. 2018, том 5 стр. 9-11 DOI: 10.18572/2070-2140-2018-5-9-11.
16. Kagan P. The use of digital technologies in building organizational and technological design. *E3S Web Conf.* 2021, Vol. 263, XXIV International Scientific Conference “Construction the Formation of Living Environment” (FORM-2021), Article Number 04040, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126304040>
17. Kagan P., Sigitov A. Predicting the Elements Operation of Buildings' Engineering Equipment Using the Big Data Analysis Technologies. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2022, 231, стр. 87–93. DOI: 10.1007/978-3-030-96206-7_9.
18. Дорофеев М. Практикум использования контрольных карт Шухарта. *Электронный ресурс. Электронный журнал Хабр. Публ.* от 07.03.2012. — URL: <https://habr.com/ru/post/139596/> (дата обращения: апрель 2022). — Текст: электронный.
19. Университет ИТМО. Кластерный анализ — каждому. *Электронный ресурс. Электронный журнал Хабр. Публ.* от 19.01.2021. — URL: <https://habr.com/ru/company/spbifmo/blog/534410/> (дата обращения: апрель 2021). — Текст: электронный
20. Азгальдов Г.Г., Азгальдова Л.А., Количественная оценка качества (Квалиметрия). — М.: Издательство стандартов, 1971, 176 с. — УДК 658.562.003.12 (048) — 5000 экз. — Текст: непосредственный.
21. Дюран Б., Одель П.: Кластерный анализ, «Статистика», Москва (1977).
22. Азгальдов Г.Г., Костин А.В., Садов В.В.: Квалиметрия для всех. «ИнформЗнание», Москва (2012).
23. Салихов М.Р., Юрьева Р.А., Алгоритм прогнозирования состояния оборудования на основе машинного обучения // *Изв. Вузов. Приборостроение*. 2022. Т. 65, №9. С. 648-655. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-9-648-655

References

1. Forman D. Many numbers: analyze big data using Excel. Al'pina Publisher Publ., Moscow, 2016, p. 464. (In Russian)
2. Prokopets A. Competitive programming on Scala. DMK-Press Publ., Moscow, 2018, p.342 (In Russian)
3. Kagan P. Big data sets in construction. *E3S Web Conf., International Science Conference SPbWOSCE-2018 “Business Technologies for Sustainable Urban Development”*. 2019, Volume 110, Number 3, pages: 80-84, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/2/022004>
4. Lu W., Big data analytics to identify illegal construction waste dumping: A Hong Kong study. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, Vol., 141, pp. 264-272. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.039>
5. Zhang Z. and Xie X., 2019. Towards testing big data analytics software: the essential role of metamorphic testing. *Biophysical reviews*. 2019, Vol. 11(1), pp.123-125. <https://doi.org/10.1007/s12551-019-00500-x>
6. Youssra Riahi, Sara Riahi, 2018, Big Data and Big Data Analytics: Concepts, Types and Technologies, *International Journal of Research and Engineering* Vol. 5 No. 9 | September-October 2018 | PP. 524-528. DOI:10.21276/ijre.2018.5.9.5
7. Blazquez D. and Domenech J., 2018. Big Data sources and methods for social and economic analyses. *Technological Forecasting and Social Change journal*, Volume 130, pp. 99--113. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.07.027>
8. Breed D.G. and Verster T., 2019. An empirical investigation of alternative semi-supervised segmentation methodologies. *South African Journal of Science*, Volume 115, pp. pp.92-98. <http://dx.doi.org/10.17159/sajs.2019/5359>.
9. Lekhwar S., Yadav S. and Singh A., Lekhwar, S., Yadav, S. and Singh, A., 2019. *Big Data Analytics in Retail*. Singapore, Springer, 2019, pp. 469-477. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1747-7_45.
10. Asaul V.V., Lushnikov A.S. Implementation of Elements of Digital Economy in Construction: Domestic and Foreign Experience / Collection “Economic problems in architecture, urban planning and investment and construction activities. Current state and challenges” — materials of the All-Russian scientific-practical conference of the members of the RAASN, the teaching staff, young scientists of SPbGASU and specialists in the investment and construction sector. St. Petersburg, 2019, p. 89-93. DOI 10.17513/vaael.1729. (In Russian)
11. Travush V.I. Digital technologies in construction Academia. *Архитектура и строител'stvo*. 2018, vol 3 pp 107-117. DOI 10.22337/2077-9038-2018-3-107-117. (In Russian)

12. Travush V.I. Belostyky A.M., Akimov P.A. Digital Technologies in Construction: Declarations and Reality. Part 2. Experimental and Local Research, Production of Materials, Products and Structures, Materials Science, Economy of Construction, Information Modeling / Collection "Sustainable development of the region: architecture, construction, transport". Materials of the 5th International Scientific and Practical Conference of the Institute of Architecture, Construction and Transport. 2018, pp 25-38 (In Russian)
13. Dobrynin A.P., Chernykh K.Yu., Kupriyanovskiy V.P., Kupriyanovskiy P.V., Sinyagov S.A. Digital Economy - Various Ways to Effective Application of Technologies (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA and others) International Journal of Open Information Technologies. 2016, vol 4 Issue 1 pp 4-11. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-2-4-11. (In Russian)
14. Korabelnikova S.S., Korabelnikova S.K. Digital Technologies as an Element of Risk Reduction in Construction. Diskussiya. 2019, vol 2 (93) pp 18-27. DOI: 24411/2077-7639-2019-10002. (In Russian)
15. Leskova Yu.G. Application of Information (Digital) Technologies in Self-Regulation as A Condition For Development of The Construction Industry and Legal Regulation. Grazhdanskoye parvo. 2018, vol 5 pp 9-11. DOI: 10.18572/2070-2140-2018-5-9-11. (In Russian)
16. Kagan P. The use of digital technologies in building organizational and technological design. E3S Web Conf. 2021, Vol. 263, XXIV International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment" (FORM-2021), Article Number 04040, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126304040>.
17. Kagan P., Sigitov A. Predicting the Elements Operation of Buildings' Engineering Equipment Using the Big Data Analysis Technologies. Lecture Notes in Civil Engineering, 2022, 231, P. 87-93. DOI: 10.1007/978-3-030-96206-7_9.
18. Dorofeev M. Practice using Shewhart's control charts. Electronic resource. Electronic journal Habr. Pub. dated 07.03.2012. — URL: <https://habr.com/ru/post/139596/> (date of access: april 2022). — (In Russian)
19. ITMO University. Cluster analysis - for everyone. Electronic resource. Electronic journal Habr. Pub. from 19.01.2021. — URL: <https://habr.com/ru/company/spbifmo/blog/534410/> (date of access: april 2021). Text: electronic
20. Azgaldov G.G., Azgaldova L.A., Quantitative assessment of quality (Qualimetry). M.: Publishing house of standards, 1971, 176 p. UDC 658.562.003.12 (048) — 5000 copies. — Text: direct. (In Russian)
21. Durand B., Odel P.: Cluster analysis, "Statistics", Moscow (1977) (In Russian)
22. Azgaldov G.G., Kostin A.V., Sadov V.V.: Qualimetry for all. "InformZnanie", Moscow (2012). (In Russian)
23. M. R. Salikhov and R. A. Yuryeva, "An algorithm for predicting the state of equipment based on machine learning," Izv. universities. Instrumentation. 2022. V. 65, No. 9. pp. 648-655. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-9-648-655. (In Russian)

АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТА КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 004

Федоров Сергей Сергеевич

канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой, Национальный исследовательский Московский государственный университет (кафедра информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве), Москва, Россия;
FedorovSS@gic.mgsu.ru

Казаков Сергей Дмитриевич

аспирант, Московский государственный строительный университет (кафедра информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве), Москва, Россия;
KazakovSD@gic.mgsu.ru

Статья получена: 12.05.2023. Одобрена: 11.06.2023. Опубликовано онлайн: 27.06.2023 © РИОР

Аннотация. Ускоряющиеся темпы автоматизации строительства требуют от специалистов отрасли все большей квалификации. Сложные системы автоматизации появляются на рынке прикладного программного обеспечения, что влечет за собой расширение возможностей их применения в практике строительного производства. Разработка таких программ и программных комплексов ведется хаотично, на основе эмпирического опыта отечественных специалистов, иностранных коллег или уже существующих зарубежных решений. В связи с этим возникает необходимость разработки таких решений, которые были бы адаптированы под отечественного потребителя в части нормативно-правовой документации, а также соответствия выбранному пути развития информационных технологий в строительстве. Прикладное программное обеспечение в области

технологий информационного моделирования уже сейчас позволяет решать большой спектр задач за счет отечественных решений. Тем не менее значительная часть процессов все еще остается нетронутой. Основной целью исследования, представленного в данной статье, является анализ существующего бизнес-процесса анализа цифровых информационных моделей для формирования его карты, а также последующая реализация некоторых его подпроцессов в отечественном программном комплексе EXON BIM. Реализация поставленных задач исследован производилась с использованием нотации BPMN и BPM системы ПО Draw.io.

Ключевые слова: ТИМ, бизнес-процесс, автоматизация, строительство, информационное моделирование, блок-схемы, сод, среда общих данных, обработка данных, отчеты, данные

ANALYSIS OF DIGITAL INFORMATION MODELS AT ALL STAGES OF THE LIFE CYCLE OF A CAPITAL CONSTRUCTION FACILITY

Fedorov Sergey

Ph.D., Associate Professor, Moscow State University of Civil Engineering (Department of Information Systems, Technology and Automation in Construction), Moscow, Russian Federation;
FedorovSS@gic.mgsu.ru

Kazakov Sergey

Graduate student, Moscow State University of Civil Engineering (Department of Information systems, technologies and automation in construction), Moscow, Russian Federation;
KazakovSD@gic.mgsu.ru

Abstract. The accelerating pace of building automation requires industry professionals to be increasingly skilled. Complex automation systems appear on the application software market, which entails an expansion of the possibilities of their application in the practice of construction production. The development of such programs and software systems is carried out chaotically, based on the

empirical experience of domestic specialists, foreign colleagues, or already existing foreign solutions. In this regard, there is a need to develop such solutions that would be adapted to the domestic consumer in terms of legal documentation, as well as compliance with the chosen path for the development of information technologies in construction. Application software in the field of information modeling technologies already now allows solving a wide range of tasks due to domestic solutions. Nevertheless, a significant part of the processes still remains untouched. The main purpose of the study presented in this article is to analyze the existing business process for analyzing digital information models to form its map and modeling the process based on it using SOD, as well as the subsequent implementation of some of its subprocesses in the domestic EXON BIM software package. The implementation of the tasks set was investigated using the BPMN and BPM notation of the Draw.io software system.

Keywords: BIM, business process, automation, construction, informational modeling, flowcharts, CDE, common data environment, data processing, reports, data

Актуальность работы

Ускоряющиеся темпы автоматизации строительства требуют от специалистов отрасли все большей квалификации. Сложные системы автоматизации появляются на рынке прикладного программного обеспечения, что влечет за собой расширение возможностей их применения в практике строительного производства. Разработка таких программ и программных комплексов ведется хаотично, на основе эмпирического опыта отечественных специалистов, иностранных коллег или уже существующих зарубежных решений. [1-10]

В связи с этим возникает необходимость разработки таких решений, которые были бы адаптированы под отечественного потребителя в части нормативно-правовой документации, а также соответствия выбранному пути развития информационных технологий в строительстве.

Целью работы является формализация и схематизация существующего бизнес-процесса анализа цифровых информационных моделей, а также последующая реализация некоторых подпроцессов в отечественном программном комплексе EXON BIM.

Методы

Технологии информационного моделирования объектов капитального строительства и недвижимости (ТИМ) — система, включающая в себя программно-технические средства, документы, результаты, процессы и участников, обеспечивающих создание, сбор, накопление, обработку, контроль, хранение, представление и распространение информации в виде цифровых информационных моделей и электронных документов. [11]

Среда общих данных (СОД) — Комплекс программно-технических средств, представляющих единый источник данных, обеспечивающий совместное использование информации всеми участниками процесса строительства.

BPMN (Business Process Model and Notation) — это язык моделирования бизнес-процессов. С помощью моделирования возможно описать бизнес-процессы, С последующей реализацией в различных системах управления. [8-13]

Diagrams.net (ранее draw.io) — это бесплатное кроссплатформенное программное обеспечение для рисования графиков с открытым исходным кодом, разработанное на HTML5 и JavaScript. Его интерфейс можно использовать для создания таких диаграмм,

как блок-схемы, каркасы, UML-диаграммы, организационные диаграммы и сетевые диаграммы.

Exon — отечественная платформа для управления строительными проектами.

Результаты

В процессе строительного производства (Рис. 1) на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства возникает необходимость проверки цифровых информационных моделей (трехмерных моделей) на соответствие требованиям заказчика к информационным моделям, плану реализации проекта с использованием информационных моделей и на соответствие проектной документации. [12-13]

Анализ цифровых информационных моделей проводится:

1. при передаче информационных моделей между стадиями жизненного цикла объекта капитального строительства;
2. при прохождении контрольной точки в процессе реализации строительного производства;
3. периодически, в оговоренные временные интервалы, зафиксированные в плане реализации проекта с использованием информационных моделей.

В процессе анализа цифровых информационных моделей каждая модель передается между участниками строительного производства, проходит проверки, в результате которых формируется отчетная документация. (Рис. 2).

Участники:

1. Среда общих данных (СОД) — основной элемент в процессах информационного моделирования, обеспечивающий обмен информацией между всеми участниками процесса.
2. Исполнитель — проектное бюро, строительная или эксплуатирующая компания.
3. Отдел технологий информационного моделирования (Отдел ТИМ) — команда специалистов заказчика, обеспечивающая применение технологий информационного моделирования в процессе реализации проекта.

Информационные модели:

1. Цифровая информационная модель (ЦИМ) — трехмерная модель, выполненная с применением технологии информационного моделирования.
2. Пакет электронных документов (ПЭД) — часть информационной модели. Строительная или проектная документация.

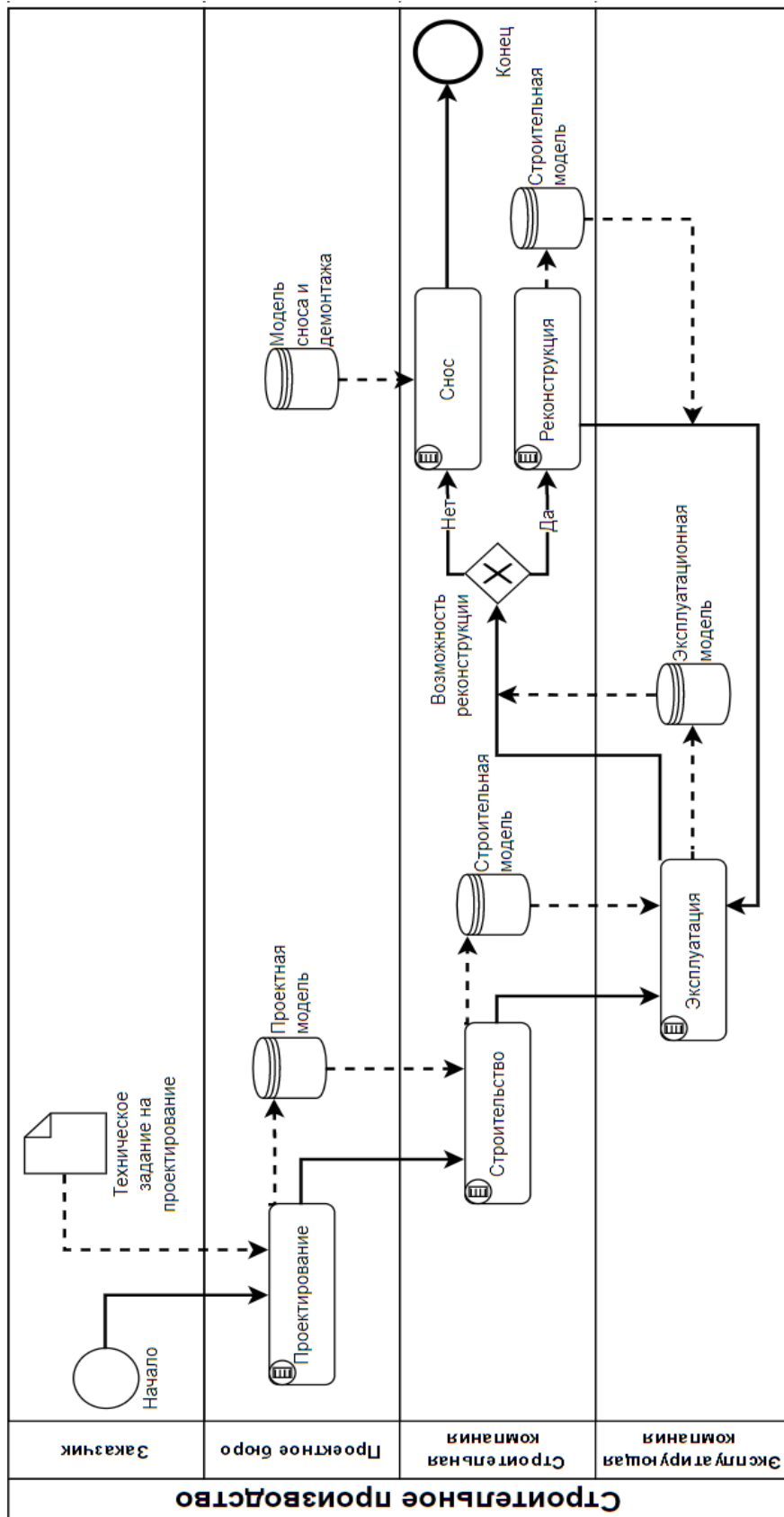


Рис. 1. Карта процесса «Строительное производство»

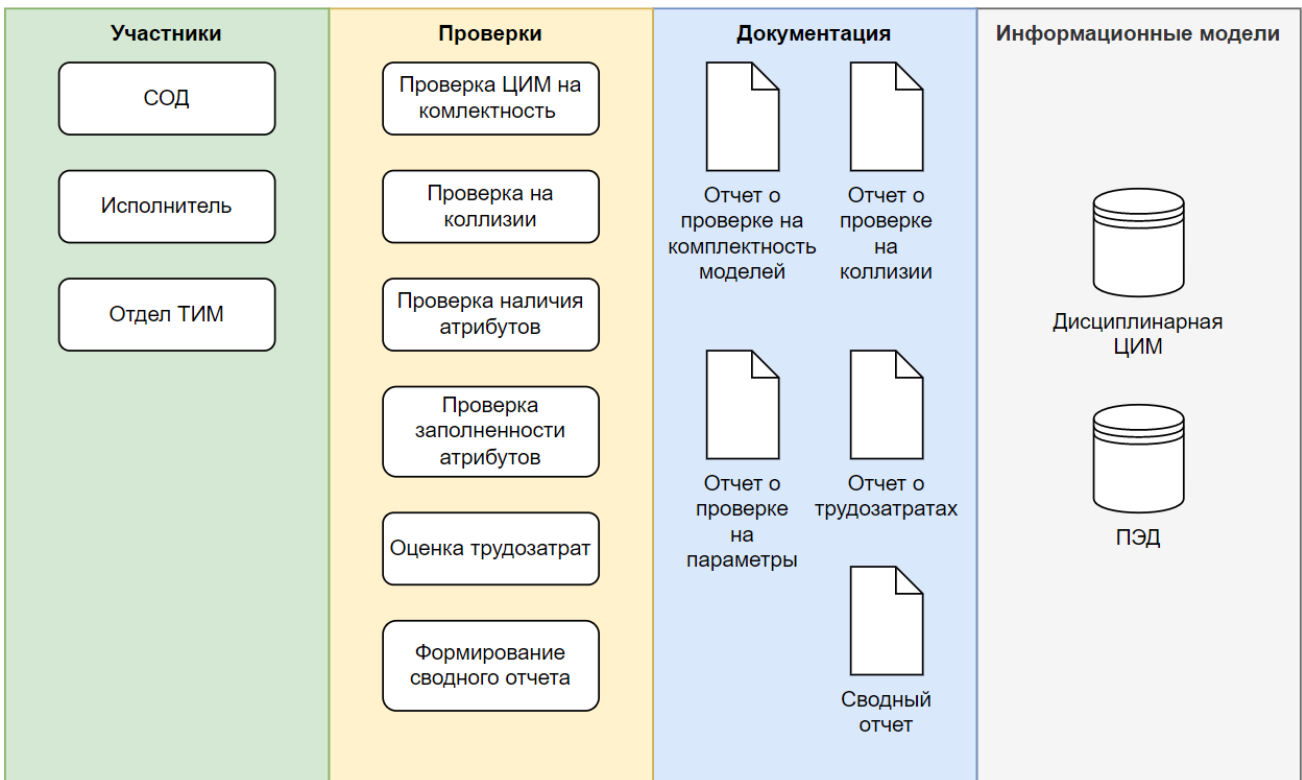


Рис. 2. Состав карты процесса «Анализ цифровых информационных моделей»

Проверки:

1. Проверка цифровой информационной модели на комплектность — проверка соответствия состава информационной модели документации. Результат: Отчет о проверке на комплектность моделей.

2. Проверка на коллизии — определение пересечений между элементами цифровой информационной модели (трехмерной модели). Результат: отчет о проверке на коллизии.

3. Проверка наличия атрибутов. Результат: отчет о проверке на параметры.

4. Проверка заполненности атрибутов. Результат: отчет о проверке на параметры.

5. Оценка трудозатрат — анализ требуемых ресурсов для доработки ЦИМ. Результат: отчет о трудозатратах.

6. Формирование сводного отчета. Результат: сводный отчет.

Карта процесса «Анализ ЦИМ» (Рис. 3) отражает последовательность проведения проверок, необходимые исходные данные, а также обмен информацией между участниками с применением среды общих данных. [13-17]

Проверка на наличие и заполненность параметров цифровой информационной модели выполнена в программном комплексе Exon BIM.

На первом этапе в интерфейсе конструктора проверок необходимо сформировать комплекс шаблонов проверок. (Рис.4)

После проведения проверок автоматически формируется отчет, который возможно экспортировать в формат электронных таблиц для дальнейшей обработки. (Рис. 5).

В результате проведенной работы:

1. Выполнено моделирование бизнес-процесса анализа цифровых информационных моделей;
2. Выполнена проверка параметров с использованием прикладного программного обеспечения.

Полученная карта целевого процесса «Анализ цифровых информационных моделей» подходит для применения на протяжении жизненного цикла объекта капитального строительства и позволяет наглядно представить взаимодействие и информационный обмен между его участниками.

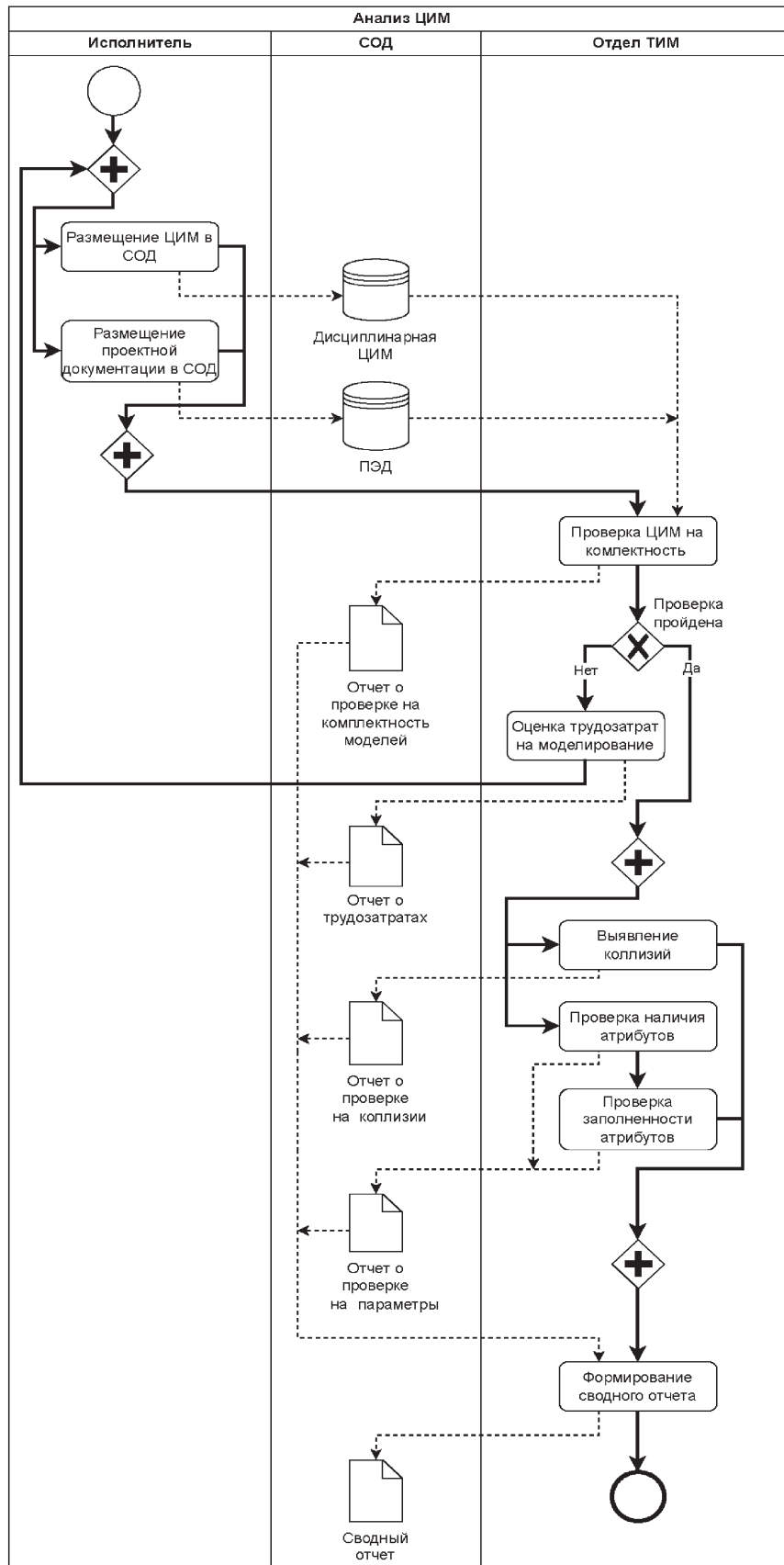


Рис. 3. Карта процесса «Анализ цифровых информационных моделей»

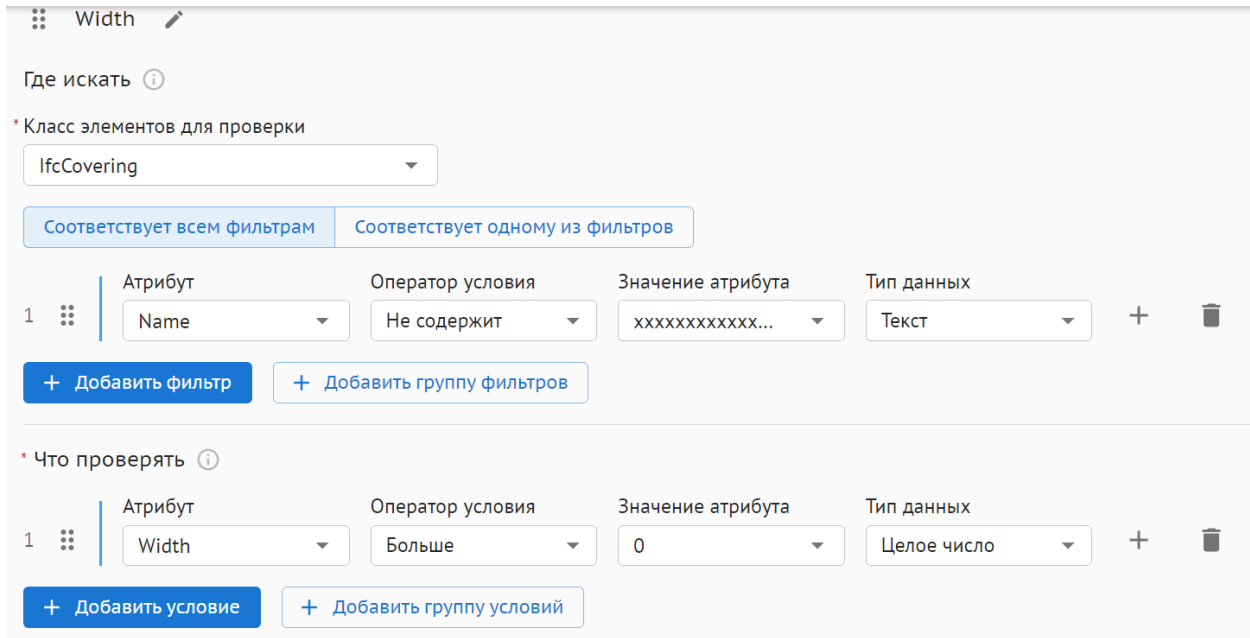


Рис. 4. Шаблон проверки параметров Exon

← Отчет проверки: Лестница. Тест

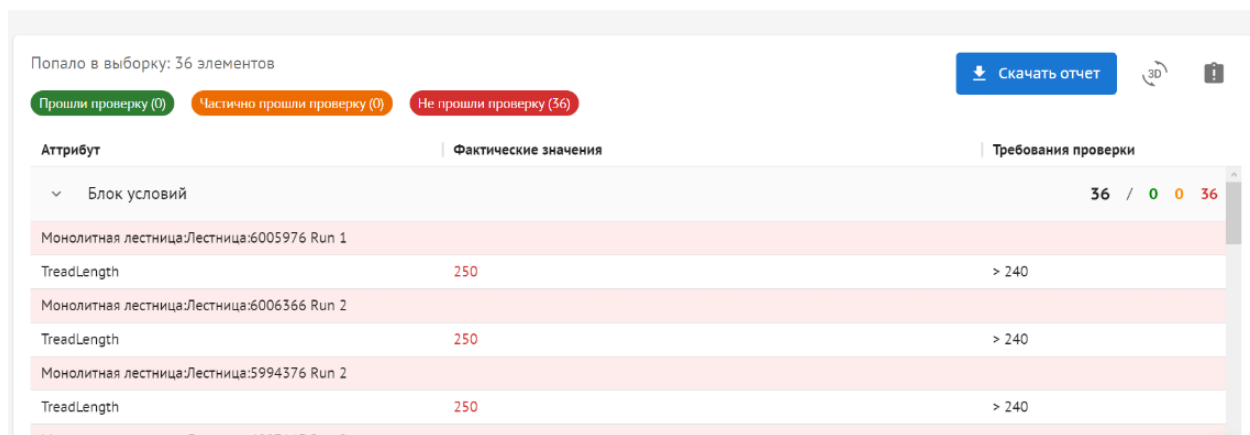


Рис. 5. Отчет проверки параметров Exon

Обсуждение

Выполненная работа обеспечивается четко сформулированной целью и поставленными задачами, строгостью и последовательностью, применением современных подходов моделирования бизнес-процессов. Реализация поставленных задач производилась с использованием ТИМ, СОД, нотации BPMN и BPM системы ПО Draw.io, EXON BIM. В процессе

исследования было осуществлено моделирование бизнес-процессов.

Полученные результаты имеют высокий уровень значимости для дальнейших научных и теоретических исследований, а также практической деятельности, направленной на совершенствование программного обеспечения, применяемого для проверки цифровых информационных моделей. [17-20]

Список литературы

1. Погосова Е.Б. Анализ особенностей программных комплексов, поддерживающих технологии информационного моделирования при проектировании зданий. Инженерный вестник Дона. 2023. № 3 (99). С. 69-79.
2. Ларионов А.Н., Приходько А.В. Развитие внедрения технологий информационного моделирования при реализации жилищных инвестиционно-строительных проектов. Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. № 2. С. 270-282.
3. Ли А.В. Формирование профессиональных компетенций современного инженера и технологии информационного моделирования. БСТ: Бюллетень строительной техники. 2023. № 1 (1061). С. 22-25.
4. Мухторов А.Д.У. BIM-технологии в строительстве // Инвестиции, градостроительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения. Материалы XII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Под редакцией Т.Ю. Овсянниковой, И.Р. Салагор. Томск, 2022. С. 837-841.
5. Тимошенко Т.А., Нигорожина Е.С. Внедрение ТИМ (BIM) в строительстве в России // Университетская наука. 2022. № 1 (13). С. 91-94.
6. Мороз А.М. Обзор литературных источников по теме "bim-менеджмент при внедрении технологий информационного моделирования (tim) на стадии проекта // Аллея науки. 2020. Т. 2. № 1 (40). С. 745-749.
7. Шестаков К.И., Соколов И.М., Пирогов М.А., Соловьев С.Г. Опыт ао "нпо "ривс" в bim [ТИМ] проектировании // Горная промышленность. 2021. № S5-2. С. 42-52.
8. Технологии информационного моделирования зданий и территорий. Экосистемы ТИМ/BIM // материалы II Всероссийской научно-практической конференции / 2022.
9. Слепков Э.А. Инновационные технологии в строительстве // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе. Материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, учёных и специалистов, посвященной 65-летию Тюменского индустриального университета. Отв. редактор А.Н. Халин. Тюмень, 2021. С. 128-131.
10. Ожгибесова К.Е., Мингареева Р.Р., Сондуева С.Р. Технологии информационного моделирования (tim) в строительстве рф: особенности применения на различных стадиях жизненного цикла объекта // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2021. № 11-1. С. 157-159.
11. Гудко А. Михаил Косарев, "ДОМ.РФ" — О реалиях перехода на информационное моделирование и BIM-форуме // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2021. № 11 (239). С. 10-15.
12. Шестакова Е.Б. Цифровые технологии в строительстве — Учебное пособие / Москва, 2022
13. Кузьмина Т.К., Большакова П.В., Ледовских Л.И., Зуева Д.Д. Особенности работы технического заказчика с применением bim-технологий // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования. Сборник докладов Первой Национальной конференции. 2020. С. 960-964.
14. Корнеева А.М. Технологии информационного моделирования как новая парадигма градостроительной деятельности // Креативная экономика. 2022. Т. 16. № 10. С. 3935-3950.
15. Гинзбург А.В., Цыбульская О. Системы автоматизации организационно-технологического проектирования // Вестник МГСУ. 2008. № 1. С. 352-357.
16. Чулков В.О., Гинзбург А.В., Павленко А.А., Конищева О.В. Автоматизация проектирования оценки качества организационно-технологических решений на начальных этапах строительства // Вестник МГСУ. 2008. № 1. С. 405-407.
17. Никандрова Л.В., Евтушенко С.И. Использование технологий информационного моделирования при разработке проектной и рабочей документации // Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений. Материалы XIX международной научно-технической конференции. Новочеркасск, 2020. С. 4-9.
18. Федоров С.С., Казаков С.Д. Процесс информационного моделирования на этапе проектирования объекта капитального строительства // Наука и бизнес: пути развития. 2021. № 5 (119). С. 13-17.
19. Васильев Р.С., Чепрасов А.Г., Фёдоров С.С. Информационное моделирование зданий в Microsoft Power BI // В сб.: Современные методы организации и управления строительством. Сборник статей молодых ученых, аспирантов, молодых специалистов, студентов. 2020. С. 303-309.
20. Осташев Р.В., Евтушенко С.И. Разработка ifc маппинга для загрузки информационных моделей архитектурных решений // Строительство и архитектура. 2022. Т. 10. № 2. С. 91-110.

References

1. Pogosova E.B. Analysis of the features of software systems that support information modeling technologies in the design of buildings. Don Engineering Gazette. 2023. No. 3 (99). pp. 69-79.
2. Larionov A.N., Prikhodko A.V. Development of the introduction of information modeling technologies in the implementation of housing investment and construction projects. Bulletin of MGSU. 2023. V. 18. No. 2. S. 270-282.
3. Lee A.V. Formation of professional competencies of a modern engineer and information modeling technology. BST: Building Equipment Bulletin. 2023. No. 1 (1061). pp. 22-25.
4. Mukhtorov A.D.U. BIM technologies in construction // Investments, urban planning, real estate as drivers of the socio-economic development of the territory and improving the quality of life of the population. Materials of the XII International Scientific and Practical Conference. In 2 parts. Edited by T.Yu. Ovsyannikova, I.R. Salagor. Tomsk, 2022, pp. 837-841.
5. Timoshenko T.A., Nigorozhina E.S. Implementation of TIM (BIM) in construction in Russia // Universitetskaya nauka. 2022. No. 1 (13). pp. 91-94.
6. Moroz A.M. Review of literature sources on the topic «bim-management in the implementation of information modeling technologies (tim) at the project stage // Alley of Science. 2020. V. 2. No. 1 (40). P. 745-749.
7. Shestakov K.I., Sokolov I.M., Pirogov M.A., Soloviev S.G. Experience of JSC «npo «rivs» in bim [TIM] design // Mining industry. 2021. No. S5-2. P. 42-52.
8. Technologies of information modeling of buildings and territories. TIM/BIM Ecosystems // Proceedings of the II All-Russian Scientific and Practical Conference / 2022.
9. Slepko E.A. Innovative technologies in construction // Energy saving and innovative technologies in the fuel and energy complex. Materials of the National with international

- participation scientific and practical conference of students, graduate students, scientists and specialists dedicated to the 65th anniversary of the Tyumen Industrial University. Rep. editor A.N. Khalin. Tyumen, 2021, pp. 128-131.
10. Ozhgibesova K.E., Mingareeva R.R., Sondueva S.R. Technologies of information modeling (tim) in the construction of the Russian Federation: features of application at various stages of the life cycle of an object // Humanitarian, socio-economic and social sciences. 2021. No. 11-1. pp. 157-159.
 11. Gudko A. Mikhail Kosarev, «DOM.RF» — On the realities of the transition to information modeling and the BIM forum // Plumbing, Heating, Air Conditioning. 2021. No. 11 (239). pp. 10-15.
 12. Shestakova E.B. Digital Technologies in Construction — Textbook / Moscow, 2022
 13. Kuzmina T.K., Bolshakova P.V., Ledovskikh L.I., Zueva D.D. Features of the work of a technical customer using bim-technologies // Actual problems of the construction industry and education. Collection of reports of the First National Conference. 2020. S. 960-964.
 14. Korneeva A.M. Technologies of information modeling as a new paradigm of urban development // Creative Economy. 2022. V. 16. No. 10. P. 3935-3950.
 15. Ginzburg A.V., Tsybul'skaya O. Automation systems for organizational and technological design // Vestnik MGSU. 2008. No. 1. P. 352-357.
 16. Chulkov V.O., Ginzburg A.V., Pavlenko A.A., Konishcheva O.V. Automation of designing the quality assessment of organizational and technological solutions at the initial stages of construction. Vestnik MGSU. 2008. No. 1. P. 405-407.
 17. Nikandrova L.V., Evtushenko S.I. The use of information modeling technologies in the development of design and working documentation // Information technologies in the survey of operated buildings and structures. Proceedings of the XIX International Scientific and Technical Conference. Novocherkassk, 2020. S. 4-9.
 18. Fedorov S.S., Kazakov S.D. The process of information modeling at the stage of designing a capital construction object // Science and business: ways of development. 2021. No. 5 (119). pp. 13-17.
 19. Vasil'ev R.S., Cheprasov A.G., Fedorov S.S. Building information modeling in Microsoft Power BI // In the collection: Modern methods of organizing and managing construction. Collection of articles by young scientists, graduate students, young specialists, students. 2020, pp. 303-309.
 20. Ostashev R.V., Evtushenko S.I. Development of ifc mapping for unloading information models of architectural solutions // Construction and architecture. 2022. V. 10. No. 2. P. 91-110.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ В МАЛОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

УДК 681.5

Петербурцев Максим Григорьевич

студент, Московский государственный строительный университет
(кафедра Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве), Москва, Россия;
PeterburtsevMG@mgsu.ru

Адамцевич Любовь Андреевна

канд. техн. наук, доцент, Московский государственный строительный университет
(кафедра Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве), Москва, Россия;
AdamtsevichLA@mgsu.ru

Статья получена: 12.05.2023. Одобрена: 11.06.2023. Опубликовано онлайн: 27.06.2023 © РИОР

Аннотация. Эффективность функционирования организации во многом зависит от ее сотрудников, не исключением являются и организации строительного сектора, где правильно сформированная система управления персоналом позволит эффективно распределять трудовые ресурсы между проектами, достигать стратегические цели компании. В статье представлен анализ существующей нормативно-правовой документации в области управления персоналом в строительной организации, поскольку создание информационной системы, отвечающей за управление персоналом в строительной организации, необходимо разрабатывать с их учетом. Кроме того,

в статье описывается подход к проектированию структуры базы данных и программного приложения для управления персоналом в малых строительных организациях. Выделены функции и задачи информационной системы для управления персоналом в малой строительной организации, которые станут основой структуры базы данных для создания приложения с использованием архитектуры «клиент — сервер». В результате разработана блок-схема взаимосвязи функций программы, обеспечивающей управления персоналом в малых строительных организациях на основании действующей нормативно-правовой документации. Программа включает сле-

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR PERSONNEL MANAGEMENT IN A SMALL CONSTRUCTION ORGANIZATION

Peterburtsev Maxim

student, Moscow State University of Civil Engineering (Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction), Moscow, Russian Federation;
PeterburtsevMG@mgsu.ru

Adamtsevich Lyubov'

Ph.D., Associate Professor, Moscow State University of Civil Engineering (Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction), Moscow, Russian Federation;
AdamtsevichLA@mgsu.ru

Abstract. The efficiency of the functioning of an organization largely depends on its employees, and organizations in the construction sector are no exception, where a properly formed personnel management system will effectively allocate labor resources between projects and achieve the company's strategic goals. The article presents an analysis of the existing regulatory documentation in the field of personnel management in a construction organization, since the creation of an information system responsible for personnel management in a construction organization must be developed tak-

ing them into account. In addition, the article describes an approach to designing a database structure and a software application for personnel management in small construction organizations. The functions and tasks of an information system for personnel management in a small construction organization are highlighted, which will become the basis of the database structure for creating an application using the client-server architecture. As a result, a block diagram of the relationship between the functions of a program that provides personnel management in small construction organizations based on the current legal documentation has been developed. The program includes the following modules: Data Processing, Recruitment, Employment, Vacation Schedule, Dismissal of Employees. The program interface is developed using the C# high-level programming language on the Microsoft Visual Studio 2022 platform using the .NET Framework (Windows Forms) development technology. The database where data will be stored and processed is developed using the Microsoft SQL Server relational database management system on the Microsoft SQL Server Management Studio 18 platform. Stored procedures and functions are supposed to be used, which will be called from the program interface.

Keywords: information systems, construction organization, personnel management, database development

дующие модули: «Обработка данных», «Подбор персонала», «Трудоустройство», «График отпусков», «Увольнение работников». Интерфейс программы разрабатывается с помощью языка программирования высокого уровня C# на платформе Microsoft Visual Studio 2022 с использованием технологии разработки .NET Framework (Windows Forms). База данных, где будут храниться и обрабатываться данные, разрабатывается с помощью системы управления реляционными базами данных Microsoft SQL Server на платформе Microsoft SQL Server Management Studio 18. Предполагается использование хранимых процедур и функций, которые будут вызываться из интерфейса программы.

Ключевые слова: информационные системы, строительная организация, управление персоналом, разработка баз данных

Введение

Эффективность функционирования организации во многом зависит от ее сотрудников, не исключением являются и организации строительного сектора, где правильно сформированная система управления персоналом позволит эффективно распределять трудовые ресурсы между проектами, достигать стратегические цели компании и т.д.

Проблемам управления персоналом в организациях строительной отрасли посвящено значительное количество публикаций [1-6], в указанных материалах представлено описание целостного подхода к управлению потенциалом человеческих ресурсов в строительных организациях, рассматриваются проблемы организации кадровой политики организаций и др.

Вместе с тем, в крупных строительных компаниях, как правило, используется специализированное дорогостоящее ПО для управления персоналом и ресурсами, а в большинстве малых строительных организациях кадровый учет все еще ведется вручную или в полуавтоматическом режиме, что увеличивает нагрузку на отдел кадров.

В представленной статье описывается подход к проектированию структуры базы данных и программного приложения для управления персоналом в малых строительных организациях.

Для определения необходимых функций разрабатываемого приложения автоматизации трудоустройства и управления персоналом проведен анализ нормативно-правовой документации Российской Федерации.

Методы исследования

Создание информационной системы, отвечающей за управление персоналом в строительной организации, необходимо разрабатывать с учетом следующих нормативно-правовых документов:

- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ;
- Федеральный закон «О персональных данных» от 27.07.2006 № 152-ФЗ.
- Постановление Госкомстата РФ от 05.01.2004 № 1 «Об утверждении унифицированных форм первичной учетной документации по учету труда и его оплаты».

Санитарные требования для обеспечения условий труда и трудового процесса при организации и проведении строительных работ, снижения риска нарушения здоровья работающих, а также населения, проживающего в зоне влияния строительного производства регламентированы СанПиН 2.2.3.1384-03 «Гигиенические требования к организации строительного производства и строительных работ» — утверждает.

Приказом Минздравсоцразвития России от 23.04.2008 № 188 (ред. от 12.02.2014) «Об утверждении Единого квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и служащих, раздел «Квалификационные характеристики должностей руководителей и специалистов архитектуры и градостроительной деятельности» регламентируются функциональные обязанности работников строительной отрасли, необходимые знания и умения для кандидата, требования к квалификации.

На основании нормативно-правовой документации, действующей на территории Российской Федерации, сформирован перечень задач, на решение которых направлено разрабатываемое приложение:

- подбор и отбор персонала по критериям, включая ввод и хранение результатов собеседования, личных достижений кандидата;
- ввод особенностей для трудоустройства, а именно требования к квалификации, необходимость прохождения обязательного медицинского осмотра, необходимые знания и навыки для кандидата;
- ведение личной карточки работника;
- составление и изменение штатного расписания;
- составление графика отпусков и на его основе создание приказов;
- создание, изменение и учет приказов кадровой службы.

Результаты

В рамках представленной разработки предполагается целостный учет данных о человеке, история деятельности которого начинается с его данных, поданных на замещение вакантной должности. В личной карточке предусмотрена возможность просмотра всех приказов о работнике, таким образом личная карточка работника представляет собой следующий набор информации:

- персональные данные;
- документы об образовании;
- информация о воинском учете;
- контактные данные;
- информация о проектах, в которых участвует работник;
 - данные о трудовой деятельности в организации (информация о приеме, переводе, увольнении);
 - предоставленные отпуска, а также отображение графика отпусков;
 - обучение работника (повышении квалификации, переподготовка);
 - список призов по данному работнику.

Для ввода адреса используется федеральная информационная адресная система, общероссийский классификатор информации о населении используется при заполнении личной карточки работника, и другие. Помимо основного функционала, обеспечивающего функционирование программы, предусмотрено разграничение доступа к модулям и справочникам, а также персональный доступ в систему с помощью логина и пароля. Для каждого модуля предусмотрено 3 режима взаимодействия: просмотр; создание и изменение; создание, изменение и удаление.

Алгоритм программы, обеспечивающий автоматизацию функций отдела кадров, и взаимосвязь функций внутри нее представлены на рисунке.

Рассмотрим содержание основных модулей программы.

1. Модуль «Обработка данных».

Данные из интерфейса программы передаются в базу данных, где посредством вызова хранимых процедур происходит их обработка в зависимости от вызванной процедуры. В свою очередь в процедуре обязательно происходит сравнение данных для избегания создания дубликатов, а также проверка ввода всех обязательных полей. В противоположных случаях выпадает ошибка с разъяснением, что необходимо исправить, введенные данные не сохраняются в базу данных.

2. Модуль «Подбор персонала».

Из штатного расписания выводится список свободных должностей. На его основе создается карточка кандидата с выбором конкретной должности и структурного подразделения и проект, в котором будет работать будущий кандидат. На следующем этапе вводится информация об образовании, личные качества человека, стаж работы. Исходя из этих данных и результатах собеседования, а в некоторых случаях прохождения обучения и (или) тестового задания, принимается решение о приеме кандидата на должность. При положительном результате информация о человеке переходит к следующему алгоритму.

3. Модуль «Трудоустройство».

На этом этапе заполняется вся необходимая информация для трудоустройства (данные паспорта, образование, состав семьи, информация о воинском учете, контакты, сведения о предыдущем месте работы), а также данные о текущей работе (должность, размер ставки, структурное подразделение, а в некоторых случаях — объект, на котором будет выполняться работа, вид работы, характер работы, условия труда, тарифная ставка). Далее заключается трудовой договор, который печатается из системы, и на основании которого создается приказ о приеме на работу.

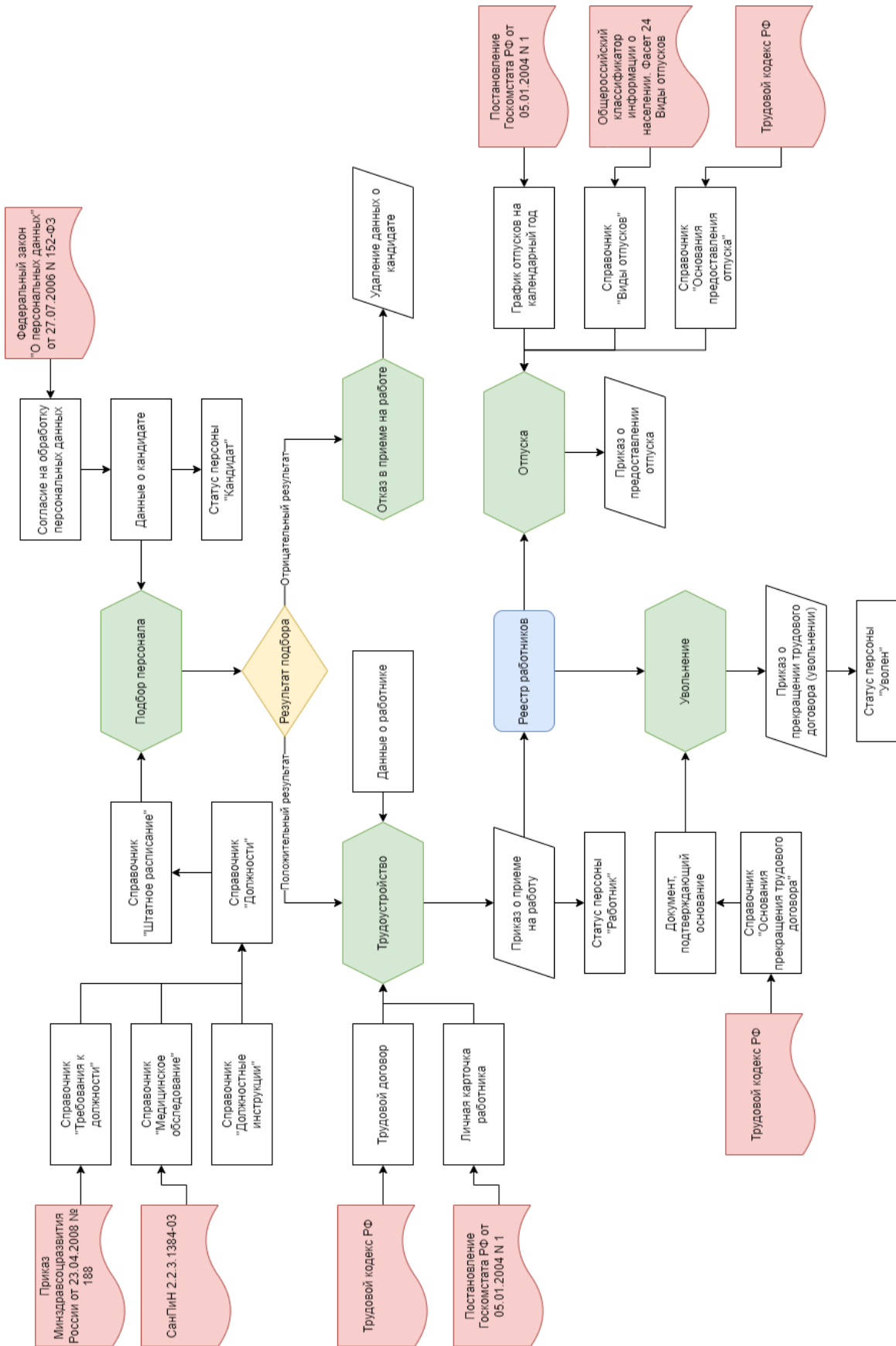
4. Модуль «График отпусков».

График отпусков на следующий календарный год утверждается в конце года. Вводится информация о сотрудниках, их должности, структурном подразделении, и планируемой датой отпуска и количестве календарных дней. В течение года на основании этого документа формируются приказы о предоставлении отпуска и заполняется информация в график отпусков о фактической дате отпуска.

5. Модуль «Увольнение работников».

Выводится список работников, подлежащих увольнению (в случае заключения срочного трудового договора), и формируется приказ о прекращении трудового договора (увольнении) с указанием основания увольнения (в соответствии со статьей ТК РФ). После утверждения приказа статус сотрудника переводится на «Уволен».

Предусмотрен функционал увольнения сотрудников, устроенных на постоянную работу или на неопределенных срок, в этом случае алгоритм похож — необходимо выбрать основание увольнения с указанием статьи ТК РФ, а также прикрепить документ, подтверждающий основание, например, заявление на увольнение по собственному желанию.



Блок-схема взаимосвязи функций программы

Интерфейс программы разрабатывается с помощью языка программирования высокого уровня C# на платформе Microsoft Visual Studio 2022 с использованием технологии разработки .NET Framework (Windows Forms).

База данных, где будут храниться и обрабатываться данные, разрабатывается с помощью системы управления реляционными базами данных Microsoft SQL Server на платформе Microsoft SQL Server Management Studio 18. Предполагается использование хранимых процедур и функций, которые будут вызываться из интерфейса программы.

Выводы

Выделенные в исследовании функции и задачи послужат основой для разработки информационной системы управления персоналом для малой строительной организации. Следующим этапом является проектирование структуры базы данных с описанием связей и схем, формирование итоговых функций разрабатываемой программы, а как итог — разработанное приложение для Windows с использованием архитектуры «клиент — сервер».

Список литературы

1. Яруллина Л.Р., Сучкова Т.В. Проблемы управления персоналом в организациях строительной индустрии // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 4 (34). С. 427-432.
2. Погорелов В.А., Казбеков Г.А. Оценка кадровой политики при организации работы строительного предприятия // Инженерный вестник Дона. 2017. № 4 (47). С. 218.
3. Узаева А.А. Управления персоналом в строительной сфере // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 2 (9). С. 55-58.
4. Попова А.А., Степанова Н.Р. Проблемы управления персоналом в строительной сфере // Весенние дни науки. Сборник докладов Международной конференции студентов и молодых ученых. Екатеринбург, 2020. С. 194-198.
5. Тасеев В.Б., Шишкина Е.С. Управление персоналом предприятий малого и среднего бизнеса строительной сферы в современных условиях // Экономика, управление и право в современных условиях. Международный сборник статей. Сер. «Экономика, управление и право в современных условиях». Самара, 2012. С. 125-133.
6. Кузнецова Н.С. Инструменты управления персоналом строительной отрасли // Экономика и управление в современных условиях. Международная научно-практическая конференция. 2019. С. 118-120.

References

1. Yarullina L.R., Suchkova T.V. Problems of personnel management in organizations of the construction industry // News of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2015. No. 4 (34). pp. 427-432.
2. Pogorelov V.A., Kazbekov G.A. Evaluation of personnel policy in the organization of the work of a construction enterprise // Engineering Bulletin of the Don. 2017. No. 4 (47). S. 218.
3. Uzaeva A.A. Personnel management in the construction industry // International research journal. 2013. No. 2 (9). pp. 55-58.
4. Popova A.A., Stepanova N.R. Problems of personnel management in the construction industry // Spring days of science. Collection of reports of the International Conference of Students and Young Scientists. Yekaterinburg, 2020. S. 194-198.
5. Taseev V.B., Shishkina E.S. Personnel management of small and medium-sized enterprises in the construction sector in modern conditions // Economics, management and law in modern conditions. International collection of articles. Ser. «Economics, management and law in modern conditions» Samara, 2012, pp. 125-133.
6. Kuznetsova N.S. Tools for personnel management in the construction industry // Economics and management in modern conditions. International scientific and practical conference. 2019. P. 118-120.

ФОРМИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ПЛАТФОРМЕ «ЗЕЛеной ЭКОНОМИКИ»

УДК 658.26

Смолина Лидия Филипповна

канд. техн. наук, доцент, Московский государственный строительный университет
(кафедра жилищно-коммунального комплекса), Москва, Россия;
SmolinaLF@mgsu.ru

Статья получена: 10.05.2023. Одобрена: 12.06.2023. Опубликовано онлайн: 27.06.2023 © РИОР

Аннотация. Развитие «зелёной экономики» в России идёт медленно по сравнению с другими государствами. Наша страна зависима от сырьевых ресурсов. Однако Россию можно назвать лидером в гидроэнергетике. Больше двухсот речных ГЭС вырабатывают до 20% всего электричества. В Мурманской области работает единственная в мире приливная электростанция, а на Дальнем Востоке есть пять геотермальных станций. Используется и солнечная энергия: установки работают в десятке регионов (самая мощная — в Крыму). Ветряных электростанций в России пока мало — всего 16. В 2019 году на пять лет утверждён национальный проект «Экология». В рамках его реализации планируется ликвидировать несанкционированные городские свалки, снизить вредные выбросы в атмосферу на 20% и «оздоровить» Волгу и Байкал. В эту программу также вошли проекты по сохранению биологического разнообразия и лесов России.

Ключевые слова: жизненный цикл, энергоснабжение, энергоэффективность, зеленая экономика, низкоуглеродное развитие, экономика замкнутого цикла

Введение

«Зеленая экономика» — это развитие во всех секторах экономики от промышленности до ЖКХ за счет повышения энергоэффективности при рациональном использовании природных ресурсов (лес, вода и др.), максимально возможной утилизации бытовых и промышленных отходов, необходимости учета углеродного следа, повышении благосостояния людей и значимости человеческого капитала.

В числе основных концептуальных блоков такого глобального контекста можно выделить наиболее общие концепции:

- устойчивого развития;
- «умного города»;
- низкоуглеродного развития и минимизации негативного воздействия на климат и окружающую среду;
- энергосбережения и повышения энергоэффективности;
- зеленого строительства;
- экономики замкнутого цикла (циркулярной экономики);
- стандартов экологического, социального и корпоративного управления. Целевые установки этих концепций и механизмы их реализации во многом пересекаются и в совокупности иногда именуется «зеленой повесткой» [1-4].

Тема энергосбережения и энергетической эффективности занимает одно из ведущих мест в системе целей устойчивого развития, в которой энергопотреб-

FORMATION OF A SUSTAINABLE LIFE CYCLE OF CONSTRUCTION OBJECTS ON THE «GREEN ECONOMY» PLATFORM

Smolina Lidiya

Ph.D., Associate Professor, Moscow State University of Civil Engineering (Department of Housing and Communal Complex), Moscow, Russian Federation;

SmolinaLF@mgsu.ru

Abstract. The development of the «green economy» in Russia is slow compared to other countries. Our country is dependent on raw materials. However, Russia can be called a leader in hydropower. More than two hundred river hydroelectric power plants generate up to

20% of all electricity. The world's only tidal power plant operates in the Murmansk Region, and there are five geothermal stations in the Far East. Solar energy is also used: installations operate in a dozen regions (the most powerful is in the Crimea). There are still few wind farms in Russia — only 16. In 2019, the national project «Ecology» was approved for five years. As part of its implementation, it is planned to eliminate unauthorized municipal landfills, reduce harmful emissions into the atmosphere by 20% and «improve» the Volga and Baikal. This program also includes projects for the conservation of biological diversity and forests of Russia.

Keywords: energy supply, energy efficiency, green economy, low-carbon development, closed-cycle economy



Рис. 1. Блоки «зеленой» низкоуглеродной экономики

бление тесно увязано с экологическими проблемами [5-7]. Разработка и принятие международных соглашений об изменении климата показали, что обеспечение энергетической безопасности является одним из ключевых элементов устойчивости. Задача повышения энергоэффективности зданий направлена на снижение потребления энергии, защиту окружающей среды и одновременно на создание комфортных условий для жизнедеятельности людей. Такие задачи касаются именно вопросов городского развития в первую очередь.

Метод

Правительством в 2021 году утверждена «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» основные задачи которой:

- Установление жестких требований энергетической эффективности новых зданий (классы А, А+);
- Выведение из эксплуатации изношенных неэнергоэффективных фондов;
- Энергоэффективная модернизация систем горячего водоснабжения и отопления, энергоэффективные бытовые электроприборы и системы освещения;
- Стимулирование оснащения зданий установками, использующими и производящими возобновляемую энергию;
- Повышение эффективности систем теплоснабжения и водоснабжения.

Принятая в 2022 году «Стратегия развития строительной отрасли и ЖКХ Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года»: в рамках повышения энергоэффективности зданий предусматривает:

- 100% приборный учет, внедрение автоматизированных систем учета и управления энергопотреблением, узлов погодного регулирования в МКД;
- Стимулирование к эффективному потреблению тепловой энергии в жилищном фонде, развитие энергосервисных контрактов;
- Разработка мер по декарбонизации индивидуальных жилых домов и перевод на более экологичные виды топлива для отопления;
- Совершенствование нормативной правовой базы, технического регулирования и стандартизации, информационного обеспечения строительства в части энергоэффективности зданий;
- Для вновь создаваемых зданий (в том числе МКД) удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию уменьшается:

с 1 января 2025 г. — на 25% по отношению к 2017 г.
с 1 января 2030 г. — на 40% по отношению к 2017 г.

Реализацию мероприятий энергосбережения и повышения энергоэффективности зданий и сооружений предлагаю рассмотреть по нескольким направлениям.

Первое — это требование применения энергоэффективных технологий при новом строительстве.

Данному вопросу уделено достаточно внимания. При этом следует отметить, что максимальной энергоэффективности можно добиться исключительно путем совместного использования технологий, материалов и принципов проектирования в комплексе, дополняя друг друга.

Одним из наиболее активных потребителей энергии в нашем государстве является общестроительный комплекс. Способов экономии энергии в предоставленной области множество. Один из более эффективных способов — энергосберегающие технологические процессы в строительстве [8-10].

Основным направлением энергосбережения в жилых зданиях является увеличение теплозащитных параметров ограждающих конструкций.

Структура используемых в Российской Федерации теплоизоляционных материалов довольно схожа структуре, сформировавшейся в передовых странах. В основном это минераловатные изделия (наиболее 65%), на стекловатные приходится 8%, еще 20% — на пенопласты, часть теплоизоляционных бетонов никак не превышает 3%, вспученного перлита, вермикулита и продуктов в их основании — 2-3%, а на другие типы эффективных теплоизоляционных веществ требуется 1-2%. При использовании таких эффективных теплоизоляционных материалов по периметру сооружения с каждого его метра за счет снижения толщины внешних ограждающих конструкций высвобождается примерно по 0,25 кв. м полезной площади. Кроме того, многослойные системы наружного утепления дают возможность уменьшить нагрузку на основание, а стало быть, уменьшить расходы на его воздвижение.

Второе по важности направление энергосбережения в жилых зданиях — замена устаревших окон и дверей в зданиях. Окна остаются более уязвимой зоной в ограждающих конструкциях, невзирая на непрерывное усовершенствование данного акцента. В обыкновенных деревянных окнах с двойным остеклением через неплотности ограждающих систем в жилую зону поступает наружный воздух. Тем не менее, со временем, в подобных окнах могут появляться различные щели, в следствии чего появляется излишняя инфильтрация. Такая проблема приводит к росту годовых потерь теплоты.

Значимым направлением энергосбережения является система учета потребления тепла, электричества и воды. Сами по себе счетчики ничего не экономят, но побуждают к энергосбережению.

Основные пути разрешения проблемы энергосбережения в строительстве:

- применение горизонтальной поквартирной разводки системы отопления с индивидуальным управлением и учетом потребляемой тепловой энергии для нового строительства и установки регистраторов тепла для существующего жилого фонда;
- создание и введение энергоэффективной схемы приточно-пылевытяжного проветривания с высокой изоляцией отгораживающих систем, обеспечивающей удобство проживания, охрану и безопасность;
- трансформация от мощных основных тепловых пунктов к применению автоматизированных персональных термических в любом помещении;
- применение современных строительных материалов и технологий [11, 12], таких как сооружение ограждающих систем, увеличение теплоизоляционных параметров фасадов, монтаж оконных систем повышенной плотности и т. д. Графически представим эффект от внедрения таких технологий в новое строительство (рис. 2)

Стоит заметить, что энергосбережение в строительстве требует абсолютно небольших затрат — с 5% вплоть до 10% от цены объекта возведения. Тем не менее, внедрение энергосберегающих технологий на этапе стройки повысит степень комфорта в помещениях, и помимо этого, несомненно, поможет в перспективе беречь энергетические средства и уменьшить затраты на их применение.

В наше время ключевыми преградами для внешнего финансирования различных перспективных энергосберегающих проектов являются такие факторы, как дефицит долговременных финансовых ресурсов, недостаток навыка оценки вложений в сбережения со стороны банков и, как результат, преувеличение рисков при оценке соответствующих планов, а также опыта и профессиональных специалистов в области проблем энергосбережения. Тем не менее, отдельные компании уже внедряют энергосберегающие программы.

Потенциал энергосбережения в Российской Федерации огромен. Мировая практика демонстрирует, что существует подлинная возможность уменьшения энергопотребления в несколько раз. Тем не менее для достижения подобного результата необходимы продолжительные совместные усилия научных работников, архитекторов, проектировщиков, специалистов по теплоснабжению, энергетиков, специалистов строительной индустрии, руководителей строительных комплексов и ЖКХ, шаг за шагом последовательно каждый на своем месте повышающие энергетическую результативность строительного комплекса. Энергоэффективные технологические процессы — это залог

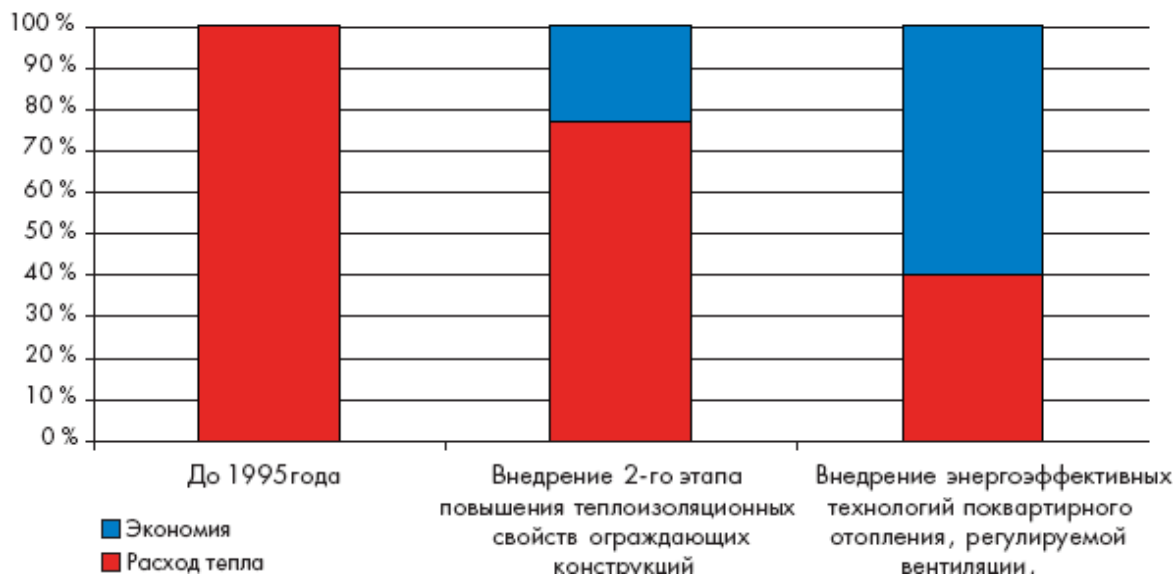


Рис. 2. Эффект от внедрения технологий в новое строительство

нашего будущего. На рынке непрерывно возникают новые технические решения, которые позволяют сокращать энергопотребление, заметно повышают энергоэффективность зданий, а также позволяют сберегать средства на использовании энергии [13, 14].

Повысить энергоэффективность строительной сферы будет возможно лишь при сочетании работ, которые будут связаны с предоставлением эффективности энергии в здании, и работ согласно должному внедрению энергоэффективности в системы теплоснабжения зданий. Такого рода подход отвечает и политике страны, потому что, в итоге, государство заинтересовано в понижении расходов первичных топливно-энергетических ресурсов.

Для применения энергоэффективных технологий при проектировании и строительстве Правительством разработана достаточная нормативно-правовая база:

- 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности в Российской Федерации» от 23.11.2009;
- 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009;
- Постановление Правительства 1628 от 27.09.2021 «Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов»;
- Приказ Минстроя 1550/пр от 17.11.2017 «Об утверждении требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений» и др.

Результаты

Вместе с тем энергосбережение в Российской Федерации развивается стремительно и это требует совершенствование законодательной базы. Очень важно осуществлять контроль применения энергоэффективных технологий не только при приемке зданий в эксплуатацию органами государственного строительного надзора, но и на этапе их проектирования. Застройщики обязаны обеспечить соответствие зданий, строений, сооружений требованиям энергетической эффективности путем выбора оптимальных архитектурных, функционально-технологических решений и их надлежащей реализации при строительстве. При этом надо учитывать, что применение энергоэффективных технологий, строительство так называемых «энергоэффективных домов» зачастую ведет к удорожанию стоимости строительства и как результат удорожанию жилья на рынке. На сегодняшний день в Российской Федерации недостаточно отработаны и приняты стимулирующие меры для застройщика по применению и внедрению энергоэффективных технологий. Без разработки и принятия механизмов стимулирования на федеральном уровне, обеспечить строительство энергоэффективных зданий и сооружений и покупку в них жилья, будет крайне затруднительно.

Следовательно, законодательно требуется закрепить меры стимулирования внедрения энергоэффективных технологий при строительстве многоквартирных и жилых домов и вводе в эксплуатацию домов с повышенными классами энергетической

эффективности, такие как стимулирование застройщиков, которые строят и вводят в эксплуатацию многоквартирные дома и малоэтажные комплексы с высоким классом энергетической эффективности, в том числе:

- при получении земельных участков для строительства и получении разрешений на строительство домов ввести пониженные ставки аренды земельных участков и приоритетность при выделении земельных участков;

- при получении технических условий присоединения (подключения) к инженерным сетям ввести дифференцированные ставки платы (в зависимости от класса энергоэффективности присоединяемого объекта строительства);

- ввести налоговые льготы на прибыль;

- предоставить льготное финансирование, в том числе кредитов коммерческих банков с пониженной (субсидированной) ставкой.

- Стимулирование приобретения физическими лицами квартир в многоквартирных домах с высокой энергетической эффективностью, в том числе:

- зеленая (льготная) ипотека с пониженной (субсидируемой) ставкой;

- увеличение суммы налоговых вычетов — возврата части ранее уплаченного налога на доходы физического лица при покупке им квартиры в многоквартирном доме с присвоенным высоким классом энергетической эффективности;

- дифференцированные ставки налога на имущество в зависимости от класса энергоэффективности многоквартирного дома — эта мера стимулирует как к покупке квартиры в доме с более высоким классом энергоэффективности, так и (в дальнейшем) к инвестированию в качественное содержание и ремонт дома и поддержание высокого класса энергоэффективности на протяжении всего жизненного цикла многоквартирного дома.

Второе большое направление — это применение энергоэффективных технологий при проведении капитальных ремонтов зданий и сооружений. Обязательным условием должно быть использование технологий энергосбережения при капитальном ремонте зданий с использованием бюджетных средств. При проведении экспертиз данных проектов необходимо проверять не только соответствие объемов и применение расценок, а главное использование передовых технологий энергосбережения. После проведения капитальных ремонтов класс энергоэффективности таких зданий должен быть не ниже А+.

Выводы

Отдельно хочется остановиться на проведении энергоэффективных ремонтов МКД в рамках реализации региональных программ капитального ремонта. Еще в 2016 году Приказом N 653/пр Минстрой РФ утвердил методические рекомендации по выполнению проектов, направленных на улучшение качества и энергетической эффективности МКД при капитальном ремонте общего имущества.

Перечень рекомендованных мероприятий состоит из трёх блоков:

1. мероприятия, направленные на улучшение теплозащиты ограждающих конструкций МКД;

2. проекты по повышению энергоэффективности внутридомовых инженерных сетей;

3. дополнительные события по улучшению состояния инженерных коммуникаций.

Теплозащиту ограждающих конструкций МКД можно улучшить, если: постепенно улучшать теплозащиту наружных стен, окон и наружных дверей дома, крыши и чердачных перекрытий, пола и стен подвала, следить за остеклением лоджий, заделкой и герметизацией межпанельных швов, ликвидировать утечки тепла, уплотнять наружные входные двери в подъездах, дополнительно разделять входные тамбуры, утеплять чердак.

Для повышения энергоэффективности инженерных внутридомовых сетей Минстрой РФ рекомендует:

- ставить общедомовые приборы учёта потребления тепловой энергии и горячей воды;

- следить за теплоизоляцией внутридомовых инженерных систем теплоснабжения и горячего водоснабжения в подвале и на чердаке; устанавливать теплоизоляцию внутридомовых трубопроводов системы отопления и ГВС;

- позаботиться об установке автоматизированного узла управления системой теплоснабжения;

- организовать автоматизированный индивидуальный тепловой пункт; поставить энергосберегающие осветительные приборы;

- поставить датчики движения в местах общего пользования.

Что касается дополнительных мероприятий по улучшению энергоэффективности МКД, то Минстрой РФ предлагает: поставить балансировочные клапаны на вертикальных стояках системы отопления и клапаны, регулирующие температуру на отопительных приборах; установить частотное регулирование приводов насосов в циркуляционном трубопроводе

системы ГВС; ночью понижать температуру в узлах управления системой теплоснабжения; для каждого фасада МКД регулировать тепловой режим; установить первую ступень приготовления горячей воды при помощи тепловых насосов или утилизации тепла вентиляционных выбросов; обустроить гибридную систему ГВС, которая позволит сэкономить и как можно дольше сохранить тепло. Сделать это можно двумя способами: с насосами, использующими теплоту грунта и тепло вентиляционных выбросов, и с применением солнечных коллекторов воды. Дополнительно с перечнем мероприятий Минстрой РФ приводит в процентном соотношении предполагаемое снижение вида нагрузки или мощности систем отопления и вентиляции и горячего водоснабжения, затрат электроэнергии на покрытие вида нагрузки, а также средние годовые затраты на эксплуатацию, обслуживание и ремонт.

На сегодняшний день Фонды капитальных ремонтов столкнулись с проблемой недостаточности средств на реализацию программ в связи с удорожанием стройматериалов. В некоторых субъектах этот дефицит доходит до 50% стоимости необходимых ремонтов. Естественно, о применении энергосберегающих технологий и энергоэффективном ремонте речь в таких случаях не идет. Есть два выхода из создавшейся ситуации:

- повышение взноса граждан на капитальный ремонт выше уровня инфляции, что воспринимается населением очень болезненно и негативно, и власти на это не идут;
- оказание бюджетной поддержки в виде субсидий при организации и проведении энергосберегающих капитальных ремонтов МКД. Здесь также после проведения комплексного капремонта класс энергоэффективности здания должен быть не ниже А+.

Список литературы

1. Король Е.А., Дудина А.Г. Энергоэффективные аспекты реновации жилищного фонда города Москвы // Строительство — формирование среды жизнедеятельности. XXI Международная научная конференция: сборник материалов семинара «Молодежные инновации». 2018. С. 324-326.
2. Король Е.А., Киселев И.Я., Шушунова Н.С. Реконструкция предприятий текстильной промышленности с использованием кровельных покрытий с системами озеленения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 3 (375). С. 294-300.
3. Дудина А.Г., Король Е.А. Особенности расчета расхода топливно-энергетических ресурсов при реализации проектов реновации в городе Москве // Недвижимость: экономика, управление. 2018. № 4. С. 84-88.
4. Шрейбер К.К., Король Е.А. Теоретические аспекты формирования нормативно-методической базы капитального ремонта общего имущества многоквартирных домов // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 11 (134). С. 1473-1481. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.11.1473-1481
5. Король Е.А., Журавлева А.А. Анализ структуры энергозатрат при строительстве малоэтажных жилых зданий // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2020. № 3 (1027). С. 62-64.
6. Король Е.А., Журавлева А.А., Савин В.К. Организационно-технологическое моделирование возведения малоэтажных жилых зданий с учетом рационального энергопотребления // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 4 (382). С. 184-189.
7. Король Е.А., Дудина А.Г. Анализ расхода топливно-энергетических ресурсов при крупнопанельном многоэтажном строительстве // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2020. № 5 (1029). С. 4-8.
8. Король Е.А., Журавлева А.А. Определение расходов топливно-энергетических ресурсов при производстве механизированных работ в малоэтажном строительстве // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 5. С. 712-728. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.712-728
9. Король Е.А., Тимофеева Е.А. Алгоритм сокращения энергетических затрат при капитальном ремонте многоквартирных домов // Строительство и архитектура. 2020. Т. 8. № 3. С. 69-72. <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2020-8-3-69-72>
10. Король Е.А., Журавлева А.А. Влияние работы энергопотребителей при возведении малоэтажных жилых зданий на состояние окружающей среды // Academia. Архитектура и строительство. 2021. № 3. С. 108-114. DOI:10.22337/2077-9038-2021-3-108-114
11. Бахтинова В. О., Курдюков В. Н., Бадалян Л. Х. "Зеленая" экономика в России: основные направления реализации // Вестник современных исследований. 2019. №. 1.10. С. 50-56.
12. Воронов А. В. Объединение инновационных возможностей образования, науки и производства для успешной реализации тенденций устойчивого развития и «зелёной экономики» // Профессиональное образование. 2020. №. 3. С. 34-41.
13. Косухин М. М., Ханьжин П. И., Косухин А. М. Обеспечение энергоэффективности в строительстве // Наука и инновации в строительстве. 2020. С. 328-334.
14. Ходько Е., Ходько А. Повышение энергоэффективности — ключевой фактор устойчивого развития экономики // Наука и инновации. 2020. №. 8 (210). С. 49-53. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2020-8-49-53>

References

1. Korol' E.A., Dudina A.G. Energy-efficient aspects of renovation of the housing stock of the city of Moscow // In the collection: Construction — formation of the life environment. XXI International Scientific Conference: collection of materials of the seminar «Youth innovations». 2018. pp. 324-326.
2. Korol' E.A., Kiselev I.YA., Shushunova N.S. Reconstruction of textile industry enterprises using roofing with landscaping systems // News of higher educational institutions. Technology of the textile industry. 2018. No. 3 (375). pp. 294-300.
3. Dudina A.G., Korol' E.A. Features of calculating the consumption of fuel and energy resources during the implementation of renovation projects in Moscow // Real estate: economics, management. 2018. No. 4. pp. 84-88.
4. Shrejbner K.K., Korol' E.A. Theoretical aspects of the formation of the regulatory and methodological base of capital repairs of the common property of apartment buildings // Vestnik MGSU. 2019. Vol. 14. No. 11 (134). pp. 1473-1481. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.11.1473-1481
5. Korol' E.A., Zhuravleva A.A. Analysis of the structure of energy consumption in the construction of low-rise residential buildings // BST: Bulletin of construction equipment. 2020. No. 3 (1027). pp. 62-64.
6. Korol' E.A., Zhuravleva A.A., Savin V.K. Organizational and technological modeling of the construction of low-rise residential buildings taking into account rational energy consumption // News of higher educational institutions. Technology of the textile industry. 2019. No. 4 (382). pp. 184-189.
7. Korol' E.A., Dudina A.G. Analysis of fuel and energy resources consumption in large-panel multi-storey construction // BST: Bulletin of construction equipment. 2020. No. 5 (1029). pp. 4-8.
8. Korol' E.A., Zhuravleva A.A. Determination of fuel and energy resources expenditures in the production of mechanized works in low-rise construction // Vestnik MGSU. 2020. Vol. 15. No. 5. pp. 712-728. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.712-728
9. Korol' E.A., Timofeeva E.A. Algorithm for reducing energy costs during major repairs of apartment buildings // Construction and architecture. 2020. Vol. 8. No. 3. pp. 69-72. <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2020-8-3-69-72>
10. Korol' E.A., Zhuravleva A.A. The influence of the work of energy consumers in the construction of low-rise residential buildings on the state of the environment // Academia. Architecture and construction. 2021. No. 3. pp. 108-114. DOI:10.22337/2077-9038-2021-3-108-114.
11. Bahtinova V. O., Kurdyukov V. N., Badalyan L. H. The «green» economy in Russia: the main directions of implementation // Bulletin of Modern Research. 2019. No. 1.10. pp. 50-56
12. Voronov A. V. Combining innovative opportunities of education, science and production for the successful implementation of trends in sustainable development and the «green economy» // Vocational education. 2020. No. 3. pp. 34-41.
13. Kosuhin M. M., Han'zhin P. I., Kosuhin A. M. Ensuring energy efficiency in construction // Science and innovation in construction. 2020. pp. 328-334.
14. Hod'ko E., Hod'ko A. Improving energy efficiency is a key factor in sustainable economic development // Science and Innovation. 2020. No. 8 (210). pp. 49-53. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2020-8-49-53>

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 681.5

Камаева Юлия Владимировна

аспирант, Московский государственный строительный университет
(кафедра Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве), Москва, Россия;
IuliiaKamaeva@yandex.ru

Адамцевич Любовь Андреевна

канд. техн. наук, доцент, Московский государственный строительный университет
(кафедра Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве), Москва, Россия;
AdamtsevichLA@mgsu.ru

Статья получена: 10.05.2023. Одобрена: 13.06.2023. Опубликовано онлайн: 27.06.2023 © РИОР

Аннотация. В эпоху, когда объем данных растёт в геометрической прогрессии, эффективно обрабатывать их прежними методами становится невозможно. Как следствие, возрастает необходимость внедрения новых технологий обработки и анализа данных во всех сферах деятельности, где строительная отрасль не является исключением. Одним из инновационных способов использования данных выступает предиктивная — прогнозная или предсказательная аналитика. В статье дано представление о проблематике и перспективах применения предиктивной аналитики в строительной отрасли в России. Проведен обзор публикаций, представленных в РИНЦ — библиографической базе данных научных публикаций преимущественно учёных Российской Федерации и стран СНГ, по ключевым словам «предиктивная аналитика»

и «строительство», однако проведенный анализ опубликованных материалов за период с 2011 по 2023 гг. показал, что по указанным ключевым словам зафиксировано всего 7 публикаций, что свидетельствует о том, что исследования в этом направлении пока что носят пионерный характер.

Ключевые слова: предиктивная аналитика, прогнозная аналитика, предсказательная аналитика, искусственный интеллект, машинное обучение, строительство, большие данные, нейросеть

Введение

В эпоху, когда объем данных растёт в геометрической прогрессии, становится невозможно эффективно обрабатывать их прежними методами. Как след-

PROSPECTS FOR THE USE OF PREDICTIVE ANALYTICS IN CONSTRUCTION

Kamaeva Iuliia

graduate student, Moscow State University of Civil Engineering (Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction), Moscow, Russian Federation;
IuliiaKamaeva@yandex.ru

Adamtsevich Lyubov

Ph.D., Associate Professor, Moscow State University of Civil Engineering (Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction), Moscow, Russian Federation;
AdamtsevichLA@mgsu.ru

Abstract. In an era when the amount of data is growing exponentially, it becomes impossible to effectively process them with the old methods. As a result, there is a growing need to introduce new technologies for processing and analyzing data in all areas of activity, where the construction industry is no exception. One of the innovative ways to use data is predictive — predictive or predictive analytics. The article gives an idea of the problems and prospects for the use of predictive analytics in the construction industry in Russia. A review of publications presented in the RSCI — a bibli-

ographic database of scientific publications, mainly by scientists from the Russian Federation and CIS countries, was carried out for the keywords «predictive analytics» and «construction», however, the analysis of published materials for the period from 2011 to 2023 was carried out. showed that only 7 publications were recorded for the specified keywords, which indicates that research in this direction is still of a pioneering nature. At the same time, it should be noted that the publications deal with drilling issues or are related to energy supply processes. Only 1 work seems interesting within the framework of the presented article, where predictive analytics is applied to preventive maintenance. The analytics of the construction industry market by respondent companies (organizations of architecture, engineering and construction) is presented. Analyzed existing services and platforms, including the function of predictive (forecast) analytics. It is noted that the departure of foreign vendors motivated Russian developers to quickly approach the issue of import substitution, and in 2022 a number of domestic companies presented their developments with the functionality of predictive analytics.

Keywords: predictive analytics, artificial intelligence, machine learning, construction, big data, neural network



Рис. 1. Классификация видов аналитики данных

ствие, возрастает необходимость внедрения новых технологий обработки и анализа данных во всех сферах деятельности, где строительная отрасль не является исключением.

Сегодня различные компании все больше признают важность данных и их роль для повышения результативности деятельности, а искусственный интеллект и углубленный анализ данных стали одной из самых обсуждаемых тем. Так, одним из инновационных способов использования данных выступает предиктивная — прогнозная или предсказательная аналитика.

Предиктивная аналитика — это ветвь «продвинутой» аналитики, использующей исторические и текущие данные в сочетании со статистическим моделированием машинного обучения, для прогноза будущих тенденций и результатов.

При этом термин «аналитика» достаточно широкий, в котором можно выделить 5 видов (рис. 1).

Описательная аналитика позволяет интерпретировать то, что уже произошло, диагностическая — ответить на вопрос, когда и почему это произошло. Прогнозная же аналитика идет на шаг дальше, чем описательная и диагностическая, она предоставляет ответ на вопрос «Что может произойти?» или «Что произойдет?». Предписывающая аналитика дает рекомендации относительно возможных результатов действий. Также можно выделить в отдельный, относительно новый вид — искусственную аналитику, основанную на технологии искусственного интеллекта.

Таким образом, уже сегодня мы переходим от ретроспективы к предвидению — что произошло (описательная аналитика) и почему (диагностическая аналитика),

к тому, что может произойти (прогнозная аналитика) и что с этим можно сделать (расширенная аналитика и использование искусственного интеллекта).

При этом важно осознавать, что данные направления тесно переплетены между собой, где каждый из видов имеет свой набор методов для визуализации, интерпретации, прогнозирования и формирования лучшего исхода.

Анализ актуальных исследований в области использования предиктивной аналитики в строительстве

Для проведения анализа актуальных исследований в области использования предиктивной аналитики в строительстве было принято решение использовать научные публикации, индексируемые в РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) — библиографической базе данных научных публикаций преимущественно учёных Российской Федерации и стран СНГ.

На первом этапе собирались данные по научным публикациям по ключевым словам: «предиктивная аналитика» и «строительство», далее проводился анализ собранных публикаций.

Публикации рассматривались с 2011 г., так как именно в этот год была презентована концепция «Индустрия 4.0», которая считается началом четвертой промышленной революции.

Всего в выборке за период с 2011 по 2023 гг. по указанным ключевым словам отобрано 7 публикаций [1–7], что свидетельствует о том, что исследования в этом направлении пока что носят пионерный характер.

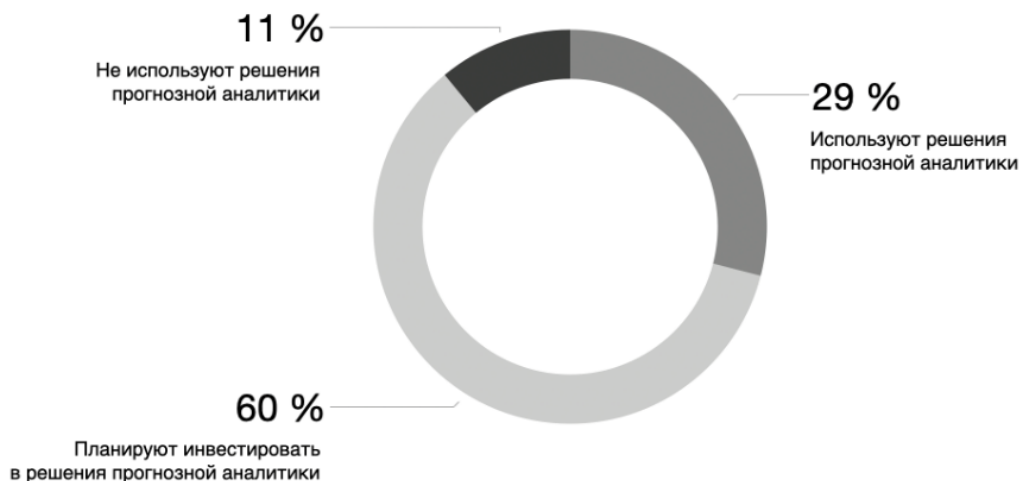


Рис. 2. Результаты опроса респондентов на предмет использования решений предиктивной аналитики, обзор IDC «Состояние информационных стратегий в строительстве», Oracle Construction and Engineering

При этом стоит отметить, что публикации касаются вопросов бурения [1,3,4] или связаны с процессами энергоснабжения [5-7]. Интересной в рамках представленной статье видится работа [2], где предиктивная аналитика применяется к планово-предупредительным ремонтам.

В тоже время, по ключевому словосочетанию «предиктивная аналитика» в РИНЦ отображается 6599 публикаций (на момент обращения — июнь 2020 года). Данный факт свидетельствует о том, что данное направление в целом развивается, но в других сферах жизнедеятельности человека: при цифровой трансформации организаций [8-9], организации образовательного процесса [10-14], а также в энергетическом секторе [15-19]. Много обзорных работ [20-21 и др.]

Предиктивная аналитика в строительстве: проблематика и перспективы использования

Предиктивная аналитика использует исторические и текущие данные для построения моделей, которые выявляют тенденции и закономерности для прогнозирования будущих результатов. Таким образом, она применима в любой отрасли, где имеются доступные данные.

Так, предиктивная аналитика в строительстве набирает все большую популярность и продолжает развиваться по мере того, как цифровая трансформация в строительной отрасли становится приоритетной.

Огромный массив данных, сложность финансирования и масштабность строительных проектов, особенно в эпоху социального дистанцирования и растущего числа удаленных рабочих мест, подталки-

вают строительные компании к применению инструментов и методов, которые могут учесть всю доступную информацию и направить ЛПР (лицо, принимающее решение) к принятию важного и главного стратегически верного управленческого решения.

При этом в большинстве случаев реализация проектов генерирует огромные объемы данных, но лишь небольшая их часть используется для принятия обоснованных решений.

Подтверждением того, что строительные организации все чаще задумываются о более эффективном использовании данных, в том числе для повышения производительности проектов и операций, служат результаты информационного обзора IDC «Состояние информационных стратегий в строительстве». В рамках обзора было опрошено 405 руководителей бизнеса, проектов и ИТ-служб, респондентами стали генеральные подрядчики, субподрядчики и сервисные компании по проектированию, закупкам и строительству в Соединенных Штатах, Соединенном Королевстве, Объединенных Арабских Эмиратах, Австралии и Новой Зеландии.

Так, согласно обзору, 29% респондентов в настоящее время используют решение прогнозной аналитики, в то время как еще 60% планируют инвестировать в решение в течение следующих 24 месяцев, рис. 2.

Опрошенные компании (организации архитектуры, инжиниринга и строительства) рассматривают прогностический подход к проектам как ключ к предвидению и уменьшению задержек по сроку сдачи объектов, созданию более точных прогнозов по финансированию и более эффективному управлению рисками в области безопасности труда и охраны здоровья.



Рис. 3. Перечень строительных рисков, которые минимизирует применение предиктивной аналитики

Ключевым вектором применения предиктивной аналитики в отрасли является снижение строительных рисков. Респонденты отметили безопасность труда и охрану здоровья (29%), работоспособность цепочки поставок (28%), доступность материалов (27%), доступность работников (27%) и перерасход бюджета (25%) в качестве пяти основных областей, где более эффективная стратегия сбора и анализа данных могла бы помочь снизить риски, рис. 3.

Тремя основными направлениями деятельности строительных организаций, когда речь заходит об их стратегии обработки данных, являются качество (45%), производительность (41%) и улучшение бюджета/финансовых показателей (38%), поскольку компании стремятся повысить эффективность принятия решений и улучшить свои операции и результаты проектов.

Кроме того, популярность прогнозной аналитики на глобальном и российском рынках демонстрирует диаграмма Google Trends, рис. 4.

Диаграмма Google Trends демонстрирует популярность того или иного запроса в поисковой системе. Так, согласно данным диаграммы мы можем наблюдать динамику фразы predictive analytics (предиктивная аналитика) с таргетингом «весь мир» за последние 5 лет в категории «бизнес и промышленность».

Начиная с июня 2018 года запрос имеет высокий уровень интереса. За данный период минимальное значение уровня популярности составляло 37 баллов и было зафиксировано в январе 2022 года, а самый пик популярности пришелся на октябрь 2019 года и составил 100 баллов.

В целом, мы видим устойчивый интерес к такому виду аналитики, который сохраняет высокие показатели на протяжении 5 лет.

Обзор ИТ-решений с технологией предиктивной аналитики

Предиктивная аналитика призвана стать важной частью будущего строительной отрасли. На рынке уже существуют разработки и решения, включающие технологии прогнозной аналитики, машинного обучения, анализа больших данных и искусственного интеллекта.

Безусловно для поиска эффективного решения строительным компаниям до момента внедрения необходимо определить область применения, ведь слишком широкая интеграция может не принести должных результатов.

Как упоминалось ранее, ключевой проблематикой при реализации строительных проектов выступает наличие большого количества данных, при этом в редких случаях данный массив служит подспорьем для анализа и последующего принятия обоснованных управленческих решений.

Рассмотрим текущие разработки и ИТ-решения с функцией предиктивной аналитики, применяющиеся в строительной отрасли.

В 2019 году компания Autodesk, Inc. — поставщик программного обеспечения (САПР) для промышленного и гражданского строительства объявила о полномасштабном выходе продукта BIM 360 Construction IQ — программное обеспечение для прогнозной ана-

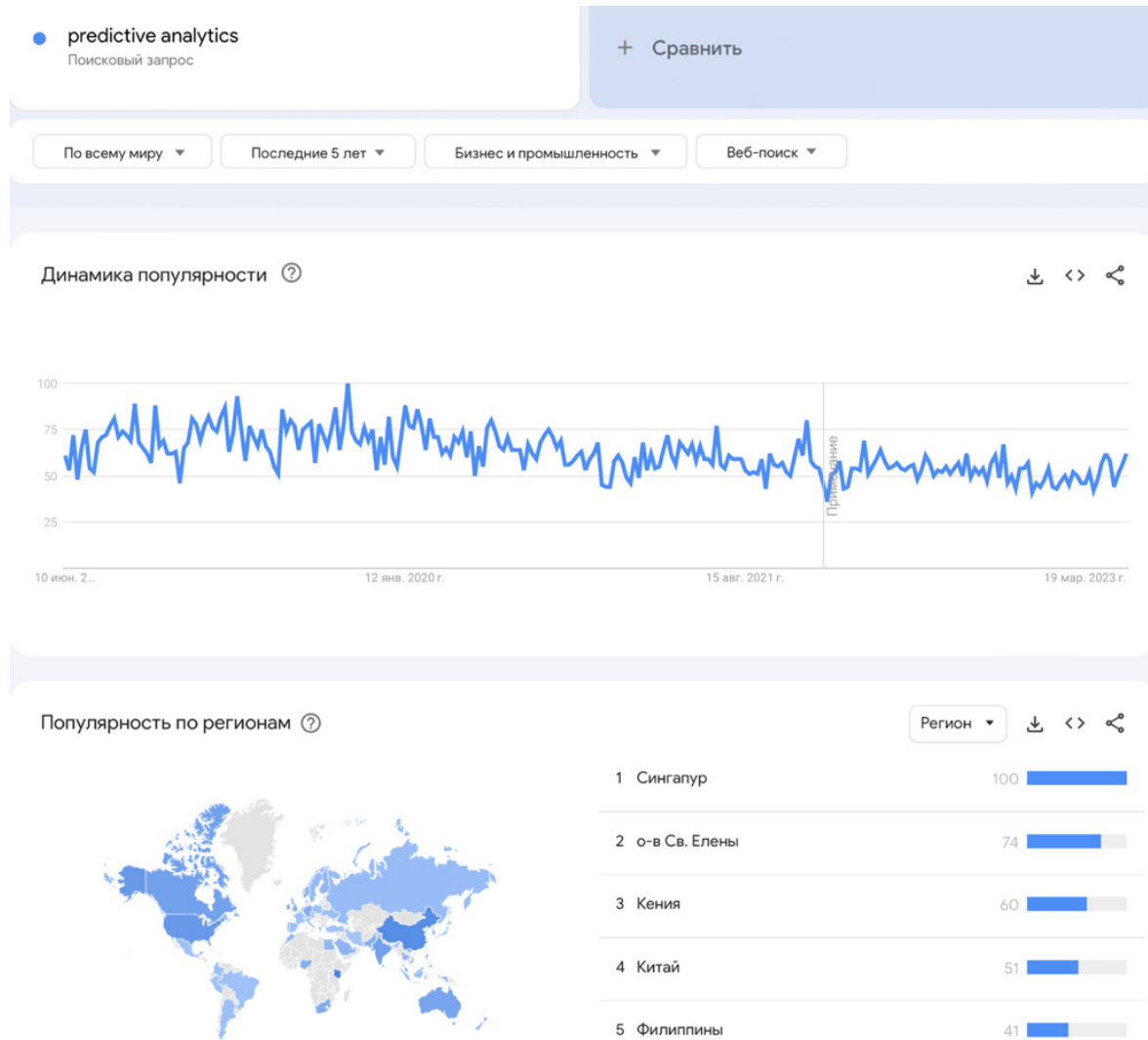


Рис. 4. Результаты диаграммы Google Trends

литики для строительной отрасли для управления рисками и оптимизации рабочих процессов. Используя массив данных, решение позволяет провести тщательный анализ зон риска и предсказать наиболее вероятные проблемы на строительной площадке: соблюдение графика работ, стоимость ущерба, производительность и т.п. Кроме того система анализирует уровень травматизма на строительной площадке, в частности в результате падения с высоты, поскольку они являются основной причиной смерти сотрудников на стройках. Интерфейс решения представлен на рисунке 5.

Уход зарубежных вендоров мотивировал российских разработчиков в ускоренном режиме подойти к вопросу импортозамещения, и в 2022 году ряд отечественных компаний представили свои разработки, обладающие функционалом предиктивной аналитики.

Так компания «Прагма» — один из ведущих разработчиков ИТ-решений в области управления инвестиционно-строительными проектами в своей платформе Pragmascore представила функцию предиктивной аналитики по обеспеченности проекта материалами и оборудованием для строительных организаций. Такой функционал стал доступен пользователям платформы, в частности в модуле Pragmascore. Дашборд. Данная функция позволяет пользователю отслеживать, какие строительные работы будут обеспечены материалами и оборудованием, предотвращать риски срыва сроков поставок и своевременные корректирующие действия, рис. 6.

Еще одна разработка — система предиктивной аналитики монолитных работ S.Monitoring (для внешнего рынка название Viju), от Группы компаний «Самолет».

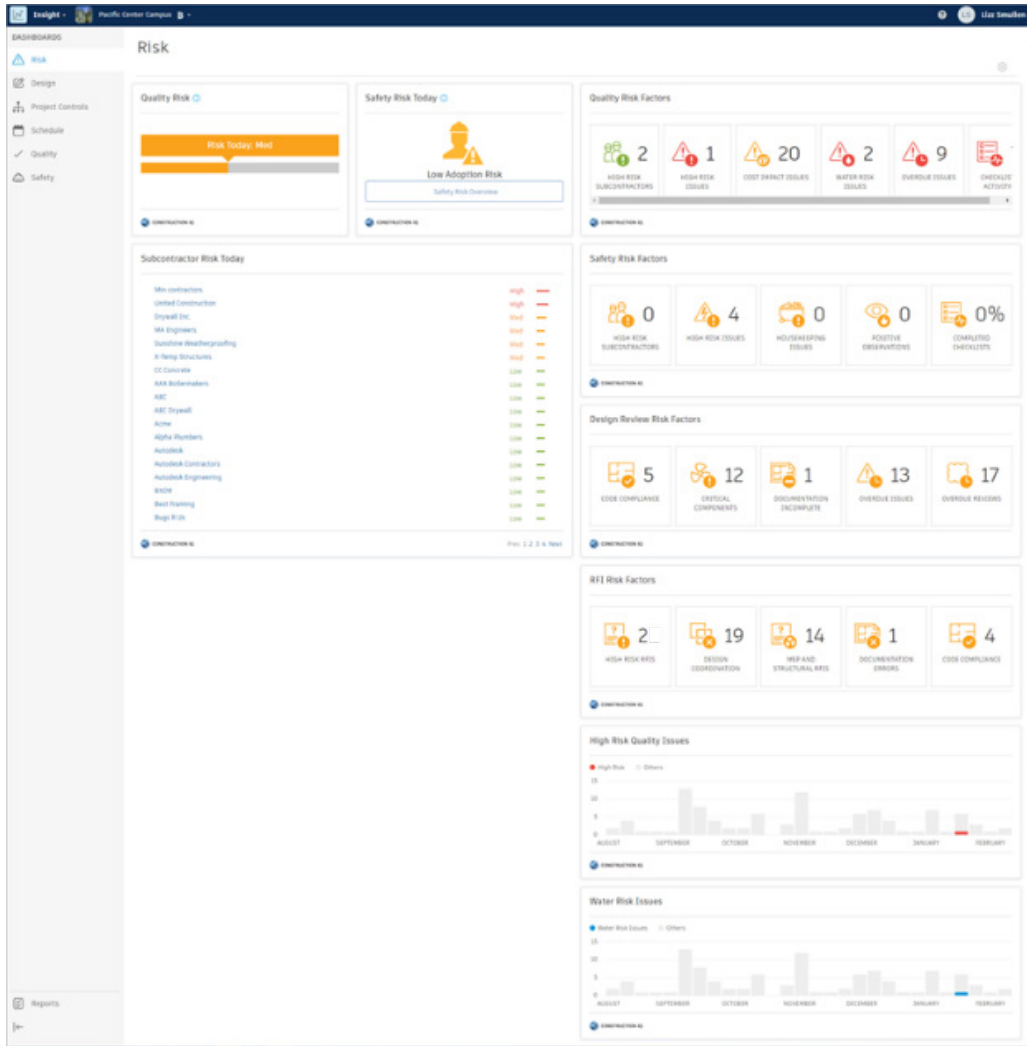


Рис. 5. Интерфейс BIM 360 Construction IQ

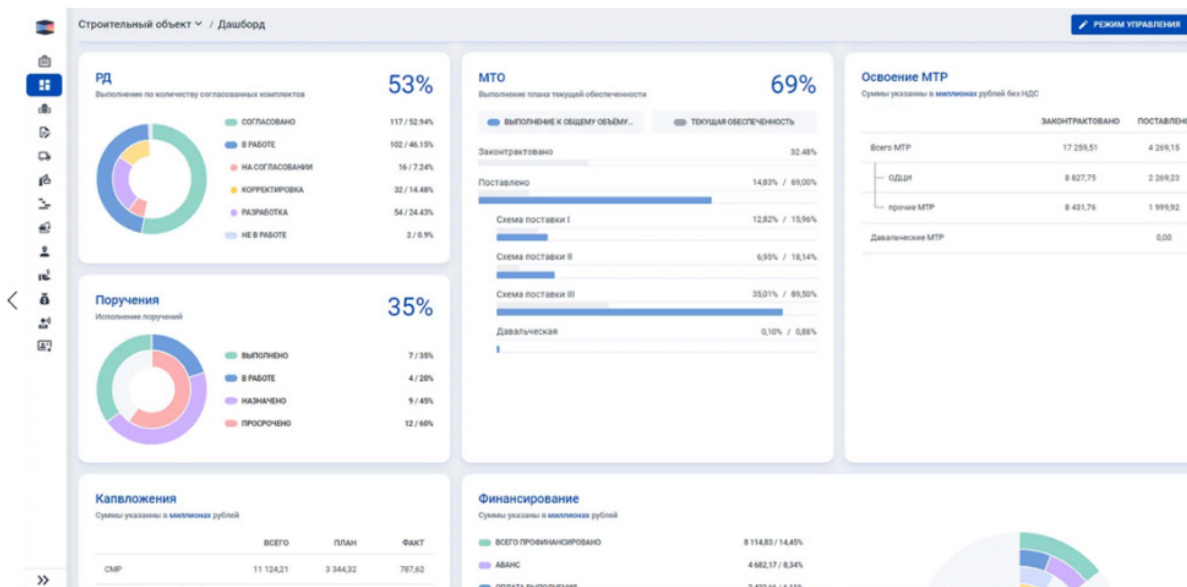


Рис. 6. Интерфейс платформы PragmaSage



Рис. 7. Интерфейс системы Viju/ S.Monitoring

Эта система в онлайн-режиме предоставляет возможность производить подсчет объема выполненных работ, сигнализировать о простоях и определять их причины, прогнозировать срок завершения работ, прогнозировать риски, фиксировать нарушения техники безопасности и идентифицировать нарушителя.

Нейросеть сверяет количество рабочих и отработанное ими время с нормами выработки, которые были обозначены в планах, фиксировать нарушения на объектах, а также в целом предиктивный анализ ключевых показателей строительно-монтажных работ, позволяет влиять на сокращение цикла монолитных работ, увеличение производительности труда и сокращения простоев, что в итоге положительно сказывается финансовой составляющей проекта. Интерфейс системы представлен на рис. 7.

Выводы

Технологии прогнозной аналитики, машинного обучения, анализа больших данных и искусственного интеллекта уже произвели революцию во многих сферах экономики и также в строительстве.

В основе предиктивной аналитики лежит возможность использовать текущие и исторические данные для прогнозирования будущих результатов. Другими словами, эти инструменты позволяют сделать деятельность более предсказуемой.

Строительные компании используют данные для принятия более обоснованных решений, повыше-

ния производительности, безопасности на строительной площадке и снижения рисков. Благодаря таким технологиям сотрудники могут получать критически важную информацию, которая ускоряет принятие управленческих решений и в итоге повышает их качество.

Так, одним из примеров прогностической аналитики в строительстве является возможность составлять бюджеты, учитывающие все возможные факторы, которые могут возникнуть в ходе реализации проекта. Также она может помочь компаниям спрогнозировать количество материала, оценить сезонные потребности в денежных потоках на основе исторических данных и многое другое.

Со временем решения в области прогнозной аналитики, машинного обучения и искусственного интеллекта, вероятно, приведут к более серьезным изменениям и возможностям применения в организациях архитектуры, инжиниринга и строительства.

Уже сейчас компании, которые внедряют действующие инструменты и решения одновременно закладывают основу для более амбициозных инициатив в будущем.

В области научно-исследовательской деятельности работ по рассматриваемому направлению мало и носят они пока пионерный характер.

В то же время основной интерес применения предиктивной аналитики отмечается в нефтегазовой промышленности и в энергетическом секторе.

Список литературы

1. Стищенко С.И., Соболев А.Е., Петраков Ю.А. Удаленный мониторинг бурения 4.0..Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021611808, 05.02.2021. Заявка № 2021611122 от 05.02.2021.
2. Репин А.А., Буланкин А.В., Дрогомирецкий А.В., Мильяев С.А., Макаров М.В., Исаев И.С., Овчинников Р.В. Программа управления жизненным циклом объекта, на основе BIM цифрового двойника. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021664711, 10.09.2021. Заявка № 2021663765 от 03.09.2021. 0
3. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Ложников П.С., Клиновенко С.А., Столяров В.Е., Сафарова Е.А. Интеллектуальные инновационные технологии при строительстве скважин и эксплуатации нефтегазовых месторождений // Газовая промышленность. 2021. № 3 (813). С. 96-104. 6
4. Никитин В.И., Леонтьев М.В. Обзор успешных практик применения методов предиктивной аналитики для моделирования процесса бурения// Ашировские чтения. 2022. Т. 2. № 1 (14). С. 90-94
5. Готов А.В., Зайцев Н.Н. Цифровая эволюция мобильных ГТЭС // Энергия единой сети. 2018. № 3 (38). С. 6-10.
6. Камко Ю.А. Ключевые аспекты повышения эффективности управления техобслуживанием и ремонтами оборудования в компаниях топливно-энергетического комплекса // Надежность и безопасность энергетики. 2018. Т. 11. № 2. С. 103-108.
7. Николаев М.Ю., Макаров В.В., Кропотин В.О., Грицай А.С., Гаак А.В. Повышение качества электроэнергии путем регулирования вентильных генераторов // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2019. № 4 (77). С. 161-176.
8. Носырева А.А., Абрамов В.И. Предиктивная аналитика — основа для цифровой трансформации компаний // В сборнике: Актуальные проблемы экономики, учета, аудита и анализа в современных условиях. Сборник научных статей Международной научно-практической конференции. Научное издание. Курск, 2021. С. 179-182.
9. Павлюченко К.И., Панфилов П.Б., Горшков Г.С. Изучение возможностей предиктивной аналитики данных для цифровой трансформации бизнеса FMCG // Промышленные АСУ и контроллеры. 2021. № 12. С. 37-47.
10. Скляр В.П., Николаев А.А., Масленников А.Г. BIG DATA в образовании как ресурс построения системы предиктивной аналитики // Педагогический вестник. 2022. № 22. С. 77-79.
11. Франтасов Д.Н., Балановская А.В., Репина Е.Г., Воронина Е.В. Разработка модели предиктивной аналитики финансовых поступлений от образовательной деятельности на основе цифрового следа обучающегося // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2022. № 5 (211). С. 52-59.
12. Попов С.С., Якименко В.А. Предиктивная аналитика как основа повышения качества образования. Мониторинг публикационной активности преподавателей //СТИН. 2022. № 4. С. 33-37.
13. Политов А.Ю., Акжигитов Р.Р., Судариков К.А. Анализ моделей и инструментов предиктивной аналитики для анализа образовательных данных // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 28. С. 1055-1065.
14. Токтарова В.И., Пашкова Ю.А. Предиктивная аналитика в цифровом образовании: анализ и оценка успешности обучения студентов//Сибирский педагогический журнал. 2022. № 1. С. 97-106.
15. Цуриков Г.Н. Информационная безопасность системы предиктивной аналитики для объектов тепловой энергетики // В книге: Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тезисы докладов. 2020. С. 914.
16. Липатов М. Первый в России комплекс предиктивной аналитики для энергетического и промышленного оборудования // Экспозиция Нефть Газ. 2016. № 3 (49). С. 82-83.
17. Щербатов И.А., Назаренко А.С., Дмитриева М.А. Анализ объектов энергетики для создания систем предиктивной аналитики// Новое в российской электроэнергетике. 2021. № 8. С. 14-23.
18. Андрушин А.В., Щербатов И.А., Цуриков Г.Н., Титов Ф.М. Создание систем предиктивной аналитики для энергетических объектов // В сборнике: Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2019). Материалы двенадцатой международной конференции. Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. 2019. С. 452-460.
19. Андрушин А.В., Щербатов И.А., Цуриков Г.Н. Обнаружение выбросов данных в системах предиктивной аналитики для оборудования энергетики // Математические методы в технике и технологиях — ММТТ. 2019. Т. 10. С. 112-115.
20. Ильин И.В., Зайченко И.М., Яковлева М.А. Современные тенденции ИГ-аналитики: предиктивная ИГ-аналитика // В сборнике: Фундаментальные и прикладные исследования в области управления, экономики и торговли. Сборник трудов научно-практической и учебной конференции. 2019. С. 267-271.
21. Дрогозов П.А., Леус Н.А. Мировые тенденции развития предиктивной аналитики больших данных в промышленной сфере//Экономика и предпринимательство. 2019. № 4 (105). С. 168-176.

References

1. Stishenko S.I., Sobolev A.E., Petrakov Yu.A. Remote drilling monitoring 4.0..Computer program registration certificate 2021611808, 02/05/2021. Application No. 2021611122 dated 02/05/2021.
2. Repin A.A., Bulankin A.V., Drogomiretsky A.V., Milyaev S.A., Makarov M.V., Isaev I.S., Ovchinnikov R.V. Object life cycle management program based on BIM digital twin. Certificate of registration of the computer program 2021664711, 09/10/2021. Application No. 2021663765 dated 09/03/2021. 0
3. Dmitrievskii A.N., Eremin N.A., Lozhnikov P.S., Klinovenko S.A., Stolyarov V.E., Safarova E.A. Intelligent innovative technologies in the construction of wells and the operation of oil and gas fields//Gas industry. 2021. No. 3 (813). pp. 96-104. 6
4. Nikitin V.I., Leontiev M.V. A Review of Successful Practices in Applying Predictive Analytics Methods for Modeling the Drilling Process // Ashirov Readings. 2022. Vol. 2. No. 1 (14). pp. 90-94
5. Glotov A.V., Zaitsev N.N. Digital evolution of mobile gas turbine power plants// Energy of a single network. 2018. No. 3 (38). pp. 6-10.
6. Kamko Yu.A. Key aspects of improving the efficiency of equipment maintenance and repair management in companies

- of the fuel and energy complex // Reliability and safety of energy. 2018. V. 11. No. 2. S. 103-108.
7. Nikolaev M.Yu., Makarov V.V., Kropotin V.O., Gritsai A.S., Gaak A.V. Improving the quality of electricity by regulating valve generators // Scientific Bulletin of the Novosibirsk State Technical University. 2019. No. 4 (77). pp. 161-176.
 8. Nosyreva A.A., Abramov V.I. Predictive analytics — the basis for the digital transformation of companies // In the collection: Actual problems of economics, accounting, audit and analysis in modern conditions. Collection of scientific articles of the International scientific-practical conference. Scientific publication. Kursk, 2021. S. 179-182.
 9. Pavlyuchenko K.I., Panfilov P.B., Gorshkov G.S. Exploring the possibilities of predictive data analytics for digital business transformation FMCG // Industrial automated control systems and controllers. 2021. No. 12. S. 37-47.
 10. Sklyarov V.P., Nikolaev A.A., Maslennikov A.G. BIG DATA in education as a resource for building a predictive analytics system // Pedagogical Bulletin. 2022. No. 22. S. 77-79.
 11. Frantasov D.N., Balanovskaya A.V., Repina E.G., Voronina E.V. Development of a model for predictive analytics of financial income from educational activities based on the student's digital footprint // Bulletin of the Samara State University of Economics. 2022. No. 5 (211). pp. 52-59.
 12. Popov S.S., Yakimenko V.A. Predictive analytics as a basis for improving the quality of education. Monitoring the publication activity of teachers // STIN. 2022. No. 4. S. 33-37.
 13. Politov A.Yu., Akzhigitov R.R., Sudarikov K.A. Analysis of models and tools of predictive analytics for the analysis of educational data // Innovations. The science. Education. 2021. No. 28. S. 1055-1065.
 14. Toktarova V.I., Pashkova Yu.A. Predictive Analytics in Digital Education: Analysis and Evaluation of Student Learning Success // Siberian Pedagogical Journal. 2022. No. 1. S. 97-106.
 15. Tsurikov G.N. Information security of a predictive analytics system for thermal power facilities // In the book: Radio electronics, electrical engineering and energy. Abstracts of reports. 2020. S. 914.
 16. Lipatov M. Russia's first complex of predictive analytics for power and industrial equipment // Exposure Oil and Gas. 2016. No. 3 (49). pp. 82-83.
 17. Shcherbatov I.A., Nazarenko A.S., Dmitrieva M.A. Analysis of energy facilities to create predictive analytics systems // New in the Russian electric power industry. 2021. No. 8. S. 14-23.
 18. Andryushin A.V., Shcherbatov I.A., Tsurikov G.N., Titov F.M. Creation of predictive analytics systems for energy facilities // In the collection: Management of the development of large-scale systems (MLSD'2019). Materials of the twelfth international conference. Under the general editorship of S.N. Vasilyeva, A.D. Tsvirkun. 2019. S. 452-460.
 19. Andryushin A.V., Shcherbatov I.A., Tsurikov G.N. Detection of data outliers in predictive analytics systems for energy equipment // Mathematical methods in engineering and technology — MMTT. 2019. V. 10. S. 112-115.
 20. Ilyin I.V., Zaichenko I.M., Yakovleva M.A. Modern trends in hr-analytics: predictive hr-analytics // In the collection: Fundamental and applied research in management, economics and trade. Collection of works of scientific-practical and educational conference. 2019. S. 267-271.
 21. Drogozov P.A., Leus N.A. Global trends in the development of predictive big data analytics in the industrial sector // Economics and Entrepreneurship. 2019. No. 4 (105). pp. 168-176.

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

ВЫБОР ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

УДК 69.004.9

Шилкина Светлана Вячеславовна

канд. техн. наук, доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительного университет (кафедра «Механизация и автоматизация строительства»), Москва, Россия;
shilkinaSV@mgsu.ru

Иванова Ольга Вячеславовна

студент, Национальный исследовательский Московский государственный строительного университет (кафедра «Механизация и автоматизация строительства»), Москва, Россия;
oxolyi@mail.ru

Статья получена: 19.04.2023. Одобрена: 28.05.2023. Опубликовано онлайн: 27.06.2023 © РИОР

Аннотация. Информационное моделирование зданий связано с процессом сбора данных о здании в централизованном хранилище, данные которого используются всеми заинтересованными сторонами на каждом этапе жизненного цикла здания. Эти сведения необходимы не только при проектировании и строительстве основных конструкций объекта, но и для разработки систем управления инженерным оборудованием здания, к ним относятся системы управления электроснабжением, водоснабжением, водоотведением, отоплением, вентиляцией и кондиционированием воздуха. Соответствующая информация, как о здании, так и о его системах является основой проектирования автоматизации процессов, предоставляя новые возможности по оптимизации страте-

гии управления, как для повышения энергоэффективности объекта, так и для удобства пользователей. На этапе эксплуатации здания задействованы специалисты различных областей и уровней, которым требуются сведения и документы от других участников проекта. Кроме того, применение технологий информационного моделирования (ТИМ) позволяет избежать дублирования данных по объекту и значительно повышает достоверность хранящейся информации. По этой причине на сегодняшний день появилось множество поставщиков программного обеспечения для решения задач BIM, они предлагают решения, как для отдельных этапов, так и для всего периода жизни объекта, начиная с разработки концепции проекта и заканчивая сносом здания по завершении экс-

THE CHOICE OF SOFTWARE FOR THE IMPLEMENTATION OF PROJECTS BASED ON INFORMATION MODELING TECHNOLOGIES

Shilkina Svetlana

Ph.D., Associate Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU) (Department of «Mechanization and Automation of Construction»), Moscow, Russian Federation;
shilkinaSV@mgsu.ru

Ivanova Olga

student, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU) (Department of «Mechanization and Automation of Construction»), Moscow, Russian Federation;
oxolyi@mail.ru

Abstract. Building information modeling is associated with the process of collecting data about a building in a centralized repository, the data of which is used by all stakeholders at each stage of the building's life cycle. This information is necessary not only for the design and construction of the main structures of the facility, but also for the development of control systems for the engineering equipment of the building, these include control systems for power

supply, water supply, sanitation, heating, ventilation and air conditioning. Relevant information about both the building and its systems is the basis for the design of process automation, providing new opportunities to optimize the management strategy, both to improve the energy efficiency of the facility and for the convenience of users. At the stage of operation of the building, specialists from various fields and levels are involved, who need information and documents from other project participants. In addition, the use of information modeling technologies (TIM) avoids duplication of data on the object and significantly increases the reliability of stored information. For this reason, today there are many software vendors for solving BIM tasks, they offer solutions both for individual stages and for the entire life of the object, starting with the development of the project concept and ending with the demolition of the building upon completion of operation. The purpose of this article is to conduct a comparative analysis of software from different developers, to show the possibilities of using information modeling technologies for the development of projects for the construction and operation of a building at the stages of its life cycle.

Keywords: information modeling technologies, building life cycle, building engineering systems, design technology software.



Рис. 1. Укрупненная схема основных разделов разработки проекта

платации. Цель данной статьи: провести сравнительный анализ программного обеспечения разных разработчиков, показать возможности применения технологий информационного моделирования для разработки проектов по строительству и эксплуатации здания на этапах его жизненного цикла.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования, жизненный цикл здания, инженерные системы зданий, программное обеспечение технологий проектирования

Введение

Автоматическое создание стратегий управления — это подход к определению работы систем жизнеобеспечения здания с использованием информации о пространственной структуре здания, его физических характеристиках, например, теплоизоляционных свойствах, а также пространственном расположении, включая топографические особенности местности и возможности обеспечения необходимыми ресурсами при эксплуатации объекта. Эти данные обычно аккумулируются на этапе разработки предварительного проекта и могут храниться в BIM-модели [1...7], где все заинтересованные стороны могут получить к ним доступ и, по мере надобности, изменять их. Хорошо известны инструменты планирования BIM, такие как Revit^[1], Allplan^[2] и ArchiCAD^[3]. Однако все

эти системы используют различные форматы данных для внутреннего хранения, что делает весьма затруднительным свободный обмен данными между ними. Спасает то, что все вышеперечисленные инструменты способны экспортировать данные с использованием формата Industrial Foundation Classes (IFC), стандартизированного как ISO 16739^[4].

На наш взгляд, говорить, что BIM (Building Information Modeling — BIM) это просто цифровое представление функциональных и физических характеристик проектируемых, строящихся или эксплуатируемых зданий, т.е. набор строительных цифровых чертежей, не совсем корректно. Более полное понимание даёт рисунок 1, на котором представлены основные разделы разработки проекта.

Востребованность технологии моделирования легко понять, она связана с взаимозаменяемостью информационных моделей, когда больше нет необходимости в постоянном контроле и проверке всех этапов строительства, так как база автоматически меняется при внесении изменений в проект. Основные области применения BIM в жизненном цикле здания (Рис.2) [4...7]:

- Инвестиционная и предынвестиционная стадия строительного процесса.
- Проработка деталей проекта в соответствии с нормативными документами.
- Анализ информационной модели.
- Составление графиков и смет.
- Строительная логистика.
- Эксплуатация и техническое обслуживание.
- Демонтаж или реконструкция объекта.

[4] Industry Foundation Classes (IFC) for Data Sharing in the Construction and Facility Management Industries; EN ISO 16739:2019; ISO International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2019

[1] Multidisciplinary BIM Software for Higher-Quality, Coordinated Designs. Available online: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview> (accessed on March 09, 2023).

[2] Allplan. Available online: <https://www.allplan.com/> (accessed on March 09, 2023)

[3] Archicad. Available online: <https://www.graphisoft.com/archicad/> (accessed on March 09, 2023)



Рис. 2. Применение BIM в жизненном цикле объекта

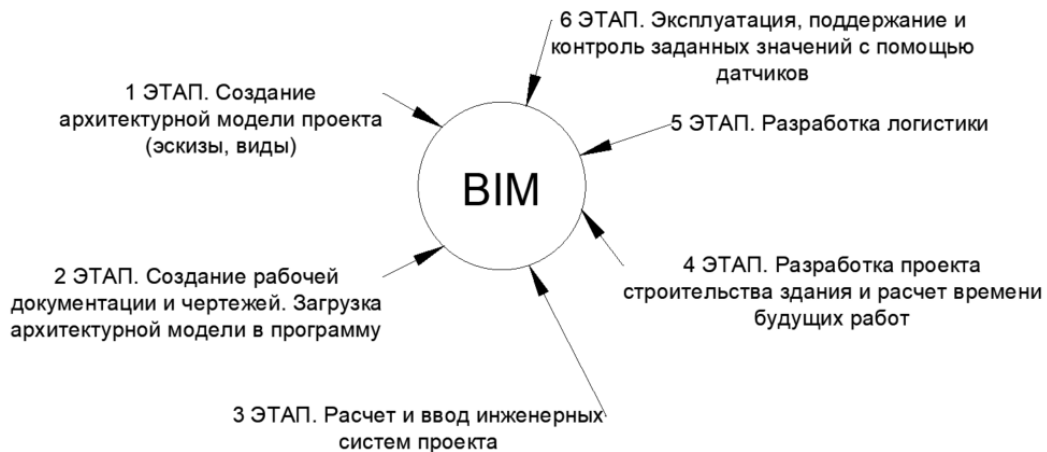


Рис. 3. Основные этапы внедрения BIM-технологии.

BIM затрагивает все области, связанные со строительством и эксплуатацией зданий [5...9]. Когда в одной модели рассматриваются все области, то проще определить каждый этап жизненного цикла. Основные этапы внедрения BIM представлены на рис. 3.

Далее представим описание этапов.

Этап 1. Проектирование конструктивных элементов здания, включая все необходимые детали: эскизы, чертежи.

Этап 2. Созданные планы и чертежи вводятся в программное обеспечение, которое рассчитывает все детали здания. После этого создаются строительные чертежи и другая сопутствующая документация. Эта документация необходима для этапа строительства и для создания проектной сметы.

Этап 3. Расчеты производятся для необходимых технических систем, таких как электроснабжение, освещение, теплоснабжение, водоснабжение.

Этап 4. С помощью специализированного программного обеспечения BIM рассчитывается время, необходимое для строительства объекта. Дополнительные расчеты также производятся до начала этапа строительства.

Этап 5. Разработка логистики. Рассматриваются логистические потоки, на этапе осуществляется введение информации о необходимых поставках ресурсов, требуемых для строительства.

Этап 6. После завершения строительных работ BIM-модель здания также продолжает функционировать и прорабатываться. Это связано с тем, что



Рис. 4. Матрица SWOT-анализа BIM (разработано авторами)

параметры датчиков и систем должны поддерживаться, контролироваться и корректироваться на протяжении всего времени существования здания.

Кроме того, надо принимать во внимание, что BIM-технологии постоянно совершенствуются [7–9]. Поэтому говорить в настоящее время о «размере» BIM весьма затруднительно. На основании анализа процесса развития BIM можно выделить следующие разделы (после создания 3D-модели, включающую в себя архитектурную часть проекта и инженерное оборудование):

4D — процесс графического моделирования хода строительства, включая логистику, с учетом времени.

5D — модуль расчета стоимостных показателей проекта, позволяющий мгновенно генерировать бюджеты затрат и финансовые иллюстрации модели в зависимости от времени.

6D — разработка алгоритмов управления готовыми объектами, особенно эксплуатацией инженерных коммуникаций.

Можно утверждать, с учетом мнения специалистов, что в модели здания существует почти бесконечное число измерений, и все чаще эту многомерную способность BIM-технологии обозначают в виде «nD».

Этап проектирования инженерных систем является одним из самых главных в составлении полной картины информационной модели проекта. Благо-

даря точности, которая достигается с помощью составления трехмерной модели, ошибок в строительстве практически нет. Например, руководитель строительного процесса или проектировщик могут увидеть, что в данный момент выполняется в проекте, эта возможность позволяет упростить визуализацию объекта [6...9].

Целью исследования, предлагаемого авторами статьи, является анализ основных преимуществ технологий информационного моделирования на этапах проектирования, применение программного обеспечения для разработки стратегий управления системами жизнеобеспечения здания. Статья носит обзорный характер, рассматриваются используемые виды программного обеспечения при проектировании основных компонентов для разработки инженерных систем здания.

Материалы и методы

Для исследования BIM авторами предлагается использовать SWOT-анализ, он позволяет наглядно, в виде сравнительных информационных таблиц и графиков рассмотреть все возможности, сильные и слабые стороны, а также оценить риски применения технологии (рис.4-рис.9, табл.1). Данный метод привлекателен тем, что с его помощью можно много-

Результаты ранжирования после проведения SWOT-анализа

Сильные стороны U = 431	Слабые стороны U = 210
S1: Точность расчетов — Z = 9 P = 10 V = 90	W1: Плохая изученность BIM компаниями — Z = 8 P = 6 V = 48 Далеко не все компании знают все функции BIM, которые они могут использовать для составления полной картины информационной модели
S2: Возможность рассчитать риски — Z = 9 P = 9 V = 81 Возможность составить анализ рисков на основе информационной модели	W2: Высокая стоимость ПО и обучения — Z = 7 P = 6 V = 42 Основное ПО для разработки информационных моделей является дорогостоящим продуктом, а также обучение персонала займет достаточное время
S3: Автоматический расчет конструкций — Z = 10 P = 9 V = 90 Особенно важно при сложной и уникальной архитектуре проекта	W3: Новая концепция проектирования — Z = 8 P = 7 V = 56 Раньше не было таких концепций, как все в одном, поэтому необходимо время для выработки привычки у сотрудников
S4: Единое пространство для документации — Z = 10 P = 9 V = 90 Возможность работать в одном пространстве со всей документацией проекта, а также видеть работу проектировщиков разной направленности	W4: Потеря накопленных методов — Z = 8 P = 8 V = 64 Из-за перехода на новые технологии многие методы, которые были эффективны в САПР, становятся бесполезными
S5: Доступность проекта для участников — Z = 10 P = 8 V = 80 Любой член команды имеет возможность видеть всю документацию	
Возможности U = 234	Угрозы U = 105
O1: Наблюдение в процессе эксплуатации — Z = 9 P = 6 V = 54 В процессе эксплуатации сооружения есть возможность корректировать работу инженерных установок, а также можно грамотно планировать ремонты сооружения	T1: Усложнение ПО — Z = 6 P = 5 V = 30 Время не стоит на месте, а значит технологии могут совершенствоваться. К таким событиям могут быть не все сотрудники готовы
O2: Оптимизация проектирования — Z = 10 P = 9 V = 90 У каждого работника установлена одна и та же программа, с помощью которой осуществляется проектирование. Работа производится одновременно	T2: Повышение квалифицированности персонала — Z = 5 P = 8 V = 40 Чем более сложными и новыми технологии становятся, тем больше возникает необходимость в повышении квалификации у сотрудников
O3: Сокращение сроков проектирования — Z = 10 P = 9 V = 90 Выполнение проекта становится быстрее и, при этом не теряется качество выполнения работ	T3: Нет хорошего отечественного ПО — Z = 5 P = 7 V = 35 На данный момент в сложившейся ситуации нет качественных альтернатив иностранному ПО по BIM

сторонне рассмотреть все нюансы технологии, а также возможно построение прогнозов и планов, связанных с её улучшением [10, 11].

Условные обозначения рис.4: S (strengths) — сильные стороны; W (weakness) — слабые стороны; O (opportunities) — возможности; T (threats) — риски. Выбор основных параметров для проведения SWOT-анализа приведён на рис.4

Для создания графической интерпретации сначала выполним ранжирование для каждого пункта вышеприведённой матрицы в табличной форме. Результаты ранжирования, полученные авторами статьи, приведены в Табл. 1

Условные обозначения, используемые в Табл/ 1: Z — оценка фактора, то есть насколько этот фактор

является важным (по шкале от 0 до 10); P — важность фактора в данной категории (по шкале от 0 до 10); V — значимость фактора, которая выводится как произведение оценки фактора на важность фактора; U — среднее арифметическое для каждой категории по важности.

Оценивать каждый фактор и категорию необходимо для наглядного отображения на графиках значимости сильных, слабых сторон, рисков и возможностей. Данный метод анализа достаточно распространён, он часто применяется в бизнес-планировании проектов для составления стратегии дальнейшего развития компании [10, 11]. Далее для наглядности на основе результатов табличного анализа с учётом ранжирования представим все факторы и категории

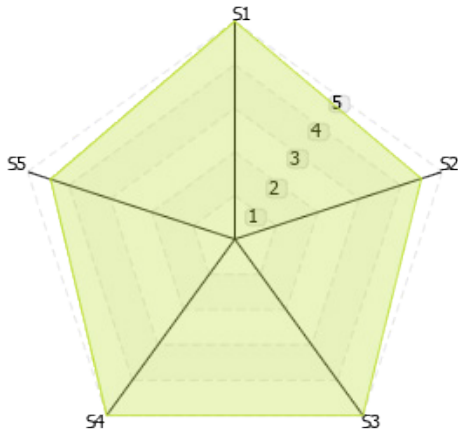


Рис. 5. Факторы категории сильные стороны

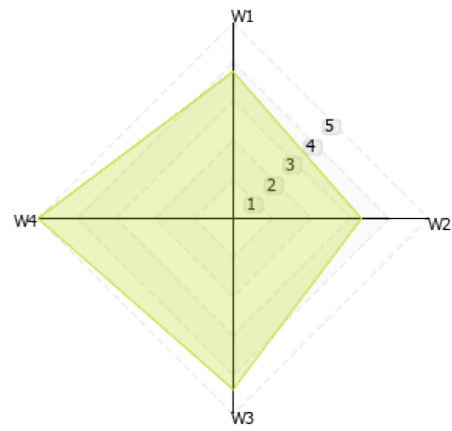


Рис. 6. Факторы категории слабые стороны

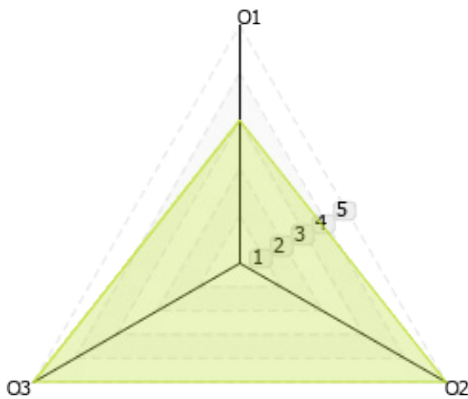


Рис. 7. Факторы категории возможности

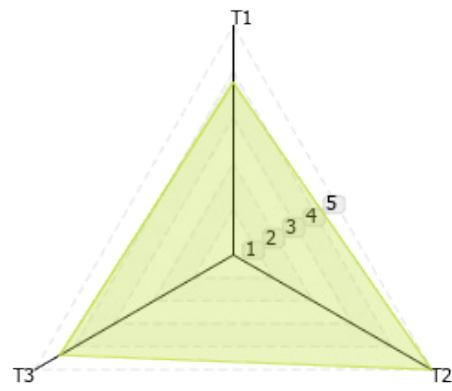


Рис. 8. Факторы категории риски

в графическом виде и определим для каждой категории факторы, имеющие большее влияние (рис. 5–8).

Таким образом, легко заметить, что в категории сильные стороны самыми влияющими факторами являются 3 фактора: S1, S3, S4, а S2 и S5 имеют меньшее влияние. Это хороший показатель для технологии, означающий, что почти все значимые слабые стороны проработаны максимально. В слабых моментах технологии выражен умеренный характер, однако W4 указывает на то, что необходима проработка по замещению методов, то есть, чтобы накопленные методы проектирования можно было легко заменить новыми. Возможности хорошо проработаны, однако необходимо развивать область контроля над этапом эксплуатации зданий, то есть контролируемые параметры должны быть максимально точными и определять реальную модель поведения здания в цикле. Для категории рисков сложно дать однозначные рекомендации, так как повышение квалификации сотрудников — это неотъемлемая часть развития технологий, поэтому можно сказать,

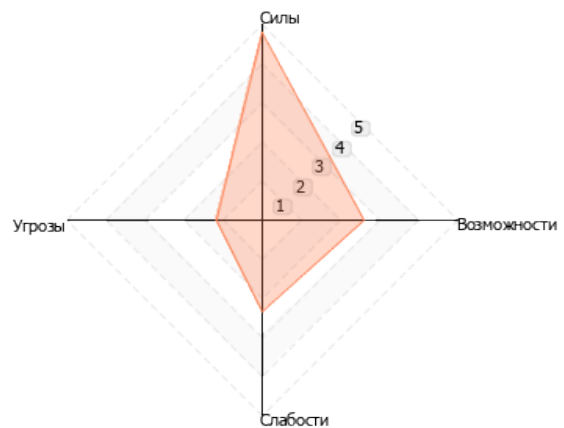


Рис. 9. Диаграмма SWOT-направлений

что риски являются типовыми для новых технологий и их сокращение возможно только по истечении некоторого времени. Подводя итог проведённого исследования, представим диаграмму всех направлений (категорий) BIM-моделирования (рис.9), подтверждающую наличие ряда положительных моментов

технологии, свидетельствующих о выгоды её применения.

Общемировая практика показывает, что благодаря применению данной технологии можно:

1. До 40% снизить риск ошибок.
2. В 2 раза сократить время, необходимое для реализации проекта.
3. На 10% сократить время строительства и монтажа оборудования.
4. На 10% снизить общую стоимость.
5. В 6 раз сократить время, затрачиваемое на проверку всех параметров и показателей.
6. Ввод построенного объекта в эксплуатацию значительно упрощается, так как все детали проекта визуализированы и хранятся в одном месте.

Основные инструменты для проектирования информационных моделей

Учитывая популярность BIM-технологий, в настоящее время появилось множество разработок, позволяющих обеспечить их эффективное применение [12...18]. Рассмотрим программные продукты и особенности их применения.

1. **Allplan.** Данное программное обеспечение создано компанией Nemetschek Allplan Systems GmbH. Программное обеспечение представляет комплекс, который позволяет создать проект с начала и до конца. Преимуществом программы является возможность использования чертежей и проектов из других программ (например, AutoCAD, MicroStation). Все чертежи и документы автоматически генерируются в соответствии с действующими ГОСТ и СНиП, что позволяет сократить время на проверку точности работы. Если с чертежами возникли проблемы, например, отсутствуют данные и чертежи необходимо переделать, программа позволяет быстро оформить и отредактировать их на основе сгенерированных расчетов и параметров. Существует также возможность удаленного управления проектами. Данная функция включает в себя назначение подрядчиков и руководителей отделов, управление базой данных и управление условиями на этапах проекта.

2. **ArchiCAD.** Программное обеспечение для архитектурного и структурного проектирования от Autodesk. Помимо двухмерного проектирования, где каждый проект создается индивидуально, эта программа имеет функцию «виртуального здания». Функция позволяет одновременно обрабатывать весь проект. Изменения и корректировки можно вносить автоматически, искать похожие элементы во всех чертежах и изменять

сами параметры. Эта функция повышает эффективность проекта и позволяет быстро выявлять и исправлять дефекты. Как и в большинстве программ BIM, можно ввести информацию о конструкции здания и автоматически рассчитать параметры. Облачные серверы позволяют одновременно работать нескольким группам специалистов, что делает согласование данных проекта более эффективным.

3. **Revit.** Программное обеспечение для автоматизированного проектирования от Autodesk. Позволяет ряду специалистов работать над проектом одновременно, снижая риск повторений и ошибок на 90%. Можно создавать любые сложные проекты. Строительное моделирование позволяет разделять объекты и впоследствии манипулировать элементами для отражения методов строительства. Также возможно нанесение пометок на элементы во время строительства, которые могут быть использованы для последующего проектирования.

4. **Renga.** Принцип работы этой программы базируется на возможности проектирования в трехмерном пространстве и на использовании простой и контекстно-зависимой рабочей среды. В этой программе инженеры и архитекторы одновременно работают над одной и той же моделью. Все спецификации и списки материалов генерируются автоматически на основе проектных данных. Остальные функции точно такие же, как и у других программ, с одним отличием: данная программа позволяет эффективно представить проект клиенту.

5. **MicroStation.** Программа была создана в процессе апробации, с учётом проб и ошибок, всех потребностей архитекторов и инженеров, которые работают с информационными моделями. Это ПО позволяет создавать взаимосвязь трехмерных и двумерных проектных данных, получать актуальную документацию в виде точных чертежей, реалистичных фотографий, а функции анализа позволяют создавать модели реальных процессов. Отличается высокой точностью совместимости, которая дает возможность объединения данных из различных источников.

6. **Tekla.** Точные трехмерные информационные модели, созданные с помощью Tekla Structures, обеспечивают новый уровень эффективности для всех сторон, участвующих в строительном проекте. Инженеры-строители, проектировщики, изготовители стальных или железобетонных конструкций, подрядчики и руководители проектов могут получить доступ к автоматически обновляемым моделям, содержащим необходимые им данные, что позволяет всем участникам проекта создавать, объединять,

управлять и обмениваться подлинно технической информацией в режиме реального времени.

7. **BIM Wizard.** Это программное обеспечение представляет собой комплексное решение для автоматизации процесса составления сметы. Данные для документации берутся из моделей Revit.

8. **Edificius BIM Software.** Это программное обеспечение объединяет в себе все, что связано с BIM-моделированием, например, объектное моделирование, архитектуру, проектные и реконструкционные чертежи, а также имеет территорию моделирования. Это программное обеспечение больше всего подходит для дизайнеров и архитекторов, в своем арсенале имеет большие библиотеки дизайнов и шаблонов.

Результаты

Представим результаты сравнительного анализа двух программ: Revit и Renga (Таблица 2), они схожи по своему функционалу и чаще всего используются в BIM-моделировании на отечественном рынке [19–21].

Для сравнения программного обеспечения авторами также представлен график: критерий-оценка (рис.9), подтверждающий, что ПО «Renga» имеет больше преимущественных критериальных составляющих, чем ПО «Revit».

Renga - довольно новое программное обеспечение, и, тем не менее, оно не отстает от зарубежного аналога, что указывает на высокий уровень работы команды профессионалов [20, 22]. Вне сомнения, в будущем это ПО станет мировым лидером в области моделирования зданий, сооружений.

Отметим, что с 1 января 2022 года все государственные заказы, связанные со строительством и проектированием, должны выполняться с применением BIM. Данный шаг позволил объединить основ-

ные этапы жизненного цикла проектов. В связи с уходом компании Autodesk из РФ и необходимостью развития российского ПО — был произведен переход на отечественное программное обеспечение, от BIM к технологиям информационного моделирования (ТИМ) [21]. На выбор ПО повлияли также и отрицательные моменты, связанные с использованием Revit. С каждым годом продукт компании Autodesk менял условия лицензирования, что вело к его удорожанию в целом. Производительность ПО падала в связи с ростом библиотек и семейств, количеством выполняемых одновременно функций. Для качественной работы необходим высокопроизводительный компьютер с мощным процессором. В качестве сравнения можно привести данные по производительности Renga и Revit: отрисовка в российской программе выполняется в среднем за 30 кадров в секунду, а в иностранной — 3-5 кадров в секунду и далеко не всегда полностью выполняется геометрия [20...24]. Эти минусы имеют высокий вес для компаний, занимающихся ТИМ-моделированием. В связи с этим в настоящее время стоит вопрос о замене известного Revit на другое ПО. В качестве данных для проведения анализа используем статистику апреля 2023 года [24]. До санкций, введенных в 2022 году, основной компанией на рынке в РФ являлась Autodesk (98,6%), при этом Renga использовалась лишь 2% компаниями. По результатам проведенных опросов более половины специалистов считают привлекательным именно ПО «Renga» из представленных на отечественном рынке на данный момент. Недовольство пользователей от использования отечественного ПО тоже имеется. Дело в том, что Renga или другое российское ПО развивается ускоренными темпами, что не грозит компании Autodesk из-за их длительного нахождения на рынке проектирования [23,24,25]. Не-

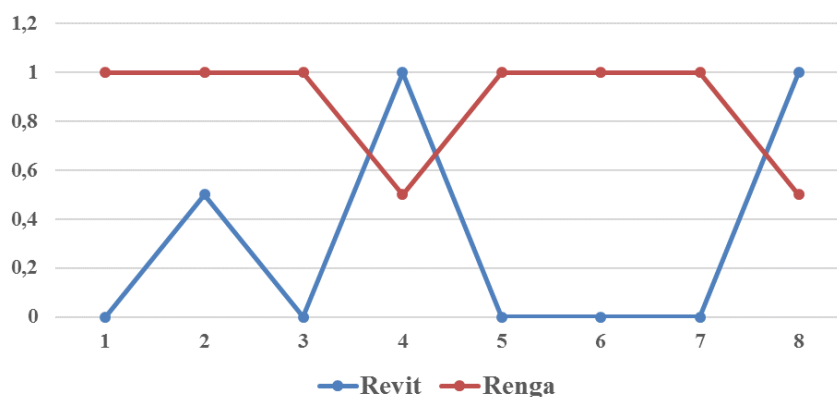


Рис. 9. Результаты сравнения программного обеспечения (составлено авторами)

Таблица 2

Результаты сравнительного анализа программ (составлено авторами)

№	Наименование показателя/критерия	Комментарий	Весомость (по шкале, где 1 — низкая оценка, 5 — наибольшая оценка)	Варианты программного обеспечения		Оценка сравнения для	
				ПО Revit	ПО Renga	ПО Revit	ПО Renga
1	Производитель	В связи с развитием импортозамещения сейчас выгоднее Renga.	4	Иностраный	Отечественный	0	1
2	Отображение необходимых параметров для построения	Преимущество Renga, т.к. Revit имеет более усложненную структуру выполнения такого рода команд	3	Параметры для построения выбираются сложнее	Удобство использования: все необходимые параметры для построения всплывают в выпадающем окне меню	0,5	1
3	Автоматическое задание параметров элементу/объекту (на примере армирования колонны)	В Renga процедура армирования имеет полноценный автоматизированный процесс. В Revit автоматизация процесса проектирования требует реализации значительных дополнительных действий.	4	Армирование возможно только с помощью отдельных компонентов (стержней). Нет полноценной автоматизации процедуры	В программе есть множество автоматических функций. Армирование колонны будет выполняться автоматически, что сокращает затраты на время выполнения работ по проектированию	0	1
4	Обучение программному обеспечению	Для полноценного изучения ПО и получения сертификата специалиста необходимо пройти платное обучение. Бесплатные уроки позволяют понять основные элементы программы	4	Платное обучение / бесплатные обучающие видео	Есть бесплатные видеуроки, а также проводятся конференции	1	0,5
5	Производительность	Производительность. У Renga более высокая производительность при выполнении сложных	5	Большие затраты времени на сохранение и выполнение команд, а также. при выполнении сложных функций	Высокая производительность при редактировании и сохранении элементов. Минимальные задержки при выполнении сложных процедур	0	1
6	Формирование чертежей в соответствии с нормативными документами	Автоматическое формирование данных в соответствии с нормативными документами	3	Нет информации, поэтому принимаем, что чертежи не выполняются в соответствии с нормативными документами	Документирование выполняется в соответствии с российскими нормативными документами [14]	0	1
7	Стоимость ПО	Для крупных компаний выгоднее приобретать Renga	4	95 тыс. рублей на одно рабочее место	270 тыс. рублей — постоянная лицензия	0	1
8	Опыт применения	Revit имеет более выигрышную позицию в данном критерии благодаря своей стабильности и времени нахождения на рынке. Поэтому проектировщикам намного проще использовать знакомое по функционалу ПО	4	Первый выпуск программы был в апреле 2000 года. Программа широко известна на рынке	Renga - современное ПО, которое было создано в 2015 году, а свою популярность стало набирать только в настоящее время из-за сложности использования знакомого иностранного ПО	1	0,5

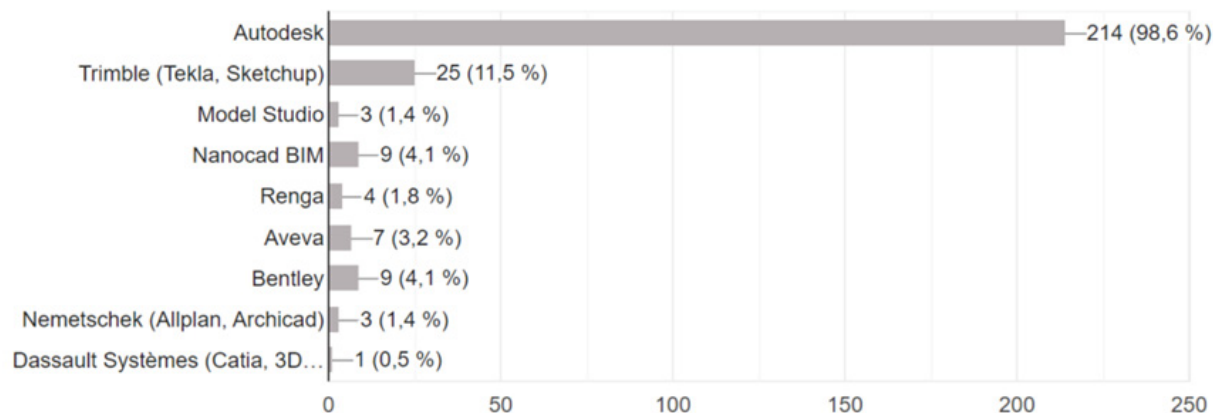


Рис. 10. Применение ПО до 2022 г.

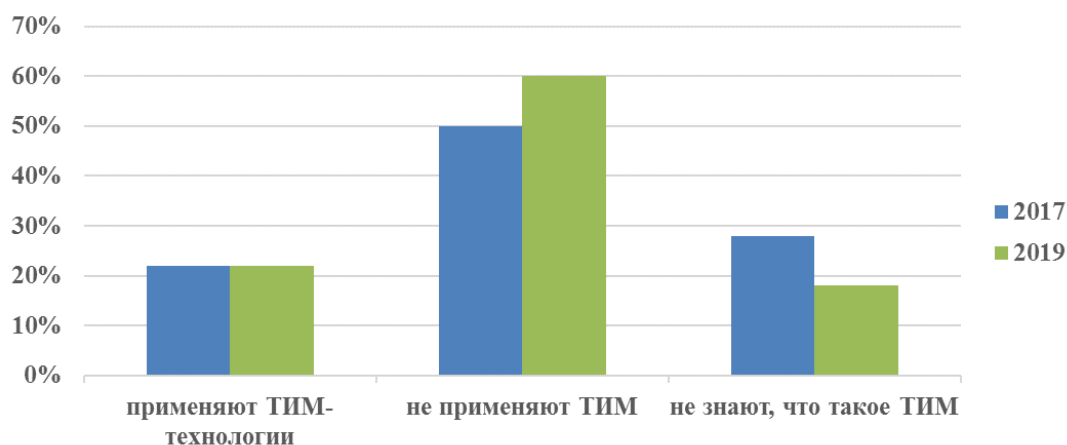


Рис.11. Применение ТИМ в 2017 и 2019 гг.



Рис. 12. Основные причины отказов от ТИМ

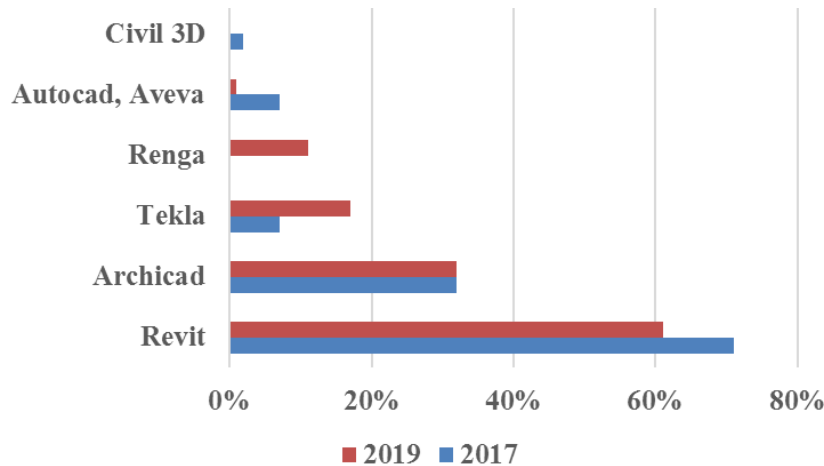


Рис. 13. Программное обеспечение, используемое в ТИМ

которые функции, например, автоматическое армирование, поражают своей качественностью и производительностью, но также есть и недостатки, которые в основном возникают из-за небольшого периода нахождения на рынке и желанием соперничать с уже известными во всем мире программами (рис. 10).

Внедрение ТИМ на территории РФ происходило и ранее, не только в последний год. Проанализируем статистику последних лет по вопросам: использует ли компания ТИМ; причины отказа от использования в данный момент; опыт работы в цифровом моделировании и основное ПО, используемое для моделирования. Отчет представлен за 2017 и 2019 года (рис. 11) [21...25].

Основной причиной отказа от ТИМ в 2017 году было отсутствие соответствующих заказов на цифровые модели, а в 2019 году большая часть компаний разрабатывала план по внедрению ТИМ на ближайшие годы (рис. 12).

В 2017 и 2019 годах примерно 39% компаний использовали ТИМ (рис. 13), и был интересен вопрос о продолжительности применения технологии. ПО Revit занимало первое место, как и в 2022 году до санкций. В 2017 году Renga ещё даже не отображается как ПО по ТИМ, но уже в 2019 году (всего лишь за два года) она смогла занять четвёртое место среди наиболее часто используемых программ. Данный факт говорит о стремительном росте и развитии программы за короткий срок. Таким образом, за последний год ПО «Renga» стало одним из лидеров рынка по информационным моделям за счет своего сходства с Revit и продвижением в области автоматических функций (например, армирование).

Отметим возможность консолидирования проектов в ТИМ с помощью дополнительного программ-

ного обеспечения. Самым популярным среди отечественных продуктов является Pilot-BIM. Данная программа позволяет осуществлять совместную работу над проектом для заказчиков, проектировщиков, разработчиков модели. В Pilot-BIM предусмотрена возможность доступа к актуальной версии модели и к истории изменений, создания замечаний к объектам, а также проверки модели на наличие коллизий. Программа Pilot-BIM максимальна совместима с Renga не только за счет удобства совместного использования, но и за счёт одного и того же отечественного производителя — компании АСКОН. Стоит упомянуть и службу Renga Collaboration Server. С ее помощью можно обеспечить совместную работу над проектом в Renga для нескольких пользователей, персональные компьютеры которых подключены к одному серверу. Это еще плюс одна функция, подчёркивающая достоинства и современность продукта, способность стать достойной заменой существующего ПО на отечественном рынке [23...29].

Автоматизированные системы все чаще применяются в большом количестве проектов для обеспечения эффективного использования всех видов ресурсов в строительстве. ТИМ позволяют грамотно строить здание, эффективно использовать труд проектировщиков, а также дают возможность заботиться о потенциальных клиентах [30]. Также стоит упомянуть о том, что эффективность применения технологии доказана авторами с помощью SWOT-анализа.

Выводы

Применение BIM-технологий — необходимое условие для реализации конкурентных проектов в строительной отрасли при проектировании, строительстве и эксплуатации любых зданий. Построение

полноценной информационной модели здания играет важную роль не только при реализации этапа строительства, но также и в первоначальных инвестиционных затратах и общей продолжительности реализации проекта [25,26,31]. Оценка альтернативных решений на этапе планирования, позволяет рассмотреть больше вариантов, провести комплексные исследования для выбора оптимального варианта под конкретные требования заказчика. Осознавая это, разработчики программного обеспечения уже несколько десятилетий развивают и совершенствуют свои продукты для облегчения работы не только всех непосредственных исполнителей строительного проекта, но и заказчика, а также контролирующих и проверяющих органов. Необходимость развития собственного программного обеспечения в этой области

приводит к появлению отечественных конкурентоспособных продуктов, одним из которых является ПО «Renga». Этот продукт не только не уступает импортным аналогам, но и превосходит их по многим показателям.

В будущем, скорее всего ТИМ (BIM)-технологии перейдут и в другие области нашей жизни, например, сельское хозяйство, маркетинг, бухгалтерский учёт и другие, то есть не будет необходимости составлять отчеты и проекты в разных программах, а все будет единое. Проверки на соответствие законодательству и нормативной документации сократятся, ведь проект будет выполняться автоматически. Ошибок и недоработок будет в разы меньше, поскольку в едином пространстве легко и просто замечать недочеты, осуществлять их корректировку.

Список литературы

1. Казначеевская Т.В., Лебедев В.А. Внедрение технологии информационного моделирования: проблемы и пути их решения // Молодой ученый. 2018. №19.
2. Петрова Е. Предшественники BIM. История проектирования зданий // Цикл авторских публикаций. 2014. [Электронный ресурс]. URL: <http://bim-proektstroy.ru/?p=57> (дата обращения 10.02.2023)
3. Черникова, А.А. Информационное моделирование на стадии эксплуатации здания // Молодой ученый. 2022. № 49 (444). С. 66-68. URL: <https://moluch.ru/archive/444/97392/> (дата обращения: 08.03.2023).
4. Чегодаева, М.А. Этапы формирования и перспективы развития BIM-технологий // Молодой ученый. 2017. № 10 (144). С. 105-108. URL: <https://moluch.ru/archive/144/40481/> (дата обращения: 22.02.2023).
5. Шеина С.Г., Петров К.С., Федоров А.А. Исследование этапов развития BIM-технологий в мировой практике и России // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 14.
6. Рыбин Е.Н., Амбарян С.К., Аносов В.В., Гальцев Д.В., Фахротов Н.А. BIM-технологии. Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019; 9(1). С. 98-105. DOI: 10.21285/2227-2917-2019-1-98-105
7. Tatjana Vilutiene, Diana Kalibatiene, M. Reza Hosseini, Eugenio Pellicer, Edmundas Kazimieras Zavadskas, Building Information Modeling (BIM) for Structural Engineering: A Bibliometric Analysis of the Literature // *Advances in Civil Engineering*, Vol. 2019, Article ID 5290690, 19 pages, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/5290690>
8. Kang, K.-Y.; Wang, X.; Wang, J.; Xu, S.; Shou, W.; Sun, Y. Utility of BIM-CFD Integration in the Design and Performance Analysis for Buildings and Infrastructures of Architecture, Engineering and Construction Industry. // *Здания 2022*, 12, 651. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings12050651>
9. Sampaio, A. and Gomes, A. (2022) Professional One-Day Training Course in BIM: A Practice Overview of Multi-Applicability in Construction // *Journal of Software Engineering and Applications*. V. 15. P. 131-149. doi: 10.4236/jsea.2022.155007
10. Курилкин А.Р. Методы и инструменты стратегического управления организацией // *Современные научные исследования и инновации*. 2017. №6.
11. Изосимов С.В., Шевченко А.Л. Метод SWOT-анализа: его место в методах исследования, преимущества и недостатки // *Экономикс*. 2013. №2.
12. Sampaio, A.Z.; Sequeira, P.; Gomes, A.M.; Sanchez-Lite, A. BIM Methodology in Structural Design: A Practical Case of Collaboration, Coordination, and Integration. *Buildings* 2023, 13, 31. <https://doi.org/10.3390/buildings13010031>
13. Rafael Sacks, Zijian Wang, Boyuan Ouyang, Duygu Utkucu, Siyu Chen, Toward artificially intelligent cloud-based building information modelling for collaborative. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034622001690>. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101711>
14. Autodesk. Информационное моделирование объектов промышленного и гражданского строительства. URL: http://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/metro/img/bim_brochure.pdf (дата обращения: 12.02.2023).
15. Ташкенбай М.Н. Анализ внедрения методологии информационного моделирования зданий (BIM) при проектировании конструкций // Молодой ученый. 2021. №16 (358). С. 114-116. URL: <https://moluch.ru/archive/358/79996/> (дата обращения 23.03.2023)
16. Барабаш М.С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла объектов строительства: Монография. К.: Изд-во «Сталь», 2014. 301 с.
17. Вербицкий В.А. Анализ программных комплексов и опыта внедрения BIM-технологий // *International Journal of Advanced Studies*, Vol. 9, No 2, 2019.
18. Гуртов В.К. Наука России — основа возрождения страны // *ИННОВАЦИИ*, 10. 2015. С. 3-7.
19. Борисов М.П., Вавин А.А., Уткина В.Н. Современные автоматизированные системы REVIT и Renga для информационного моделирования зданий // *Отарёв-Online*. 2020.
20. Renga — российская BIM-система для проектирования. URL: <https://rengabim.com/stati/renga-vs-revit/> (Дата обращения: 01.04.2023)

21. Особенности внедрения BIM (ТИМ) в России. Обзорная статья. URL: https://bimdata.ru/bim_russia_article (Дата обращения: 18.04.2023)
22. Производительности Tekla, Revit и Renga. URL: <https://revitconsalting.blogspot.com/2016/11/tekla-revit-renga.html> (Дата обращения: 20.04.2023)
23. BIM: на что импортозамещают Revit. Блог Вадима Муратова. URL: <https://muratovbim.pro/blog/bim-na-chto-importozameshayut-revit/> (Дата обращения: 20.04.2023)
24. Применение BIM в России Статистика. URL: <https://ru-bezh.ru/managerUploads/imgs/8/77579/statBIM.pdf> (Дата обращения: 20.04.2023)
25. Уровень применения BIM в России. Отчет об исследовании. URL: <https://prombim.csd.ru/upload/iblock/745/Отчет%20об%20уровне%20применения%20BIM%20в%20России%202019.pdf> (Дата обращения: 20.04.2023)
26. Бачурина С.С. Информационное моделирование: методология использования цифровых моделей в процессе перехода к цифровому проектированию и строительству. Ч. 1: Цифровой проектный менеджмент полного цикла в градостроительстве. Теория. М.: ДМК Пресс, 2021. 104 с.
27. Autodesk. Учебные пособия. URL: <https://knowledge.autodesk.com/ru/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2022/RUS/Revit-GetStarted/files/GUID-9E9688A2-0645-4F8E-9D96-F1B76291A6C6-htm.html> (дата обращения: 15.02.2023).
28. Habr. Несколько причин изучать Revit, если ты инженер-строитель. URL: <https://habr.com/ru/sandbox/107974/> (дата обращения: 20.02.2023).
29. Гулик В.Ю. Основы информационного моделирования для проектирования гражданских зданий в программном комплексе Revit // Вестник евразийской науки. 2021. Т.13. № 5. URL: <https://esj.today/PDF/50ECVN521.pdf> (дата обращения: 21.02.2023).
30. Sanchez-Lite, A.; Zulueta, P.; Sampaio, A.Z.; Gonzalez-Gaya, C. BIM for the Realization of Sustainable Digital Models in a University-Business Collaborative Learning Environment: Assessment of Use and Students' Perception. *Buildings* 2022, 12, 971. <https://doi.org/10.3390/buildings12070971>
31. Alc nia Zita Sampaio, Maturity of BIM Implementation in the Construction Industry: Governmental Policies // *International Journal of Engineering Trends and Technology*, Vol. 69, No. 7, pp. 92-100, 2021. URL: <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V69I7P214>

References

1. Kaznacheevskaya T.V., Lebedev V.A. Implementation of Information Modeling Technology: Problems and Ways to Solve // *Molodoy Scientist*. 2018. No. 19.
2. Petrova E. Predecessors of BIM. History of building design// Cycle of author's publications. 2014. [Electronic resource]. URL: [<http://bim-proektstroy.ru/?p=57>] (accessed 10.02.2023)
3. Chernikova, A.A. Information modeling at the stage of building operation / A. A. Chernikova. — Text: direct // *Young scientist*. — 2022. No. 49 (444). S. 66-68. URL: <https://moluch.ru/archive/444/97392/> (date of access: 03/08/2023).
4. Chegodaeva, M.A. Stages of formation and prospects for the development of BIM-technologies / M. A. Chegodaeva. Text: direct // *Young scientist*. — 2017. — No. 10 (144). S. 105-108. URL: <https://moluch.ru/archive/144/40481/> (date of access: 02/22/2023).
5. Sheina S.G., Petrov K.S., Fedorov A.A. Study of the stages of development of BIM-technologies in world practice and Russia // *Construction and technogenic safety*. 2019. No. 14.
6. Rybin E.N., Ambaryan S.K., Anosov V.V., Galtsev D.V., Fakhrotov N.A. BIM technologies. *Izvestiya vuzov. Investments. Construction. Real estate*. 2019;9(1):98-105. DOI: 10.21285/2227-2917-2019-1-98-105.
7. Tatjana Vilutiene, Diana Kalibatiene, M. Reza Hosseini, Eugenio Pellicer, Edmundas Kazimieras Zavadskas, «Building Information Modeling (BIM) for Structural Engineering: A Bibliometric Analysis of the Literature», *Advances in Civil Engineering*, Vol. 2019, Article ID 5290690, 19 pages, 2019 <https://doi.org/10.1155/2019/5290690>
8. Kang, K.-Y.; Wang, X.; Wang, J.; Xu, S.; Shou, W.; Sun, Y. Utility of BIM-CFD Integration in the Design and Performance Analysis for Buildings and Infrastructures of Architecture, Engineering and Construction Industry. *Buildings* 2022, 12, 651. URL: [<https://doi.org/10.3390/buildings12050651>].
9. Sampaio, A. and Gomes, A. (2022) Professional One-Day Training Course in BIM: A Practice Overview of Multi-Applicability in Construction. *Journal of Software Engineering and Applications*, 15, 131-149. <https://doi.org/10.4236/jsea.2022.155007>
10. Kurilkin A.R. Methods and tools of strategic management of an organization // *Modern scientific research and innovation*. 2017. No. 6.
11. Izosimov S.V., Shevchenko A.L. SWOT analysis method: its place in research methods, advantages and disadvantages // *Economics*. — 2013. — No. 2.
12. Sampaio, A.Z.; Sequeira, P.; Gomes, A.M.; Sanchez-Lite, A. BIM Methodology in Structural Design: A Practical Case of Collaboration, Coordination, and Integration. *Buildings* 2023, 13, 31. <https://doi.org/10.3390/buildings13010031>
13. Rafael Sacks, Zijian Wang, Boyuan Ouyang, Duygu Utkucu, Siyu Chen, Toward artificially intelligent cloud-based building information modeling for collaborative multidisciplinary design, *Advanced Engineering Informatics*, Volume 53, 2022, 101711, ISSN 1474-0346, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101711>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034622001690>)
14. Autodesk. Information modeling of industrial and civil construction objects. URL: [http://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/metro/img/bim_brochure.pdf] (Accessed 2/12/2023).
15. Tashkent M.N. Analysis of the implementation of the methodology of information modeling of buildings (BIM) in the design of structures / M.N. Tashkent. — Text: direct // *Young scientist*. 2021. No. 16 (358). S. 114-116. URL: [<https://moluch.ru/archive/358/79996/>] (Accessed 23.03.2023)
16. Barabash M.S. Computer modeling of the processes of the life cycle of construction objects: Monograph. K. : Publishing house «Steel», 2014. 301 p.
17. Verbitsky V.A. Analysis of software systems and experience in implementing BIM technologies // *International Journal of Advanced Studies*, Vol. 9, No 2, 2019.
18. Gurtov V.K. Science of Russia — the basis of the revival of the country / V.K. Gurtov // *INNOVATIONS*, 10. 2015. C. 3-7.

19. Borisov M.P., Vavin A.A., Utkina V.N. Modern automated systems REVIT and RENGA for building information modeling // Ogaryov-Online. — 2020.
20. Renga is a Russian BIM system for design. URL: [https://rengabim.com/stati/renga-vs-revit/] (Date of access: 04/01/2023)
21. Features of the implementation of BIM (TIM) in Russia. Review article. URL: [https://bimdata.ru/bim_russia_article] (Date of access: 04/18/2023)
22. Tekla, Revit and Renga performance. URL: [https://revitconsulting.blogspot.com/2016/11/tekla-revit-renga.html] (Date of access: 04/20/2023)
23. BIM: what imports replace Revit. Blog of Vadim Muratov. URL: [https://muratovbim.pro/blog/bim-na-chto-importozame-shhayut-revit/] (Date of access: 04/20/2023)
24. Application of BIM in Russia Statistics. URL [https://ru-bezh.ru/managerUploads/imgs/8/77579/statBIM.pdf] (Date of access: 20.04.2023)
25. The level of application of BIM in Russia. Research report. URL: [https://prombim.csd.ru/upload/iblock/745/Report%20%20%20application%20BIM%20%20Russia%202019.pdf] (Accessed: 20.04.2023)
26. Bachurina S.S. Information modeling: a methodology for using digital models in the transition to digital design and construction. Part 1: Full cycle digital project management in urban planning. Theory. — M.: DMK Press, 2021. — 104 p.: ill.
27. Autodesk. Teaching aids. URL: [https://knowledge.autodesk.com/en/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2022/RUS/Revit-GetStarted/files/GUID-9E9688A2-0645-4F8E-9D96-F1B76291A6C6 -htm.html] (accessed 02/15/2023).
28. Habr. A few reasons to learn Revit if you're a civil engineer. URL: [https://habr.com/ru/sandbox/107974/] (date of access: 02/20/2023).
29. Gulik V.Yu. Fundamentals of information modeling for the design of civil buildings in the Revit software package / V.Yu. Gulik, I.G. Ovchinnikov // Bulletin of the Eurasian Science. 2021. V.13. No. 5. URL: [https://esj.today/PDF/50ECVN521.pdf] (date of access: 21.02.2023).
30. Sanchez-Lite, A.; Zulueta, P.; Sampaio, A.Z.; Gonzalez-Gaya, C. BIM for the Realization of Sustainable Digital Models in a University-Business Collaborative Learning Environment: Assessment of Use and Students' Perception. Buildings 2022, 12, 971. https://doi.org/10.3390/buildings12070971
31. Alc nia Zita Sampaio, «Maturity of BIM Implementation in the Construction Industry: Governmental Policies,» International Journal of Engineering Trends and Technology, Vol. 69, No. 7, pp. 92-100, 2021. URL: [https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V69I7P214].

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗДАНИЯ СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ

УДК 69.003

Плахутина Александра Александровна

студент, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
Sasha-plah87@ya.ru

Статья получена: 18.05.2023. Одобрена: 15.06.2023. Опубликовано онлайн: 27.06.2023 © РИОР

Аннотация. Информационное моделирование зданий (BIM) и управление жизненным циклом (PLM) становится инновационным способом виртуального проектирования и управления проектами. В последние годы были достигнуты соответствующие успехи в области моделирования, анализа, проектирования, мониторинга и технического обслуживания объектов. Строительная отрасль в настоящее время переживает переход к философии проектирования, ориентированной на жизненный цикл. В данном исследовании рассматривается моделирование жизненного цикла здания на стадии проектирования, эксплуатации и реконструкции в программном комплексе Revit.

Ключевые слова: информационное моделирование зданий, жизненный цикл здания, моделирование, виртуальное проектирование

Информационное моделирование зданий (BIM) привлекает внимание как жизненно важный информационный метод в строительной отрасли.

BIM предоставляет возможность совмещать строительство и управление данными, в полном жизненном цикле, от первоначального проектирования до эксплуатации и управления. Также, BIM позволяет извлекать необходимую информацию о трехмерной модели, включающую не только конструктив, но и свойства материалов. При использовании информационного моделирования на всех этапах жизненного цикла зданий обеспечивается автоматизация про-

ектирования, передача данных в реальном времени, проверка коллизий и отчетности, составление смет и спецификаций.

С развитием BIM-технологий и созданием информационных моделей для объектов капитального или линейного строительства возникает необходимость в создании методов работы с накопленными массивами данных [1,2]. Применяя CIM на разных этапах жизненного цикла и реализуя программы их развития, можно получить необходимую документацию на всех этапах [3,4].

Принципы и методы интеграции технологий информационного моделирования зданий (BIM) и цифровых двойников (DT), которые служат инструментами для оцифровки и представления строительных и производственных технологий, сформулированы в исследовании [5]. Разработка DT может решить проблему обследования состояния строительных конструкций и получения их прочностных характеристик [6,7].

Для сложных объектов ручное моделирование может занять много рабочего времени, что делает 3D-моделирование довольно неэффективным. Используя фотограмметрические процессы, последовательность изображений используется для восстановления геометрии пространства или объекта в 3D-модели [8]. В работе [9] были рассмотрены изменения и моделирование зданий с использованием наземного лазерного сканирования, в качестве вспомо-

MODELING OF THE LIFE CYCLE OF A SPORTS COMPLEX BUILDING AT THE STAGE OF DESIGN, OPERATION AND RECONSTRUCTION

Plahutina Aleksandra

student, Platov South-Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, Russian Federation;
Sasha-plah87@ya.ru

Abstract. Building Information Modeling (BIM) and lifecycle management (PLM) is becoming an innovative way of virtual design and

project management. In recent years, corresponding successes have been achieved in the field of modeling, analysis, design, monitoring and maintenance of facilities. The construction industry is currently undergoing a transition to a life-cycle-oriented design philosophy. This study examines the modeling of the life cycle of a building at the stage of design, operation and reconstruction in the Revit software package.

Keywords: building information modeling, bim, building life cycle, modeling, virtual design

гательного метода использовалась фотограмметрия. Использование технологии 3D-лазерного сканирования для измерения зданий обеспечивает создание облака точек, которое может быть использовано для создания цифровой документации, позволяющей создать BIM-модель сканируемого объекта [10]. Исследование [11] показывает, что использование 3D-моделей может привести к многочисленным инновациям в технологиях и методах.

Внедрение BIM для модернизации существующих зданий протекает медленно из-за таких проблем, как отсутствие данных или устаревшие данные. В работе [12] была проведена фотограмметрическая съемка здания культурного наследия с беспилотного летательного аппарата, и сгенерированное трехмерное облако точек послужило основой для виртуальной реконструкции модели. Применение BIM наряду с передовыми информационно-коммуникационными технологиями может стать способом решения проблем проектов реконструкции [13], а также реставрации [14].

Возможная связь между 3D-моделями, временем или планированием потенциально снижает риски неправильного понимания и отсутствия информации, позволяющая избежать повторного планирования и задержек сдачи проекта [15-17].

В качестве объекта для осуществления моделирования жизненного цикла на стадии проектирования, эксплуатации и реконструкции выбрано здание спортивного комплекса, расположенного в центральной части г. Новочеркасска по ул. Просвещения, 132 на территории учебного комплекса ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ) имени М. И. Платова».

Процесс моделирования здания спортивного комплекса включает в себя следующие этапы:

1. Создание проекта. Сначала необходимо создать новый проект и настроить такие параметры, как единицы измерения, масштаб и т. д.

2. Создание модели здания. ПК Revit позволяет создавать модели зданий с помощью инструментов 3D-моделирования. Сюда входит создание стен, окон, дверей, перегородок, крыш и т.д.

3. Размещение элементов. После создания модели необходимо разместить электрооборудование, системы вентиляции, системы отопления и т.д.

4. Дизайн интерьера и мебель. После установки всех элементов и систем в здании можно добавить в помещение мебель и технику, такую как столы, стулья, шкафы, кровати и т.д.

5. Создание рабочих чертежей. Рабочие чертежи необходимы для отправки эскизов на производство,

утверждения планов пожарной безопасности, электрооборудования, планов проектов, инженерных чертежей и других документов. Можно создавать простые или сложные рабочие чертежи, а также версии в формате PDF и других форматах.

6. Создание 3D изображений и визуализаций. Изображения необходимы для усиления общего восприятия проекта и для иллюстрации архитектурных решений.

7. Выявление и исправление коллизий. Выявление коллизий важный этап, необходимый для исключения ошибок и конфликтов на этапе строительства и эксплуатации объекта. В ПК Revit существует несколько способов выявления коллизий:

- ПК Navisworks. Navisworks имеет возможности по выявлению конфликтов и коллизий в проекте, а также позволяет создавать виртуальные модели, интегрировать в них данные из разных источников и выявлять конфликты между объектами на этапе проектирования.

- Инструмент в ПК Revit Interference Check также позволяет проверить проект на наличие коллизий между элементами конструкции, выявить проблемные области и исправить ошибки до начала строительства.

- Регионы конфликтов. В Revit можно создать регионы конфликтов, чтобы выделить области, где возможно возникновение конфликтов, и проверить их на наличие ошибок. Этот инструмент также помогает легко определить конфликтные области и внести изменения в проект.

- Проверка совместимости. В Revit можно проверить совместимость разных элементов конструкции, таких как стены, двери, окна и т.д., что позволяет убедиться в правильности расположения элементов и избежать ошибок при строительстве.

Для моделирования жизненного цикла здания спортивного комплекса на стадии проектирования, эксплуатации и реконструкции был выбран программный комплекс Revit, на основе обзора современных ПК.

Главным преимуществом Revit является возможность использования дополнительных программ или плагинов для расширения возможностей. Существует программное обеспечение Project Dasher которое интегрируется с Revit и другими BIM-платформами позволяя проводить мониторинг здания на протяжении всего жизненного цикла.

Project Dasher — это программное обеспечение, разработанное компанией Autodesk, которое обеспе-

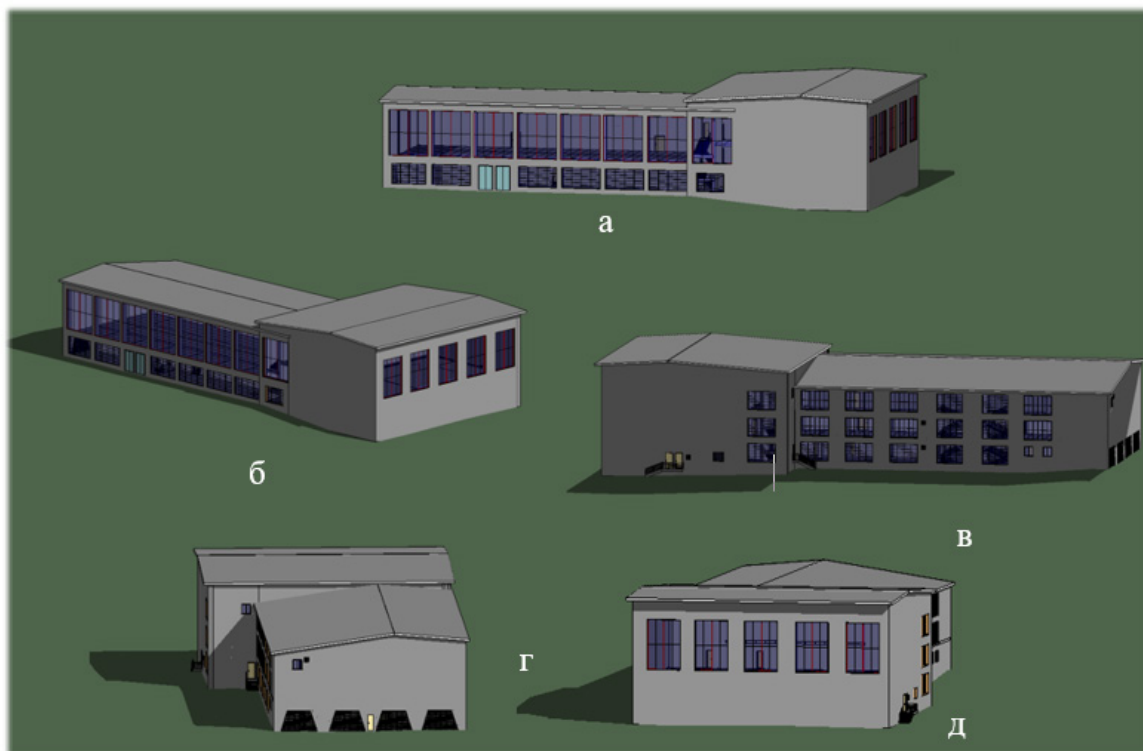


Рис. 1. Стадия проектирования.

а — Фасад в осях 1-13; *б* — Общий 3D вид здания; *в* — Фасад в осях 13-1; *г* — Фасад в осях А-Н; *д* — Фасад в осях Л-А

чивает управление и мониторинг зданий. С помощью Project Dasher можно получать и анализировать данные разных параметров, связанных с жизненным циклом здания например: энергопотребление здания, определение оптимального уровня энергопотребления, а также определение средств для его оптимизации. ПК Project Dasher может объединяться с другими программами BIM и системами управления зданиями, такими как Building Automation System (BAS), чтобы предоставлять более широкий и точный набор данных.

Основными функциями и возможностями Project Dasher являются:

- сбор и хранение данных о здании;
- мониторинг и анализ;
- построение отчетов;
- определение потенциала;
- разработка и реализация стратегий;
- оценка эффективности реализованных мер.

ПК Project Dasher представляет собой инструмент, который может использоваться на разных этапах жизненного цикла здания, от проектирования и строительства до эксплуатации и реконструкции:

- на этапе проектирования здания может использоваться для оптимизации энергопотребления здания, определения показателей энергоэффективности и разработки энергосберегающих стратегий;
- на этапе строительства здания может использоваться для мониторинга энергопотребления и выявления проблем, связанных с энергоэффективностью здания, таких как перепотребление энергии в процессе строительства;
- в эксплуатационный период позволяет следить за энергопотреблением здания, выявлять отклонения от планируемых показателей и реагировать на них, осуществлять мониторинг качества воздуха и других параметров, которые могут влиять на эффективность здания.
- в период реконструкции здания может использоваться для определения потенциала для улучшения энергоэффективности здания и разработки мероприятий для его улучшения.

В целом, использование ПК Project Dasher на протяжении жизненного цикла здания может позволить существенно повысить его энергоэффективность, сократить затраты на энергию и ресурсы, повысить

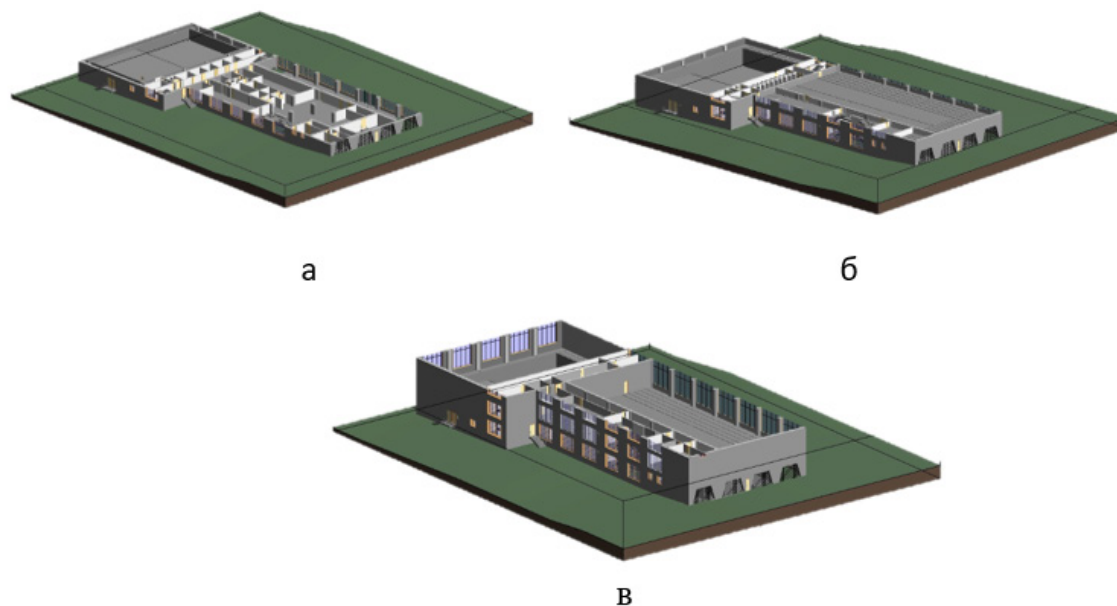


Рис. 2. Стадия проектирования. Общий 3D вид:
а — первый этаж; *б* — второй этаж; *в* — третий этаж

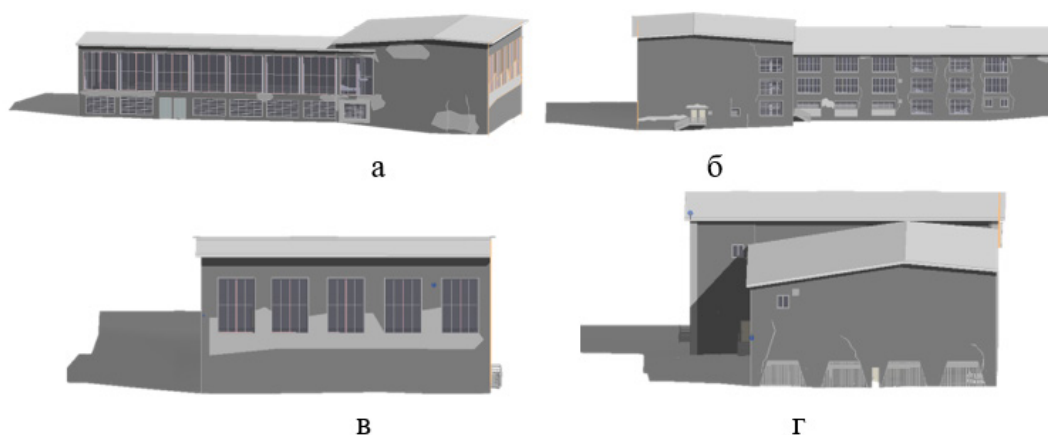


Рис. 3. Стадия эксплуатации. Фасад в осях:
а — 1-13; *б* — 13-1; *в* — А-Н; *г* — Л-А

комфорт проживания и работы в здании и снизить воздействие на окружающую среду.

Моделирование жизненного цикла на стадии проектирования

Корпус спортивного комплекса с бассейном представляет собой трехэтажное, кирпичное здание «Г»-образной формы с размерами в плане: 66,0×24,0×30,0 м. Здание предусмотрено со встроенным в два света (2-3 этажи) игровым спортивным залом и плавательным бассейном.

Размеры в плане по крайним осям: 66,0×30,0 м.

Здание состоит из двух блоков прямоугольной формы с несущими продольными кирпичными стенами и колоннами. Первый блок в осях 1-8 со спортивными залами имеет размеры в плане 42,0×24,0 м. Второй блок в осях 8-13 со встроенным бассейном имеет размеры в плане 24,0×30,0 м.

Здание — 3-этажное без подвальных помещений. Высота этажей — 3,3 м. Высота спортивного зала, зала с бассейном — переменная.

Блоки состоят из двух пролетов с продольными несущими кирпичными стенами.

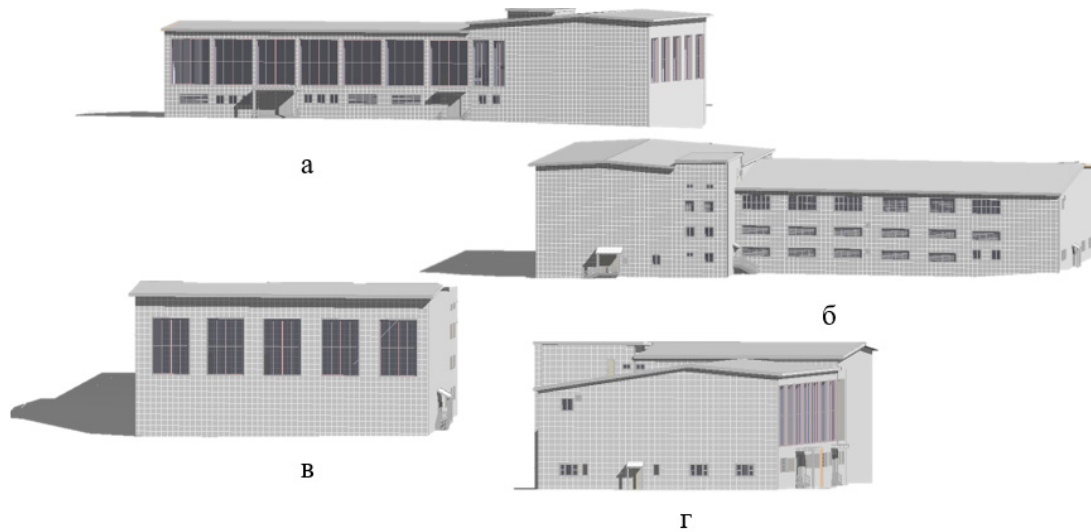


Рис. 4. Стадия реконструкции. Фасад в осях.
а — 1-13; б — 13-1; в — А-Н; г — Л-А

Внутренние продольные несущие кирпичные стены и внутренние несущие кирпичные колонны (1-го этажа) выполнены из красного кирпича.

Существующие фундаменты под несущие кирпичные стены и кирпичные колонны — ленточные бетонные, под ж.б. конструкции ванны бассейна — монолитная плита.

Видовые экраны ПК Revit приведены на рис. 1-2.

Моделирование жизненного цикла на стадии эксплуатации

Строительные конструкции здания спортивного комплекса с плавательным бассейном ЮРГТУ (НПИ) на момент обследования в виду наличия дефектов, снижающих несущую способность и эксплуатационные характеристики, в целом находятся в ограниченно-работоспособном состоянии.

В ограниченно-работоспособном состоянии находятся конструкции стен, части перекрытий, покрытия и кровли, конструкции междуэтажных лестниц не удовлетворяют противопожарным требованиям.

Несущие конструкции чаши бассейна находятся в работоспособном состоянии.

Видовые экраны ПК Revit приведены на рис. 3.

Моделирование жизненного цикла на стадии реконструкции

На стадии реконструкции были выполнены соответствующие мероприятия, обеспечивающие восстановление несущей способности и эксплуатационных характеристик здания, утраченных в ходе эксплуатации. Видовые экраны ПК Revit приведены на рис. 4.

В результате проведенного моделирование жизненного цикла здания, было установлено, что использование BIM на различных этапах жизненного цикла обеспечивает преимущества в получении необходимой документации на всех стадиях проекта.

Также, в ходе работы были выявлены следующие преимущества ПК Revit:

- Программный комплекс Revit позволяет совмещать этапы жизненного цикла такие как проектирование, строительство, управление и эксплуатация, в единой проектной модели.
- Возможность использования дополнительных программ или плагинов для расширения возможностей Revit.
- Инструменты для автоматизации некоторых задач таких как пространственное планирование и моделирование зданий позволяет ускорить процесс проектирования и повысить его качество.
- ПК Revit позволяет быстро и легко изменять параметры и исправлять ошибки, без необходимости вносить изменения в остальные части проекта.
- Возможность генерировать технические чертежи и документацию проекта автоматически на основе 3D-модели.
- ПК Revit обладает функцией экспорта и импорта файлов, что позволяет работать вместе с другими программами и обмениваться информацией с другими разработчиками.
- Возможность использовать единый цифровой протокол данных на всех этапах строительного процесса, что повышает эффективность проекта и улучшает качество работы.

Были выявлены и некоторые минусы ПК Revit:

- Данный программный комплекс является достаточно сложным программным продуктом, который требует определенных знаний и умений для его эффективного использования. Некоторые пользователи могут столкнуться с трудностями при освоении интерфейса и настройке проекта.
- Для работы с ПК Revit необходим мощный компьютер с мощным процессором. Если у компьютера нет необходимых характеристик, то работа с программой может быть замедлена или невозможна.

- Программный комплекс Revit имеет свой формат файла, что иногда вызывает проблемы с совместимостью с другими программными пакетами, при работе вместе с другими разработчиками или при передаче файлов.

- Некоторые пользователи могут столкнуться с ограничениями функционала Revit в некоторых областях, таких как визуализация или трехмерное моделирование. В таких случаях придется использовать дополнительные программы или плагины для расширения возможностей Revit.

Список литературы

1. Алексанин, А.В., Жаров Я.В. Потенциал использования цифровых информационных моделей в рамках управления строительством // Промышленное и гражданское строительство. — 2022. — № 1. — С. 52-55. — DOI 10.33622/0869-7019.2022.01.52-55
2. Дмитриев, А. Н. Марченкова С. В. Развитие инновационной политики при внедрении технологий информационного моделирования // Промышленное и гражданское строительство. — 2020. — № 10. — С. 87-94. — DOI 10.33622/0869-7019.2020.10.87-94
3. Сборщиков, С. Б. Журавлев П. А. Информационно-аналитическое обеспечение реинжиниринга территории и застройки // Промышленное и гражданское строительство. — 2022. — № 3. — С. 52-58. — DOI 10.33622/0869-7019.2022.03.52-58
4. Каган, П. Б. Представление информации при проектировании, строительстве и эксплуатации линейных объектов инженерных коммуникационных сетей // Промышленное и гражданское строительство. — 2016. — № 3. — С. 71-75.
5. Badenko, V.L., Bolshakov, N.S., Tishchenko, E.B., Fedotov, A.A., Celani, A.C., Yadykin, V.K. Integration of Digital Twin and BIM Technologies within Factories of the Future. Magazine of Civil Engineering. 2020. 101(1). Article No. 10114 DOI: 10.34910/MCE.101.14
6. Перельмутер, А.В. Криксунов Э.З. BIM-технологии в строительном проектировании — «белые пятна» // Промышленное и гражданское строительство. — 2021. — № 5. — С. 60-65. — DOI 10.33622/0869-7019.2021.05.60-65
7. Bushra Obeidat&Esra'a Abdul Rahman Jaradat (2022) The influence of virtual human representations on first-year architecture students' perceptions of digitally designed spaces: a pilot study, <https://doi.org/10.1080/09613218.2022.2083549>
8. Matti Kurkela, Mikko Maksimainen, Arttu Julin, Juho-Pekka Virtanen, Ilari Männistö, Matti T. Vaaja & Hannu Hyypä (2022) Applying photogrammetry to reconstruct 3D luminance point clouds of indoor environments, *Architectural Engineering and Design Management*, 18:1, 56-72, DOI: 10.1080/17452007.2020.1862041
9. Izabela Skrzypczak, Grzegorz Oleniacz, Agnieszka Leśniak, Krzysztof Zima, Maria Mrówczyńska & Jan K. Kazak (2022) Scan-to-BIM method in construction: assessment of the 3D buildings model accuracy in terms inventory measurements, *Building Research & Information*, 50:8, 859-880, DOI: 10.1080/09613218.2021.2011703
10. C. Rodríguez-Moreno, J. F. Reinoso-Gordo, E. Rivas-López, A. Gómez-Blanco, F. J. Ariza-López & I. Ariza-López (2018) From point cloud to BIM: an integrated workflow for documentation, research and modelling of architectural heritage, *Survey Review*, 50:360, 212-231, DOI: 10.1080/00396265.2016.1259719
11. Boland Jr, R. J., Lyytinen, K., & Yoo, Y. (2007). Wakes of innovation in project networks: The case of digital 3-D representations in architecture, engineering, and construction. *Organization Science*, 18(4), 631-647. <https://doi.org/10.1287/orsc.1070.0304>
12. Patricio Martínez-Carricondo, Fernando Carvajal-Ramírez, Lourdes Yero-Paneque & Francisco Agüera-Vega (2020) Combination of nadir and oblique UAV photogrammetry and HBIM for the virtual reconstruction of cultural heritage. Case study of Cortijo del Fraile in Níjar, Almería (Spain), *Building Research & Information*, 48:2, 140-159, DOI: 10.1080/09613218.2019.1626213
13. Darius Migilinskas, Miroslavas Pavlovskis, Irina Urba & Viačeslav Zigmund (2017) Analysis of problems, consequences and solutions for BIM application in reconstruction projects, *Journal of Civil Engineering and Management*, 23:8, 1082-1090, DOI: 10.3846/13923730.2017.1374304
14. Пустовгар А.П., Жунжун Ч., Вэньсэн Ю., Адамцевич А.О. Применение BIM-технологий при реставрации зданий // Промышленное и гражданское строительство. — 2020. — № 6. — С. 42-48. — DOI 10.33622/0869-7019.2020.06.42-48. — EDN HUNDUG.
15. Armin Gruen, Martin Behnisch & Niklaus Kohler (2009) Perspectives in the reality-based generation, nD modelling, and operation of buildings and building stocks, *Building Research & Information*, 37:5-6, 503-519, DOI: 10.1080/09613210903189509
16. Amna Shibeika & Chris Harty (2015) Diffusion of digital innovation in construction: a case study of a UK engineering firm, *Construction Management and Economics*, 33:5-6, 453-466, DOI: 10.1080/01446193.2015.1077982.
17. Fredrik Wikberg, Thomas Olofsson & Anders Ekholm (2014) Design configuration with architectural objects: linking customer requirements with system capabilities in industrialized house-building platforms, *Construction Management and Economics*, 32:1-2, 196-207, DOI: 10.1080/01446193.2013.864780

Список литературы

1. Aleksanin, A.V., Zharov Ya.V. The potential of using digital information models in the framework of construction management // *Industrial and civil construction*. — 2022. — No. 1. — pp. 52-55. — DOI 10.33622/0869-7019.2022.01.52-55.
2. Dmitriev, A. N. Marchenkova S. V. Development innovation policy in the implementation of information modeling technologies // *Industrial and civil construction*. — 2020. — No. 10. — pp. 87-94. — DOI 10.33622/0869-7019.2020.10.87-94.
3. Assemblers, S. B. Zhuravlev P. A. Information and analytical support of territory reengineering and development // *Industrial and civil construction*. — 2022. — No. 3. — pp. 52-58. — DOI 10.33622/0869-7019.2022.03.52-58.
4. Kagan, P. B. Presentation of information in the design, construction and operation of linear objects of engineering communication networks // *Industrial and civil construction*. — 2016. — No. 3. — pp. 71-75.
5. Badenko, V.L., Bolshakov, N.S., Tishchenko, E.B., Fedotov, A.A., Celani, A.C., Yadykin, V.K. Integration of Digital Twin and BIM Technologies within Factories of the Future. *Magazine of Civil Engineering*. 2020. 101(1). Article No. 10114 DOI: 10.34910/MCE.101.14
6. Perelmuter, A.V. Kriksunov E.Z. BIM-technologies in construction design — "white spots" // *Industrial and civil construction*. — 2021. — No. 5. — pp. 60-65. — DOI 10.33622/0869-7019.2021.05.60-65.
7. Bushra Obeidat&Esra'a Abdul Rahman Jaradat (2022) The influence of virtual human representations on first-year architecture students' perceptions of digitally designed spaces: a pilot study, <https://doi.org/10.1080/09613218.2022.2083549>
8. Matti Kurkela, Mikko Maksimainen, Arttu Julin, Juho-Pekka Virtanen, Ilari Männistö, Matti T. Vaaja & Hannu Hyyppä (2022) Applying photogrammetry to reconstruct 3D luminance point clouds of indoor environments, *Architectural Engineering and Design Management*, 18:1, 56-72, DOI: 10.1080/17452007.2020.1862041
9. Izabela Skrzypczak, Grzegorz Oleniacz, Agnieszka Leśniak, Krzysztof Zima, Maria Mrówczyńska & Jan K. Kazak (2022) Scan-to-BIM method in construction: assessment of the 3D buildings model accuracy in terms inventory measurements, *Building Research & Information*, 50:8, 859-880, DOI: 10.1080/09613218.2021.2011703
10. C. Rodríguez-Moreno, J. F. Reinoso-Gordo, E. Rivas-López, A. Gómez-Blanco, F. J. Ariza-López & I. Ariza-López (2018) From point cloud to BIM: an integrated workflow for documentation, research and modelling of architectural heritage, *Survey Review*, 50:360, 212-231, DOI: 10.1080/00396265.2016.1259719
11. Boland Jr, R. J., Lyytinen, K., & Yoo, Y. (2007). Wakes of innovation in project networks: The case of digital 3-D representations in architecture, engineering, and construction. *Organization Science*, 18(4), 631–647. <https://doi.org/10.1287/orsc.1070.0304>
12. Patricio Martínez-Carricondo, Fernando Carvajal-Ramírez, Lourdes Yero-Paneque & Francisco Agüera-Vega (2020) Combination of nadir and oblique UAV photogrammetry and HBIM for the virtual reconstruction of cultural heritage. Case study of Cortijo del Fraile in Níjar, Almería (Spain), *Building Research & Information*, 48:2, 140-159, DOI: 10.1080/09613218.2019.1626213
13. Darius Migilinskas, Miroslavas Pavlovskis, Irina Urba & Viačeslav Zigmund (2017) Analysis of problems, consequences and solutions for BIM application in reconstruction projects, *Journal of Civil Engineering and Management*, 23:8, 1082-1090, DOI: 10.3846/13923730.2017.1374304
14. Pustovgar A.P., Rongzhong Ch., Wensen Yu., Adamtsevich A.O. The use of BIM technologies in the restoration of buildings // *Industrial and Civil Engineering*. — 2020. — № 6. — P. 42-48. — DOI 10.33622/0869-7019.2020.06.42-48. — EDN HUNDUG.
15. Armin Gruen, Martin Behnisch & Niklaus Kohler (2009) Perspectives in the reality-based generation, nD modelling, and operation of buildings and building stocks, *Building Research & Information*, 37:5-6, 503-519, DOI: 10.1080/09613210903189509.
16. Amna Shibeika & Chris Harty (2015) Diffusion of digital innovation in construction: a case study of a UK engineering firm, *Construction Management and Economics*, 33:5-6, 453-466, DOI: 10.1080/01446193.2015.1077982.
17. Fredrik Wikberg, Thomas Olofsson & Anders Ekholm (2014) Design configuration with architectural objects: linking customer requirements with system capabilities in industrialized house-building platforms, *Construction Management and Economics*, 32:1-2, 196-207, DOI: 10.1080/01446193.2013.864780.

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В ГОРОДЕ НОВОЧЕРКАСКЕ

УДК 69.003

Шутова Марина Николаевна

канд. техн. наук, доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И. Платова (Кафедра «Промышленное и гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение»), Новочеркасск, Россия;
Shutovapublish@mail.ru

Кужелева Виктория Александровна

студент, Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И. Платова, Новочеркасск, Россия;
Viktoria.kuzheleva@gmail.com

Минькова Анастасия Андреевна

студент, Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И. Платова, Новочеркасск, Россия;
minkova.n.1999@mail.ru

Сотников Александр Сергеевич

студент, Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И. Платова, Новочеркасск, Россия;
Alex.Sotnikov44@yandex.ru

Кожихов Алексей Григорьевич

канд. техн. наук, доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И. Платова, Новочеркасск, Россия;
kozhihow777@yandex.ru

Статья получена: 19.05.2023. Одобрена: 15.06.2023. Опубликовано онлайн: 27.06.2023 © РИОР

INFORMATION MODELING AND LIFE CYCLE MANAGEMENT OF CONSTRUCTION PROJECTS IN THE CITY OF NOVOCHERKASSK

Shutova Marina

Ph.D., Associate Professor, Platov South-State Polytechnic University (Novocherkassk Polytechnic Institute) (Department of Industrial and civil engineering, geotechnics and foundation engineering), Novocherkassk, Russian Federation;
Shutovapublish@mail.ru

Kuzheleva Viktoriya

student, Platov South-State Polytechnic University, Novocherkassk, Russian Federation;
Viktoria.kuzheleva@gmail.com

Minkova Anastasia

student, Platov South-State Polytechnic University, Novocherkassk, Russian Federation;
minkova.n.1999@mail.ru

Sotnikov Aleksandr

student, Platov South-State Polytechnic University, Novocherkassk, Russian Federation;
Alex.Sotnikov44@yandex.ru

Kozhihov Aleksey

Ph.D., Associate Professor, Platov South-State Polytechnic University, Novocherkassk, Russian Federation;
kozhihow777@yandex.ru

Abstract. For the construction industry, the actual direction of development is the digitalization of construction at all its stages and the creation of a state information system for supporting the urban planning activities of the Russian Federation. It is possible to create this system taking into account the widespread introduction of digital twins, BIM models and building life cycle management systems. The paper considers the development by the team of the SRSPU (NPI) named after M.I. Platov BIM-models of buildings as the basis for creating a digital twin of the entire architectural complex of the SRSPU (NPI). To create a BIM model, two types of software were used: the ArchiCAD PC and the domestic Renga complex. A distinctive feature of the creation of the model was that an existing building was used as a prototype with significant alterations and changes in spatial planning and design solutions carried out during operation. In a practical way, it was revealed that the PC Renga is the most convenient for the purposes of creating BIM projects, since it implements most of the functions for modeling building structures.

Keywords: digital twin, building information modeling, bim, building life cycle

Аннотация. Для строительной отрасли актуальным направлением развитие является цифровизация строительства на всех его стадиях и создание государственной информационной системы обеспечения градостроительной деятельности РФ. Создать данную систему возможно с учетом повсеместного внедрения цифровых двойников, BIM-моделей и систем управления жизненным циклом зданий. В работе рассмотрена разработка коллективом ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова BIM-моделей зданий как основы для создания цифрового двойника всего архитектурного комплекса ЮРГПУ (НПИ). Для создания BIM — модели использовались два вида программного обеспечения: ПК ArchiCad и отечественный комплекс Renga. Отличительной особенностью создания модели являлось то, что в качестве прототипа использовалось существующее здание со значительными перестройками и изменениями объемно-планировочных и конструктивных решений, проводившимися в процессе эксплуатации. Практическим путем выявлено, что наиболее удобной для целей создания BIM-проектов является ПК Renga, так как в ней реализовано большинство функций для моделирования строительных конструкций.

Ключевые слова: цифровые двойники, информационное моделирование зданий, BIM, жизненный цикл здания

В рамках направления МинСтроя РФ по цифровизации строительной отрасли и создания государственной информационной системы обеспечения градостроительной деятельности РФ (ГИСОГД РФ) актуальным является методика создания и работы с цифровыми моделями зданий и сооружений, опасными производственными объектами, в которых проектирование проведено с учетом деградации свойств конструкций в зависимости от степени реализации негативных факторов (рисков) [1].

Правительство РФ предполагает к 2030 году переход на системы «Цифровое строительство» (создание цифровых двойников или BIM-моделей всех строящихся объектов) и «Строим в один клик» (упрощение и ускорение процедур согласования документации по строительству между участниками строительного производства и органами Минстроя). Для этого предусматривается развитие отечественных программных продуктов для ТИМ, применение технологии ТИМ в жилищном строительстве для обеспечения поэтапного перехода застройщиков, осуществляющих деятельность в соответствии с №214-ФЗ, к обязательному использованию ТИМ с 2023. К 2030 году 100%

МКД должны быть оснащены общедомовыми приборами учёта, интегрированными в интеллектуальные системы, также должна быть создана «умная» экосистема строительной отрасли [2].

Цифровой двойник здания создается на основе исследования текущих характеристик конструкций и высокоточного определения размеров и положения в пространстве при помощи 3-д сканирования или фотограмметрии [3].

Информационное моделирование зданий (BIM) и управление жизненным циклом (PLM) становится инновационным способом виртуального проектирования и управления проектами. В последние годы были достигнуты соответствующие успехи в области моделирования, анализа, проектирования, мониторинга и технического обслуживания объектов. Строительная отрасль в настоящее время переживает переход к философии проектирования, ориентированной на жизненный цикл [4-5].

BIM представляет собой новую парадигму в строительной отрасли, которая способствует интеграции всех заинтересованных сторон в проект.

Целью перехода на информационное моделирование является создание модели здания, в которой состоит из трех частей: архитектурная, конструктивная, коммуникационная, позволяющей учитывать множество факторов, возникающих при обследовании, проектировании, строительстве и реконструкции, ремонте, эксплуатации и сносе объекта капитального строительства. Задача создания BIM-модели состоит из необходимости моделирования 3D визуализации, задания объектам существующих или проектируемых характеристик материалам и конструкциям, то есть создание исходных данных для дальнейшего осуществления какого-либо строительного процесса [6, 7].

Зарубежный опыт доказывает, что даже несмотря на множество исследований и инвестиций в разработку и внедрение BIM, его использование не является основной строительной практикой, а практичность процесса внедрения не совсем понятна. BIM нарушает привычный план проектирования с точки зрения его организации, поэтому предлагается использовать концептуальный подход и дорожную карту, выполняемых работ по проектированию [8, 9]. Приемлемый процесс информационного моделирования может быть достигнут только путем целенаправленного согласования планов вмешательства в модель, которые полностью поддерживают цели нескольких конечных пользователей. В исследовании [10] делается вывод о том, что обычно применяемая

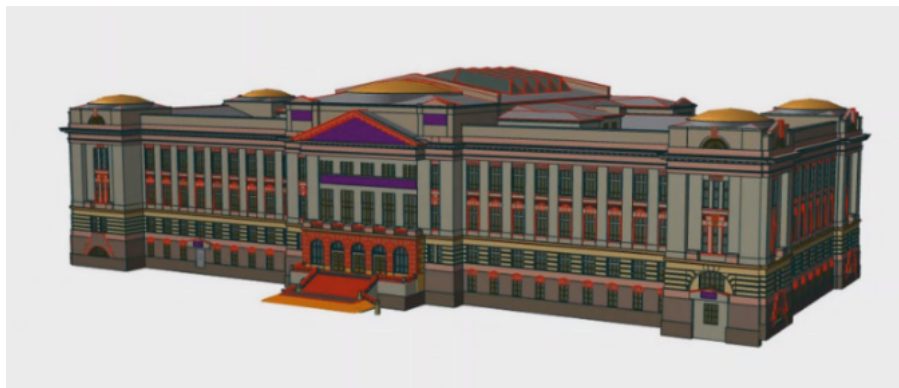


Рис. 1. 3D-модель главного корпуса, созданная в программе Archicad. Вид с лицевого фасада



Рис. 2. BIM-модель робототехнического корпуса в ПК Renga. Вид со стороны лицевого фасада

логика успешной линейной адаптации стандартных инструментов к институциональным моделям не работает в контексте строительства; скорее, пользователи BIM должны позиционироваться как учащиеся с постоянным циклом, чтобы знакомиться с постоянно развивающимися артефактами BIM и сопутствующими рабочими процессами для поддержания согласованности систем [11, 12].

В рамках работы было создано несколько BIM моделей зданий архитектурного ансамбля ЮРГПУ (НПИ) имени М. И. Платова в г. Новочеркасске, Ростовской области. Здания и сооружения архитектурного ансамбля являются Памятником архитектуры Федерального значения.

Для построения BIM-моделей было использовано несколько программных комплексов.

BIM-модель здания главного корпуса НПИ была разработана в ПК Archicad [13] (Рис. 1).

В процессе разработки модели выявилось, что программа ArchiCAD изначально была создана для архитекторов и дизайнеров, а не для строителей. Большинство ее функций направлены на создание интерьера и элементов ландшафта. В сфере строительства и моделирования двухмерных и трехмерных конструкций программа ArchiCAD не может быть полноценно использована для создания BIM-моделей, таким образом для создания цифрового двойника здания главного корпуса необходимо выполнить моделирование здания в другом программном комплексе [14].

Робототехнический корпус ЮРГПУ (НПИ) (рис. 2–5) был представлен в виде BIM-модели в ПК Renga.

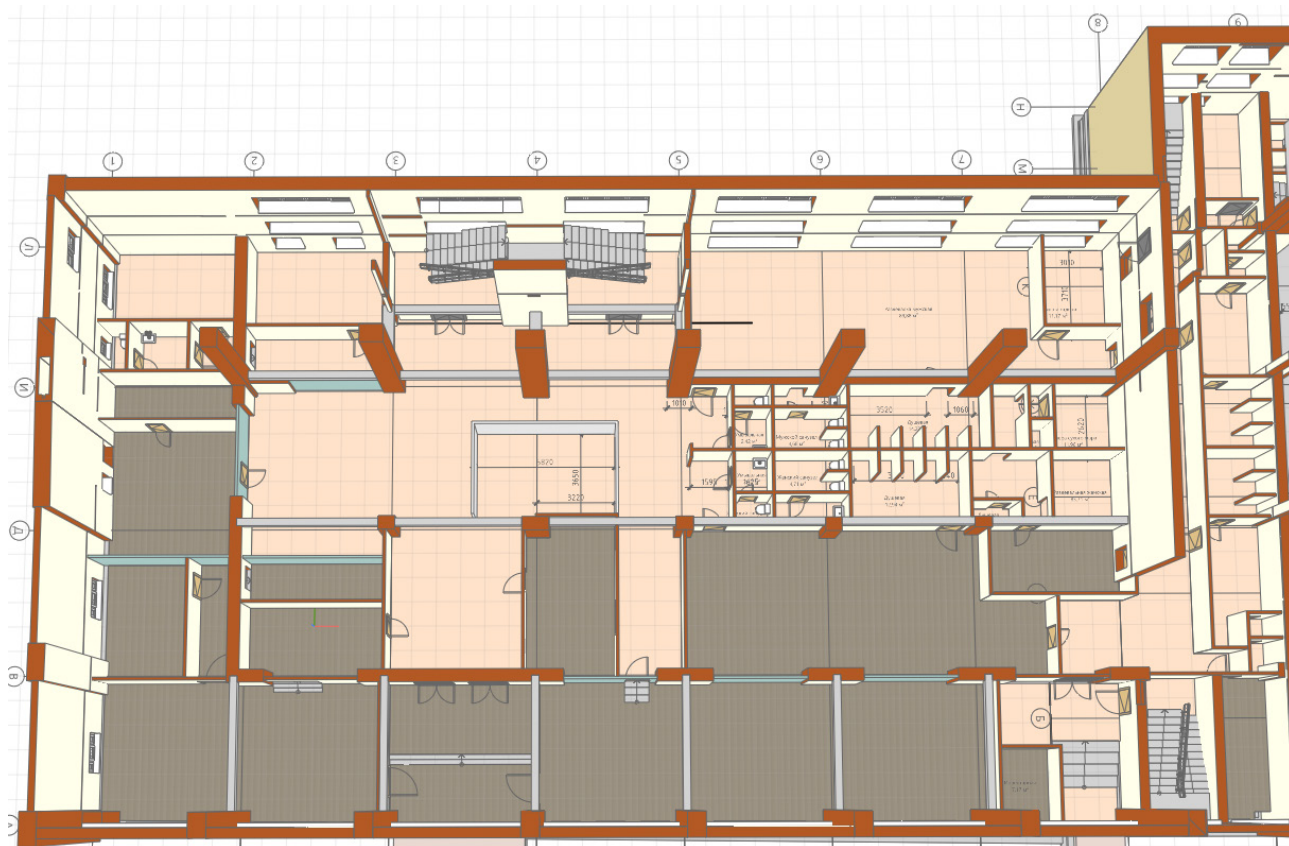


Рис. 3. BIM-модель робототехнического корпуса в ПК Renga. Горизонтальный разрез на уровне третьего этажа



Рис. 4. BIM-модель робототехнического корпуса в ПК Renga. Вид с бокового фасада

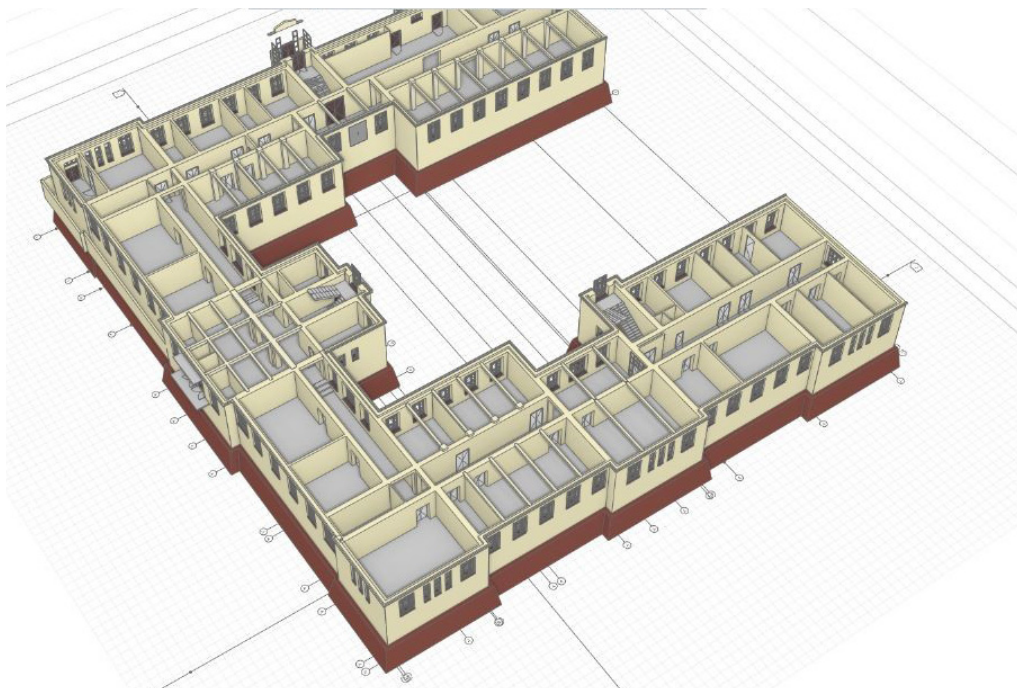


Рис. 5. BIM-модель робототехнического корпуса в ПК Renga. Горизонтальный разрез в уровне перекрытий первого этажа

Процесс проектирование в Renga можно разделить на несколько этапов:

- Рассмотрение и изучение объекта. Изучение технического паспорта проектируемого учебного корпуса и выполнение обмеров здания с помощью дальномера, поиск недостающей информации;
- Параметрическое моделирование, наполнение модели физическими свойствами для дальнейшего использования в расчетах, а также визуализации;
- Оформление планов, разрезов, по данным 3D-модели, сведение необходимых данных по проектируемому корпусу в таблицы [15].

При проектировании выявились следующие недостатки:

- Плохо реализована функция линейного размера при работе в пространстве 3D-модели;
- Имеющихся инструментов недостаточно, что ограничивает более точное визуальное представление инженерных решений модели.

Также можно заметить следующие достоинства системы:

- Простой и интуитивно-понятный интерфейс, минимальный набор инструментов, позволяющих освоить программу в короткие сроки;
- С помощью системы фильтров можно быстро и без особых усилий создать спецификации, ведомости и экспликации зданий. Что не только упрощает

работу, но и позволяет быстро проводить корректировки и вносить изменения в проект, исключает ошибки и неточности.

Также в ПК Renga было представлено здание бассейна ЮРГПУ (НПИ) (рис. 6–8).

На стадии эксплуатации было проведено обследование строительных конструкций здания спортивного комплекса с плавательным бассейном ЮРГПУ (НПИ), которое выявило, что конструкции находятся в ограниченно-работоспособном состоянии.

На стадии реконструкции были выполнены соответствующие мероприятия, обеспечивающие восстановление несущей способности и эксплуатационных характеристик здания, утраченных в ходе эксплуатации.

Таким образом, проведен анализ исследований, ориентированных на внедрение информационного моделирования зданий (BIM) и цифровых двойников при строительстве и модернизации существующих зданий (на примере Sodis Building и BIMIT) [16], выполнено моделирование жизненного цикла зданий на стадии проектирования, эксплуатации и реконструкции для трех корпусов комплекса, изучены способы обнаружения коллизий, выявлены преимущества и недостатки при работе с BIM-моделями в разных программах.

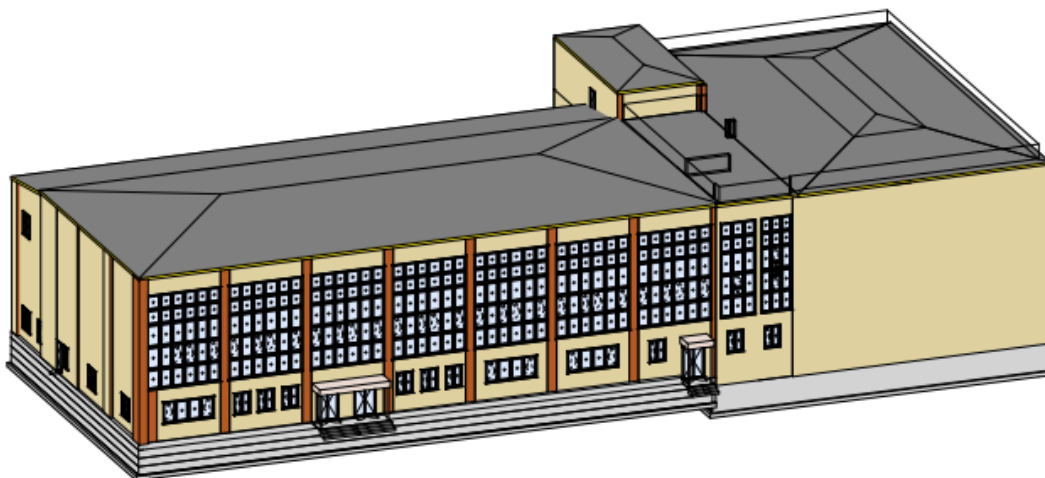


Рис. 6. Аксонометрия здания бассейна ЮРГПУ (НПИ) в ПК Renga

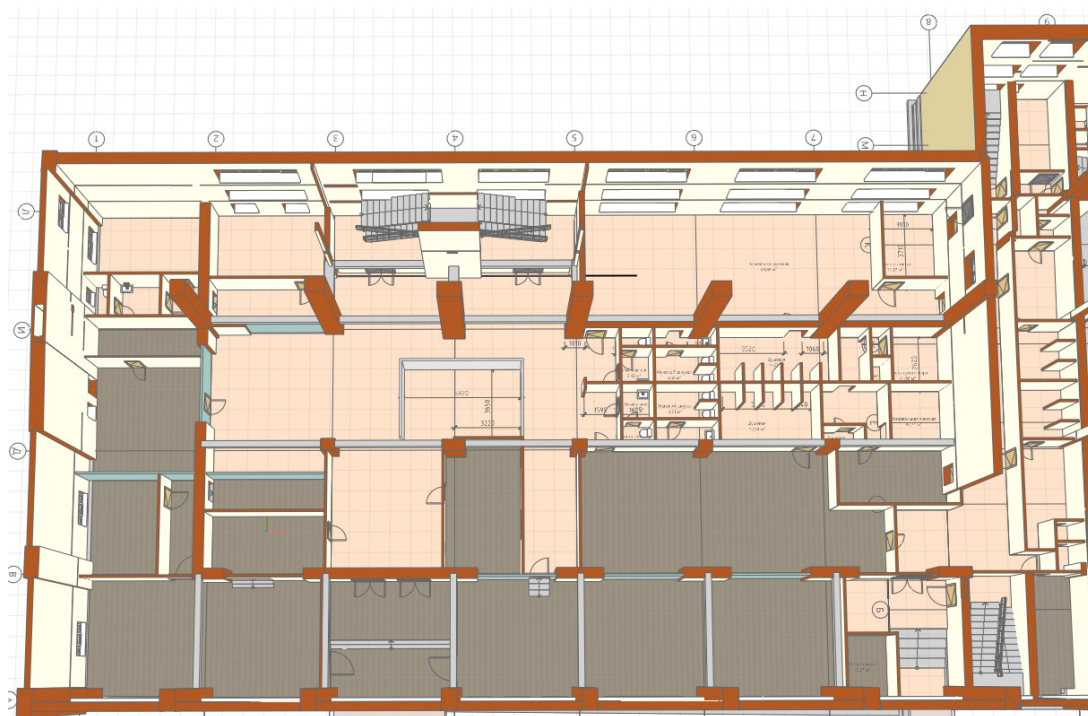


Рис. 7. Полы 1-го этажа здания бассейна в ПК Renga



Рис. 8. Колонны на фасаде 1-13 здания бассейна в ПК Renga

Список литературы

1. Баженов, А. А. Перспективы применения BIM-технологий в современной строительной отрасли / А. А. Баженов // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы II Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15–17 мая 2019 года. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. — С. 40-44. — DOI 10.23968/BIMAC.2019.006. — EDN PSHQSL.
2. Ялилов А. Д. Особенности гражданско-правового регулирования отношений в сфере проектирования и строительства при использовании технологии информационного моделирования (BIM) // Актуальные проблемы российского права. — 2022. — Т. 17. — № 11. — С. 87–99. — DOI: 10.17803/1994-1471.2022.144.11.087-099.
3. Каракозова И. В., Малыха Г. Г., Павлов А. С., Панин А. С., Теслер Н. Д. Исследование подготовительных работ для использования BIM-технологий на примере проектирования медицинских организаций // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 1. С. 100–111. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.1.100-111.
4. Воронцова, О. В. Преимущества BIM-технологий при разработке проектов реконструкции / О. В. Воронцова, Ю. С. Швец // Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Курск, 16 ноября 2018 года / Юго-Западный государственный университет; Россия Московский государственный машиностроительный университет. — Курск: Юго-Западный государственный университет, 2018. — С. 116–118.
5. Лешенко, Е. Параметрическое проектирование и высокотехнологичное информационное моделирование строительных конструкций на основе программного решения Tekla и Grasshopper / Е. Лешенко // САПР и графика. — 2017. — № 8(250). — С. 31–33
6. Зеленцов Л. Б., Цапко К. А., Беликова И. Ф., Пирко Д. В. Совершенствование процесса строительства с использованием BIM-технологий // Инженерный вестник Дона, 2020, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2020/6346.
7. Постнов, К. В. Подход к внедрению цифровых технологий в практику работы проектных организаций // Строительство и архитектура, 2021. Т. 9. — № 4. — С. 61–65. — URL: DOI 10.29039/2308-0191-2021-9-4-61-65.
8. Xiaozhi Ma, S.M.ASCE; Feng Xiong, A.M.ASCE; Timothy O. Olawumi; Na Dong; and Albert P. C. Chan. Conceptual Framework and Roadmap Approach for Integrating BIM into Lifecycle Project Management [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000647](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000647)
9. E. Sackey; M. Tuuli, Ph.D.; and A. Dainty, Ph.D., M.ASCE Sociotechnical Systems Approach to BIM Implementation in a Multidisciplinary Construction Context [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000303](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000303)
10. Britanny Giel and Raja R. A. Issa, F.ASCE Framework for Evaluating the BIM Competencies of Facility Owners [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000378](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000378)
11. Ashwin Mahalingam; Amit Kumar Yadav; and Jarjana Varaprasad Investigating the Role of Lean Practices in Enabling BIM Adoption: Evidence from Two Indian Cases [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000982](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000982)
12. Citation Zhou, Y., Yang, Y. and Yang, J.-B. (2019), «Barriers to BIM implementation strategies in China», Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 26 No. 3, pp. 554–574. <https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2018-0158>.
13. Конохов, В. Ю. Информационное моделирование строительного объекта (BIM) / В. Ю. Конохов, Т. А. Опарина // Молодежный вестник ИрГТУ. — 2020. — Т. 10, № 3. — С. 24–29. — EDN BPOXMI.
14. Перельмутер, А. В. BIM-технологии в строительном проектировании — «белые пятна» / А. В. Перельмутер, Э. З. Криксунов // Промышленное и гражданское строительство. — 2021. — № 5. — С. 60–65. — DOI 10.33622/0869-7019.2021.05.60-65. — EDN SZCUBM.
15. Официальный сайт Renga Architecture — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://rengabim.com/> — Дата обращения: 18.06.2023г.
16. Ложкин Николай Дмитриевич BIM-ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ // Colloquium-journal. 2020. №11(63). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bim-tehnologii-proektirovaniya> (дата обращения: 16.04.2023).

References

1. Bazhenov, A. A. Prospects for the use of BIM technologies in the modern construction industry / A. A. Bazhenov // BIM-modeling in the tasks of construction and architecture: materials of the II International scientific and practical conference, St. Petersburg, May 15–17 2019. — St. Petersburg: St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2019. — P. 40–44. — DOI 10.23968/BIMAC.2019.006. — EDN PSHQSL.
2. Yalilov AD Peculiarities of civil law regulation of relations in the field of design and construction using information modeling technology (BIM) // Actual problems of Russian law. — 2022. — V. 17. — No. 11. — S. 87–99. — DOI: 10.17803/1994-1471.2022.144.11.087-099.
3. Karakozova I.V., Malykha G.G., Pavlov A.S., Panin A.S., Tesler N.D. Study of preparatory work for the use of BIM-technologies on the example of the design of medical organizations // Vestnik MGSU. 2020. Vol. 15. Issue. 1. S. 100–111. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.1.100-111.
4. Vorontsova, O. V. Advantages of BIM-technologies in the development of reconstruction projects / O. V. Vorontsova, Yu. S. Shvets // Resource saving and ecology of building materials, products and structures: collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference, Kursk, November 16, 2018 / Southwestern State University; Russia Moscow State Engineering University. — Kursk: Southwestern State University, 2018. — P. 116–118.
5. Leshchenko, E. Parametric design and high-tech information modeling of building structures based on Tekla and Grasshopper software solutions / E. Leshchenko // CAD and graphics. — 2017. — No. 8(250). — pp. 31–33
6. Zelentsov L. B., Tsapko K. A., Belikova I. F., Pirko D. V. Improving the construction process using BIM technologies // Engineering Bulletin of the Don, 2020, No. 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2020/6346.
7. Postnov, K. V. Approach to the implementation of digital technologies in the practice of design organizations // Construction and architecture, 2021. V. 9. — No. 4. — P. 61–65. — URL: DOI 10.29039/2308-0191-2021-9-4-61-65.
8. Xiaozhi Ma, S.M.ASCE; Feng Xiong, A.M.ASCE; Timothy O. Olawumi; Na Dong; and Albert P. C. Chan. Conceptual Framework and Roadmap Approach for Integrating BIM into Lifecycle Project Management [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000647](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000647)

- Framework and Roadmap Approach for Integrating BIM into Lifecycle Project Management [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000647](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000647)
9. E. Sackey; M. Tuuli, Ph.D.; and A. Dainty, Ph.D., M.ASCE Sociotechnical Systems Approach to BIM Implementation in a Multidisciplinary Construction Context [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000303](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000303)
 10. Brittany Giel and Raja R. A. Issa, F.ASCE Framework for Evaluating the BIM Competencies of Facility Owners [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000378](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000378)
 11. Ashwin Mahalingam; Amit Kumar Yadav; and Jarjana Varaprasad Investigating the Role of Lean Practices in Enabling BIM Adoption: Evidence from Two Indian Cases [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000982](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000982)
 12. Citation Zhou, Y., Yang, Y. and Yang, J.-B. (2019), «Barriers to BIM implementation strategies in China», Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 26 No. 3, pp. 554-574. <https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2018-0158>.
 13. Konyukhov, V. Yu. Construction object information modeling (BIM) / V. Yu. Konyukhov, TA Oparina // Youth Bulletin of ISTU. — 2020. — V. 10, No. 3. — S. 24-29. — EDN BPOXMI.
 14. Perelmutter, A. V. BIM-technologies in building design — «blank spots» / A. V. Perelmutter, E. Z. Kriksunov // Industrial and civil construction. — 2021. — No. 5. — P. 60-65. — DOI 10.33622/0869-7019.2021.05.60-65. — EDN SZCUBM.
 15. Official website of Renga Architecture — [Electronic resource]. — Access mode: <https://rengabim.com/> — Date of access: 06/18/2023
 16. Lozhkin Nikolai Dmitrievich BIM-DESIGN TECHNOLOGIES // Colloquium-journal. 2020. No. 11(63). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bim-tehnologii-proektirovaniya> (date of access: 04/16/2023).

ЦИФРОВАЯ МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА, ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ БЕТОНА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МОНОЛИТНЫХ РАБОТ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

УДК 693.547.3

Авербух Лев Михайлович

генеральный директор, BIM Capital, Москва, Россия;
lev@bimcap.org

Ненишев Андрей Анатольевич

руководитель департамента исследований и разработок, BIM Capital, Москва, Россия;
a.nenishev@bimcap.org

Железнов Максим Максимович

канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры, Московский государственный строительный университет (кафедра информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве), Москва, Россия;
ZheleznovMM@mgsu.ru

Коядинович Давид

аспирант, Московский государственный строительный университет (Кафедра «Информационные системы, технология и автоматизация строительства»), руководитель цифровой трансформации компании ПАО «ПУТЕВИ» Ужице, Москва, Россия
davidkoyadinovich@yandex.ru

Штрауб Янн

советник генерального директора, BIM Capital, Москва, Россия;
ystraub@bimcap.org

Статья получена: 20.05.2023. Одобрена: 15.06.2023. Опубликовано онлайн: 27.06.2023 © РИОР

MODULAR DIGITAL SYSTEM FOR MONITORING, ASSESSING AND FORECASTING THE CONDITION OF CONCRETE FOR MONOLITHIC WORKS BASED ON INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY

Averbukh Lev

CEO, BIM Capital, Moscow, Russian Federation;
lev@bimcap.org

Nenishev Andrey

Research and Development Department Director, BIM Capital, Moscow, Russian Federation;
a.nenishev@bimcap.org

Zheleznov Maksim

Ph.D., Associate Professor, Professor Department, Moscow State University of Civil Engineering (Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction, Professor), Moscow, Russian Federation;
ZheleznovMM@mgsu.ru

Koyadinovich David

Graduate student, Moscow State University of Civil Engineering (Department of Information Systems, Technology and Automation of Construction); Head of Digital Transformation of JSC «ПУТЕВИ» Uzice, Moscow, Russian Federation;
davidkoyadinovich@yandex.ru

Straub Yann

Advisor to the CEO, BIM Capital, Moscow, Russian Federation;
ystraub@bimcap.org

Abstract. This article explores the strength characteristics of concrete structures in relation to their production technology, as well as investigates the potential for improving quality control methods in concrete casting through the integration of modern IIoT technologies. During the construction process, there is a frequent necessity to conduct rapid assessments of the condition of concrete and concrete structures directly at the construction site. This need arises from the logical reasoning that upon detecting any structural defects, such as cracks or sinks, it is essential to obtain initial information about the concrete's condition to facilitate subsequent analysis and decision-making without conducting complex laboratory studies. In this study, we made an analysis of existing temperature control systems employed to monitor concreting concrete structures during winter conditions. Additionally, detailed insights and practical experience are presented regarding the utilization of a state-of-the-art monitoring system at construction sites, enabling real-time temperature monitoring both on the surface and within the structure.

Keywords: digitalization, digital transformation, winter casting, concrete mix temperature, temperature regime calculation, temperature monitoring, digital construction control, smart concrete, digital concrete

Аннотация. В статье рассматривается зависимость прочностных характеристик бетонных конструкций от технологии их производства, а также возможность совершенствования методов контроля качества бетонных работ путем внедрения современных IT-технологий. В процессе строительства часто возникает необходимость в проведении экспресс-анализа состояния железобетонных и бетонных конструкций непосредственно на строительной площадке. Основная причина заключается в том, что при обнаружении каких-либо дефектов конструкции (трещины, раковины) вполне разумным представляется получение первичной информации о состоянии бетона для последующего анализа и принятия решения о целесообразности проведения комплекса лабораторных исследований. В настоящей работе предпринят анализ существующих систем контроля температурного режима при бетонировании железобетонных конструкций в зимний период. Дано описание и опыт применения на объектах строительства современной системы мониторинга, позволяющей в режиме реального времени контролировать температуру, как на поверхности, так и внутри конструкции.

Ключевые слова: цифровизация, цифровая трансформация, зимнее бетонирование, температура бетонной смеси, расчет температурного режима, температурный мониторинг, цифровой строительный контроль, умный бетон, цифровой бетон

Введение

Темпы строительства неукоснительно растут, что обуславливает необходимость внедрения передовых цифровых технологий во все этапы строительства и строительные технологические процессы.

Наиболее используемым и актуальным «инструментом» практически на любой строительной площадке является использование такого материала как бетон. Указанный строительный материал может иметь различные качественные характеристики в зависимости от ряда обстоятельств, а потому, соблюдение технологий его применения, сроков затвердевания, составных характеристик бетонной смеси, грамотная транспортировка и укладка данного продукта позволяет достичь максимально эффективно результата как в прочности конструкций, в строительстве которых используется бетон, так и при учете того обстоятельства как долго будет служить строительная конструкция.

Существуют специальные методы исследования качества бетона в лабораторных условиях. Проверка

состава исследуемого образца бетона позволяет дать качественную характеристику состава, дать реальный прогноз прочности его в использовании. Нередки случаи, когда после лабораторных испытаний, состав бетона, не прошедший контроль качества, подлежит изъятию, а строительный процесс, в котором такой бетон применялся — приостановлению, реконструкции уже произведенных работ, большим трудозатратам, дополнительному финансированию и конечно же, увеличению сроков строительства.

Методы контроля качества бетона применяются довольно давно. Однако, их нельзя назвать абсолютными, поскольку существуют погрешности, упущения, различные факторы.

Цифровизация контроля качества бетонных работ — необходимая и актуальная задача в современном строительном процессе, поскольку бетон используется практически на любой строительной площадке, как при наземном строительстве, так и при строительстве подземных зданий и сооружений.

Проблема

Как известно, набор прочности бетона зависит от многих факторов, многие части из которых являются переменными коэффициентами (температура и влажность окружающей среды, качество конкретной заливки, применяемые добавки и т.д.).

Существующие методы контроля созревания бетона разработаны в 80-х годах XX века. Сегодня эти методы потеряли свою эффективность, сдерживают производительность, а также несут в себе риски, связанные с человеческим фактором.

Оптимизация сроков демонтажа опалубки

В современной строительной практике решение о реализованных условиях снятия опалубки с элементов конструкции принимается на основании условий, предусмотренных соответствующими правилами или стандартами. Обзор установленных минимальных условий для снятия опалубки, приведенных в действующем техническом регламенте некоторых европейских стран, представлен в сравнения стандартов по демонтаже опалубки.

Современные методы и методы определения зрелости

Современная методология, основанная на модели зрелости, обеспечивает непрерывный мониторинг зрелости и оценку реализованной прочности бетона на

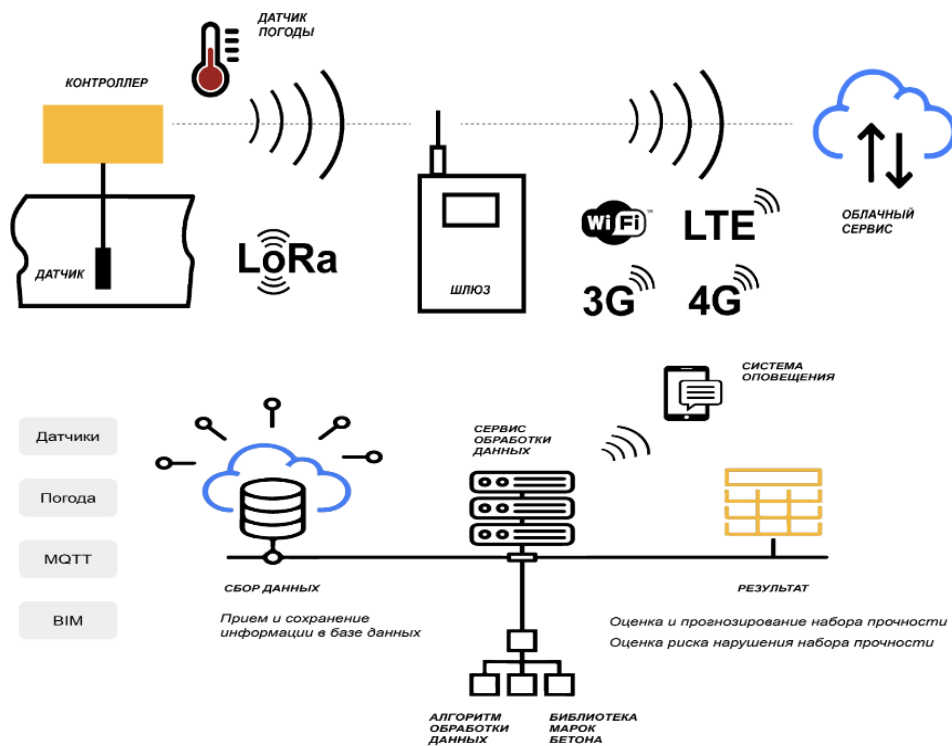


Рис. 1. Современные методы мониторинга температуры бетона

сжатие в конструкции без разрушения. Используя эту технику, на строительной площадке специальные датчики измеряют температуру бетона, которая применяется с использованием указанной модели и конвертируется в зрелость. На основании определенных соотношений зрелость-прочность бетона, делается оценка реализованной прочности на сжатие бетона на месте.

Данные об измеренных температурах с помощью сетевого сигнала отправляются в центральную лабораторию через равные промежутки времени (рис. 1).

Процесс оценки прочности бетона на сжатие с использованием этого неразрушающего метода реализуется в 3 этапа:

I ЭТАП — Калибровка измерений для бетона определенного состава;

II ЭТАП — Измерение времени и температуры в месте установки бетона с помощью датчиков;

III ЭТАП — Обработка полученных данных.

Решение

Система «Цифровой бетон» позволяет сделать процесс бетонирования более производительным и как следствие, оптимизировать сроки строительства и сократить издержки.

Система управления за бетонными работами состоит из беспроводного датчика, который крепится на арматуру перед заливкой бетона, и программного комплекса, который устанавливается на любой тип компьютера или мобильного устройства.

Датчик передает на приемное устройство информацию о текущих параметрах бетона, а программный комплекс вычисляет степень зрелости бетона и определяет динамику созревания, что позволяет определить с точностью до одного часа ожидаемое время достижения бетонной конструкцией ключевых точек зрелости для снятия опалубки и ее последующей нагрузки (рис. 2).

Таким образом, получается возможность в режиме реального времени актуализировать график строительства и избежать необоснованных простоев и издержек.

Представляется, что подобные цифровые технологии, новые информационные продукты помогут добиться высокой скорости возведения зданий и сооружений, а бетон при внедрении такого передового опыта будет качественным, устойчивым, занимать лидирующие позиции по применению на строительных площадках.



Рис. 3. Подготовка оборудования для испытаний



Рис. 4. Процесс подготовки и изготовления кубических образцов

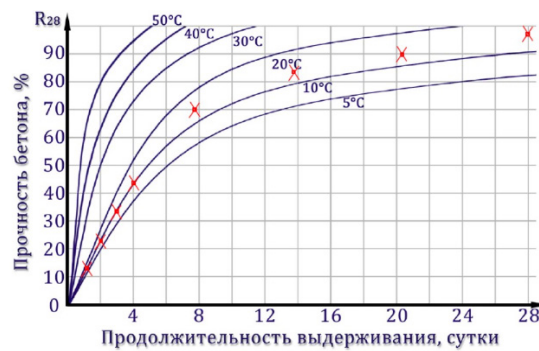


Рис. 5. Графическое изображение зависимости прочность-зрелость

Алгоритм работы

Шаг 1. Выполняется расчет и определяется места закладки датчиков в элементе конструкции;

Шаг 2. Производится крепеж датчиков на арматуре перед заливкой бетона;

Шаг 3. После заливки передаются данные о состоянии бетона и ожидаемое время достижения конструкцией контрольных точек. Информация может передаваться как в виде ожидаемых сроков достиже-

ния бетоном контрольных точек, так и в виде актуального графика производства бетонных работ;

Шаг 4. После завершения каждого из этапов, предоставляется отчет в электронном и печатном виде для журнала бетонных работ.

Процесс калибровки проводится с целью определения отношения зрелости к прочности для бетона определенного состава. В связи с этим на бетонном заводе или на строительной площадке заливаются 24

образца бетона кубической формы, которые потом отправляются в лабораторию.

24 образца определены из-за потребности формулирования зависимости прочность — зрелость. Испытание на сжатие делается на 1, 2, 3, 4, 7, 14, 21, 28 дней чтобы формулировалась зависимость и при этом на каждое испытание делается по три образца. Цифровая модульная система мониторинга, оценки и прогнозирования состояния бетона состоит из датчиков и базовой станции, которая получает данные. Датчик (рис. 3) был залит в контрольный кубик (рис. 4) и записывал температуру в лаборатории (рис. 5).

Датчики температуры устанавливались с целью контроля температуры и влажности в разных зонах бетонированной конструкции (рис.6). Схема коммутации и программное обеспечение оборудования системы контроля температуры разрабатывалась компанией VIM Capital, производящей монтаж и контроль за работой данной системы совместно со специалистами ПАО «ПУТЕВИ» Ужице.



Рис. 6. Установка температурных датчиков

Снятие показаний осуществляется сразу после укладки бетона и продолжают в следующем режиме первых 3 суток — каждые 1 часа, потом после 7 суток — каждые 3 часа и после 14 суток — каждые 12 часов. Режим получения показателя можно менять по потребности (рис.7,8,9).

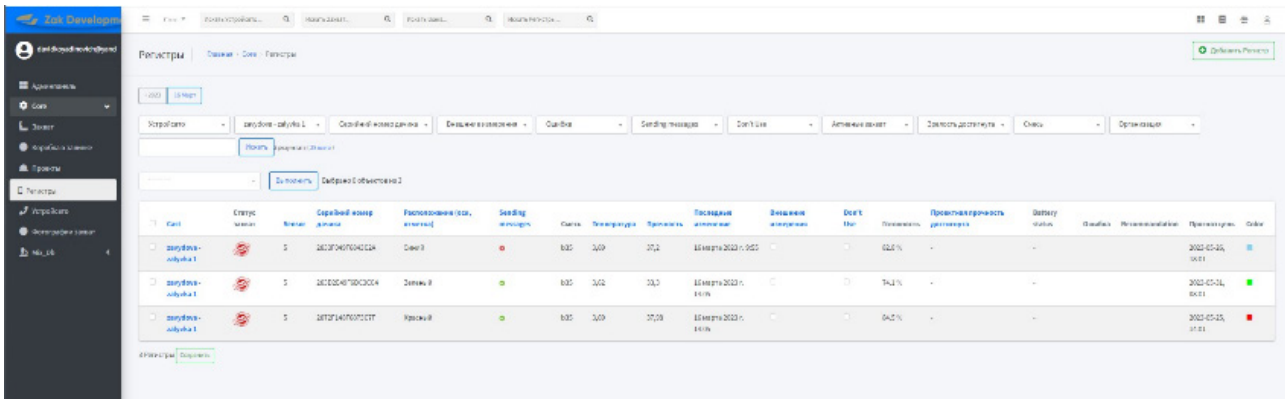


Рис. 7. Полученные данные на платформе

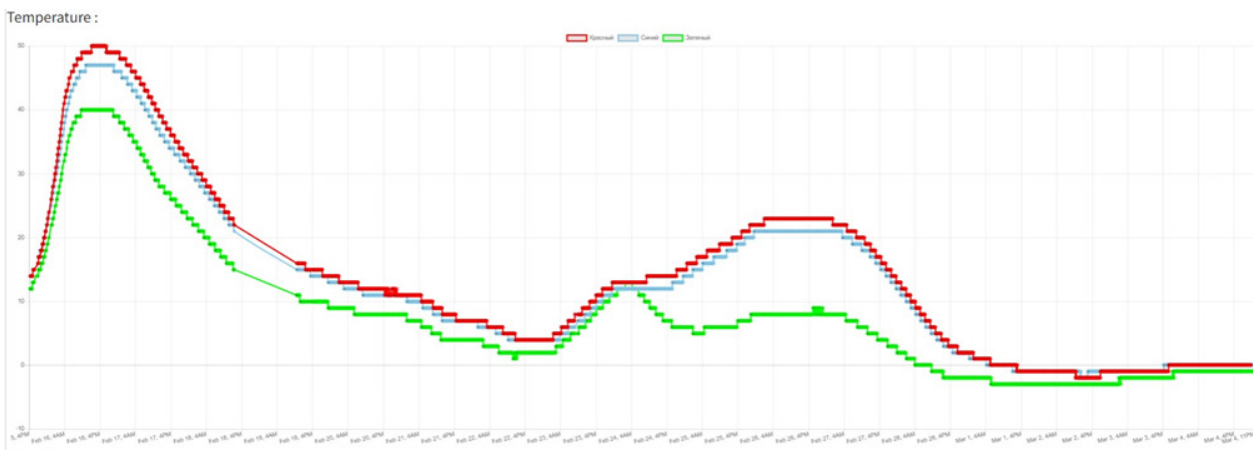


Рис. 8. График изменения температуры

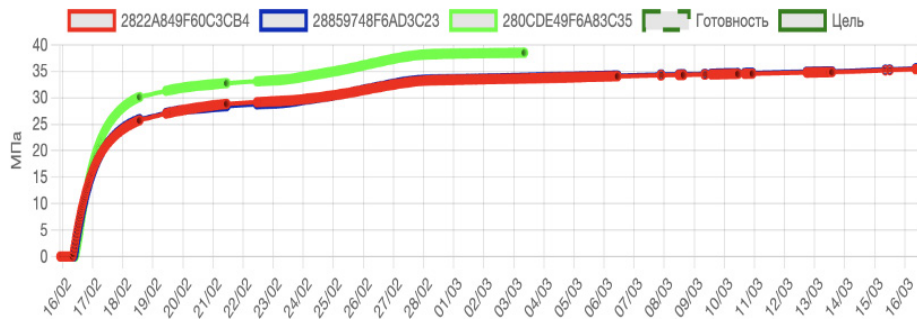


Рис. 9. График прочности бетона

Выводы и рекомендации

Цифровизация технологии контроля качества бетонных работ — необходимая и актуальная задача в современном строительном процессе, поскольку бетон используется практически на любой строительной площадке, как при наземном строительстве, так и при строительстве подземных зданий и сооружений.

Эта статья представляет собой введение в метод зрелости для оценки развития прочности бетона в процессе строительства. Правильное применение этой

относительно простой процедуры может привести к экономии средств, позволяя безопасно выполнять строительные работы в кратчайшие возможные сроки.

Комплекс данных мер позволит в значительной мере оптимизировать процесс контроля качества бетонных работ, а также даст возможность оперативно принимать решения о необходимых мерах для предотвращения потери прочности конструкции, что положительно скажется как на экономической эффективности строительства, так и на долговечности сооружения в целом.

Список литературы

1. Крылов, Б.А. Монолитное строительство, его состояние и перспективы совершенствования // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2012. № 4 (159). С. 35-38.
2. Головнев, С. Г. Зимнее бетонирование: этапы становления и развития / Головнев, С. Г. // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. — 2013. — Вып. 31(50). Ч. 2. Строительные науки. — С. 529-534.
3. Миронов, С.А. Теория и методы зимнего бетонирования [Текст]. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Стройиздат, 1975. — 700 с.
4. Соргутов, И.В. Инновационные технологии в строительстве с применением методов цифровизации при производстве бетонных работ /И.В. Соргутов // Столыпинский вестник — 2022. -№ 7. — С. 3770-3778.
5. Адамцевич, А.О. Применение IT-технологий при контроле качества бетонных работ // А.О. Адамцевич, С.А. Пашкевич, А.П. Пустовгар / Вестник МГСУ — 2011. — №3 — С. 213-217.
6. Осокина, Я.А. Современная система контроля температурно-влажностного режима при бетонировании массивных железобетонных конструкций / Я.А. Осокина, А.Ю. Харитонов // В сборнике: Современное оборудование, методы инструментального обследования и усиления зданий и сооружений. Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции. 2019. С. 37-44.
7. Головнев, С.Г. Компьютерный контроль и регулирование процессов выдерживания бетона в зимних условиях / С.Г. Головнев, Г.А. Пикус, К.М. Мозгалёв, С.А. Савинов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. — 2010. — Вып. 2. — С. 75–78.

References

1. Krylov B. A. High-rise building improvement. What are condition and prospects // Construction materials, equipment, technologies of the XXI century. 2012. No. 4 (159). pp. 35-38.
2. Golovnev S. G. Winter concreting: stages of development // Bulletin of the Volgogr. state archit.- builds. un-ta. Ser.: Page and archit. 2013. Issue 31(50). Part 2. Building Sciences. pp. 529-534.
3. Mironov S. A. Theory and methods of winter concreting. Ed. 3rd, reprint. and additional M., Stroyizdat, 1975. 700 p.
4. Sorgutov, I.V. Innovative technologies in construction with the use of digitalization methods in the production of concrete works / I.V. Sorgutov // Stolypin Bulletin — 2022. — No. 7. — pp. 3770-3778.
5. Adamtsevich, A.O. IT-technologies for control concrete works quality. // A.O. Adamtsevich, S.A. Pashkevich, A.P. Pustovgar / Bulletin of MGSU — 2011. — No. 3 — pp. 213-217.
6. Osokina, Ya.A. Modern temperature and humidity control system for concreting massive reinforced concrete structures / Ya.A. Osokina, A.Yu. Kharitonov // In the collection: Modern equipment, methods of instrumental inspection and reinforcement of buildings and structures. Collection of scientific articles based on the materials of the International Scientific and Practical Conference. 2019. pp. 37-44.
7. S.G. Golovnev, G.A. Pikus, K.M. Mozgalev, S.A. Savinov. Computer control and regulation of concrete holding processes in winter conditions // Academic Bulletin of UralNIIProekt RAASN. 2010. Issue. 2. pp. 75-78.

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 004.94

Евтушенко Сергей Иванович

д-р техн наук, профессор, почетный работник высшего образования Российской Федерации, советник РААСН, член РОМГГиФ, Московский государственный строительный университет (кафедра «Информационные системы, технологии и автоматизация строительства»), Москва, Россия; evtushenkosi@mgsu.ru

Исаев Андрей Дмитриевич

аспирант, Московский государственный строительный университет (кафедра «Информационные системы, технология и автоматизация строительства»), Москва, Россия; adi98sport@mail.ru

Статья получена: 20.05.2023. Одобрена: 20.06.2023. Опубликовано онлайн: 27.06.2023 © РИОР

Аннотация. В статье описано использование технологий информационного моделирования не только в строительной сфере, но и в сфере энергетики, что позволяет минимизировать финансовые и временные издержки предприятий. Описана разработка цифровых двойников газорегуляторного блочного пункта для АО «Мособлгаз» Московской области выполненная в рамках масштабной программы социальной газификации. Дан краткий обзор и анализ применения цифровых технологий в такой стратегически важной отрасли как энергетика. Описаны пути развития данной работы для автоматизации сложных и трудозатратных процессов на предприятии, которая является неотъемлемым шагом на пути снижения затрат и повышению производительности.

Ключевые слова: цифровой двойник, информационная модель, газовое оборудование, декомпозиция процесса, цифровизация, газорегуляторный блочный пункт

Введение

В нефтегазовой отрасли, играющей ключевую роль в экономике страны, объединение практического

опыта, навыков и знаний с новыми инновационными решениями на базе современных информационных технологий способно обеспечить колоссальный синергетический эффект. Ведущие энергетические компании мира, начавшие широким фронтом внедрять цифровые технологии в начале XXI века, получили фору на конкурентном рынке. Российские компании оказались в роли догоняющих и для сохранения конкурентных позиций начали широко использовать цифровые технологии, которые позволяют решать задачи быстрее, экономичнее и с меньшими рисками, а также расширяет горизонты возможностей [1, 2]. Внедрение и использование цифровых технологий является неотъемлемой частью 4-ой промышленной революции. Технологии обработки больших данных, машинное обучение и искусственный интеллект позволяют существенно повысить эффективность всех бизнес-процессов компании — от добычи и переработки до сбыта произведенной продукции конечному потребителю [3]. Данная статья продолжает цикл работ авторов [4-12].

Роль информационных технологий особенно велика в стратегических отраслях экономики, одной

DEVELOPMENT OF A DIGITAL TWIN OF GAS EQUIPMENT

Evtushenko Sergej

Grand PhD in Engineering, Professor, Moscow State University of Civil Engineering (Department of Information systems, technologies and construction automation), Moscow, Russian Federation; evtushenkosi@mgsu.ru

Isaev Andrey

Graduate Student, Moscow State University of Civil Engineering (Department of Information Systems, Technology and Automation of Construction), Moscow, Russian Federation; adi98sport@mail.ru

Abstract. The article describes the use of information modeling technologies not only in the construction sector, but also in the

energy sector, which minimizes the financial and time costs of enterprises. The development of digital twins of a gas control unit for JSC «Mosoblgaz» of the Moscow region, carried out as part of a large-scale program of social gasification, is described. A brief overview and analysis of the use of digital technologies in such a strategically important industry as energy is given. The ways of development of this work for automation of complex and labor-intensive processes at the enterprise, which is an integral step towards reducing costs and increasing productivity, are described.

Keywords: digital twin, information model, gas equipment, process decomposition, digitalization, gas control point

из которых является энергетика. Ведь чем сложнее производство, тем острее оно нуждается в большей автоматизации происходящих в ней процессов. Переход на технологии информационного моделирования (ТИМ) не только в строительном, но и в эксплуатационном секторе энергетике позволяет добиться снижения финансовых и временных издержек.

Цифровая информационная модель (ЦИМ) содержит информацию о физическом и функциональном описании здания или сооружения, а в нашем случае газорегуляторного блочного пункта. ЦИМ ГРБП включает в себя геометрические параметры, конструктивные решения, материалы, системы коммуникаций и другие данные, необходимые для проектирования, строительства и эксплуатации объекта. Она позволяет ускорить процесс проектирования, снизить количество ошибок и увеличить эффективность работы проектного подразделения АО «Мособлгаз». Целью работы является автоматизация текущих процессов предприятия, путем внедрения цифрового двойника газового оборудования. Новизна заключается в разработке способа автоматизации текущих процессов предприятия, путем внедрения цифрового двойника газового оборудования ГРБП. При выполнении исследования учитывалась действующая нормативная база, Государственные стандарты и своды правил в области проектирования и эксплуатации сетей газораспределения, газопотребления, нормативно-правовые акты и положения в сфере информационных технологий при эксплуатации объектов.

Цифровая трансформация нефтегазовой отрасли

Многие крупные российские нефтяные компании за последние несколько лет объявили об использовании технологии цифровых двойников, а многие даже обозначили данное направление в качестве приоритетного направления развития. Например, компания «Лукойл» выделила четыре основных направления: «цифровые двойники», «цифровой персонал», «роботизация» и «цифровая экосистема» [13].

В стратегии компании «Роснефть» («Роснефть 2022») было заявлено шесть основных направлений: «цифровое месторождение», «цифровой завод», «цифровая цепочка поставок», «цифровой трейдинг», «цифровая АЗС» и «цифровой рабочий». В основе большинства из них лежит технология цифровых двойников. В качестве примера успешного внедрения решения класса цифровых двойников следует назвать

проект по созданию «цифрового месторождения» в Башкирии, который «Роснефть» начала в 2018 году. В этом проекте была реализована подробная цифровая копия реального месторождения (Илишевское месторождение), где каждый физический объект представлен своим цифровым двойником, передающим информацию о своем состоянии. С помощью 3D-платформы специалисты в режиме реального времени видят все ключевые показатели — добычу и транспортировку, действия сотрудников, перемещение транспорта. Данные поступают также с беспилотников, которые регулярно облетают территорию месторождения.

Цифровые технологии внедряются также в компании «Татнефть». В частности, на Ромашкинском месторождении удалось добиться снижения себестоимости добычи на 30% за счет использования таких цифровых технологий, как «цифровой двойник оборудования» и «цифровая модель месторождения».

Наиболее полно решения класса цифровых двойников реализуются в дочернем предприятии «Газпрома» — компании «Газпром нефть». Пилотное внедрение программы «цифровое месторождение» в компании началось еще в 2014 г., на базе активов компании «Газпромнефть-Хантос». В 2017 г. здесь был создан Центр управления добычей. Одним из ключевых компонентов Центра управления стал цифровой двойник процесса подъема жидкости из скважин, который позволяет подбирать оптимальные режимы работы системы и предупреждать нештатные ситуации. Со временем Центр управления добычей дополнился и другими цифровыми двойниками. Контроль за цифровой системой ведется из Центра управления добычей, где информация, собранная цифровыми двойниками, накапливается и визуализируется в форме, удобной для принятия своевременных решений многофункциональными командами. Проект находится в постоянном развитии централизованно управлять производством — от работы скважин до сдачи товарной нефти [14, 15]. В «Газпром нефть» технологии цифровых двойников используются не только на этапе нефтедобычи, но и на этапах ее переработки [16]. Летом 2019 г. «Газпром нефть» объявила о создании первого в отрасли центра управления производством для собственных нефтеперерабатывающих заводов, который обеспечит переход от управления отдельными установками к предиктивному управлению технологическими цепочками [17].

Можно перечислить еще несколько проектов класса цифровых двойников, которые ведут отече-

ственные нефтехимические компании. Так, например, в 2018 г. ТАНЕКО «Татнефть» совместно с российским разработчиком решений для нефтехимической отрасли «Химтех» (ChemTech) начала проект по созданию цифрового двойника установки первичного фракционирования нефти ЭЛОУ-АВТ 7, который обеспечивает оптимизацию управления установкой на основе технологий машинного обучения и искусственного интеллекта. В ходе осуществления проекта обработаны данные за несколько лет работы установки, создана термодинамическая модель действующего производства, разработаны виртуальные анализаторы с возможностью предсказания составов технологических потоков, определены возможности оптимизации технологического режима [18].

В компании «Сибур» разрабатывается цифровая модель производственного комплекса «ЗапСибНефтехим». Цифровая модель внедряется как первый шаг на пути к созданию цифровых двойников для сквозного управления предприятием на протяжении всего производственного цикла [19]. Модель отображает производственные процессы и инфраструктуру, включая мощности по производству полиэтилена и полипропилена. В дальнейшем предполагается объединить модель с данными систем управления производством и управления ресурсами, АСУ ТП видеоаналитикой и IoT, что позволит получать информацию о состоянии производственных активов.

Среди российских компаний, использующих цифровых двойников для разработки инструмента в нефтегазовой отрасли, можно упомянуть компанию АО «Волгабурмаш». Компания переходит на цифровые технологии и занимается созданием цифровых двойников. В АО «Волгабурмаш» используются САД-системы, системы инженерного анализа и PLM-системы, на основе которых были созданы цифровые двойники изделий. Параллельно решаются задачи технологической подготовки производства. Использование технологий PLM позволило полностью отказаться от оформления чертежей и стандартной технологической документации, что существенно экономит время. «Волгабурмаш» удалось серьезно повысить скорость разработки и производства готовой продукции, анализировать гораздо больший объем данных, повысить экономическую эффективность [20].

В заключение следует отметить, что необходимость использования цифровых технологий стимулируется правительством России. Большинство ведущих компаний разработали стратегии по цифровизации и начинают воплощать их в жизнь. Проведение

цифровой трансформации нефтегазовой отрасли способно повысить производительность труда на 10%, увеличить объемы добычи на 3%, а также добиться сокращения издержек на 20%.

Цифровизация в АО «Мособлгаз»

АО «Мособлгаз» - одна из крупнейших газораспределительных компаний России, которая реализует масштабную программу Правительства Московской области «Развитие газификации Московской области до 2030 года» наряду с многими нефтегазовыми компаниями проходит этап цифровизации. Подобный этап является необходимым для ее развития, места на нефтегазовом рынке и прогресса отрасли в целом. Одним из направлений этапа цифровизации газовой сферы является разработка цифровых двойников газовых объектов и как следствие создание единой базы, сети хранилища, позволяющее перевести многие рабочие процессы компании на более эффективный и современный уровень.

Выбор программного обеспечения для разработки цифрового двойника газового оборудования

В качестве средства работы для создания информационной модели газового оборудования ГРБП был выбран программный комплекс (ПК) Archicad 22.

Программный комплекс основанный на использовании ТИМ создан венгерской фирмой Graphisoft, основанной в 1982 году, и предназначен для проектирования архитектурно-строительных конструкций и инженерных решений [12]. Программа, позволяет собирать сложные ИМ из отдельных элементов для того, чтобы проектировать здания и инженерные объекты.

В сфере строительства данный программный комплекс используется для проектирования новых зданий и сооружений, а также создания планов по перестройке существующих. Обновленный и расширенный функционал программного комплекса подходит для решения сложных инженерных задач и проектов инженерных конструкций, коммуникаций (электрические сети, водопровод, водоотведение, газоснабжение), разрабатывать модели технологического оборудования.

Анализ свойств и возможностей данного программного комплекса позволил принять решение использовать данную программу как инструмент разработки цифрового двойника газового оборудования. Данный программный комплекс обладает свойства-

ми, которые применимы к специфике проекта и к работе организации в целом, а именно возможность разрабатывать параметризованные семейства отдельных технологических устройств и деталей, интуитивно понятный интерфейс, возможность работать с общедоступными форматами моделей, разработка, вывод и хранение документации, качественная и реалистичная визуализация для большей информативности.

В качестве средства анализа и необходимых расчетов было выбран Microsoft Excel. Так как инструментарий ПК Archicad позволяет импортировать/экспортировать текстовую информацию в формате XLSX.

Microsoft Excel позволяет хранить, организовывать и анализировать информацию в поставленной задаче.

IFC Viewer BIM Vision был использован в качестве средства просмотра информационной модели в форматах IFC. В BIM Vision можно посмотреть модель, сечения, просмотреть свойства элементов, наложить цвета и прозрачность на элементы, измерить не только расстояния и площади, но и объёмы.

Требования к цифровой модели ГРБП

Линия редуцирования цифровой модели ГРБП должна состоять из газопровода, фильтра, запорной, редуцирующей, предохранительной и отключающей (защитной) арматуры, контрольно-измерительных приборов.

Органы управления редуцирующей, предохранительной и защитной арматуры должны располагаться со стороны основных проходов как и на фактическом объекте ГРБП.

В Цифровой модели ГРБП необходимо указать информацию о запорной арматуре: класс герметичности А по ГОСТ 9544-2015 и ресурсом «открытие — закрытие» не менее 10 000 циклов.

В цифровой модели необходимо отобразить технологические узлы ГРБП, они должны иметь информацию о применяемых прямошовных электросварных трубах, изготавливаемых в соответствии с ГОСТ.

Места начала и окончания сварки каждого слоя («замки» шва) должны явно отображаться в модели или же иметь какое-либо условное обозначение. Расстояние между продольным швом газопровода и швом приварки патрубка должно составлять не менее 50 мм.

Конструкция линий редуцирования цифровой модели ГРБП должна обеспечивать возможность настройки параметров редуцирующей, предохранитель-

ной и отключающей арматуры и внесения в нее в дальнейшем новых параметров.

Линии редуцирования цифровой модели должны располагаться на одном уровне по горизонтали. Линии редуцирования с оборудованием (фильтры, ПЗК, регуляторы) условным диаметром до 80 мм включительно могут располагаться друг над другом. Иное должно быть обосновано и согласовано со специалистами Управления эксплуатации АО «Мособлгаз».

В модели ГРБП следует отобразить продувочные и сбросные трубопроводы, которые должны иметь минимальное число поворотов и выводиться через стены за пределы ГРБП (если таковые есть) вертикально вверх наружу в места, обеспечивающие безопасные условия для рассеивания газа, но не менее чем на 1 м выше карниза здания.

На линиях редуцирования цифровой модели ГРБП на первом и последнем фланцевом соединении должны быть смоделированы поворотные заглушки.

Детали, которые требуют демонтажа при обслуживании, настройке или переналадке должны иметь детальную проработку, с наличием внутри таковых деталей всех составляющих ее запчастей. Детали должны располагаться в соответствии с инструкцией завода изготовителя.

Все надписи занесенные в цифровую модель ГРБП и указатели (направление движения газа, нумерация оборудования согласно технологической схеме) должны отображаться красным цветом.

На всех боковых поверхностях блок-контейнера должна быть нанесена предупреждающая надпись: «ОГНЕОПАСНО — ГАЗ». Надпись: «ОГНЕОПАСНО — ГАЗ» должна отображаться на основе желтого цвета размером 280x380 мм. Цвет надписи красный.

На моделях газопровода должно быть указано (красным цветом) направление движения потока природного газа, а на маховиках запорной арматуры — направление открытия и закрытия. На все модели арматуры в удобном для прочтения месте должны быть нанесены индивидуальные порядковые номера от меньшего к большему по направлению движения потока газа.

Газопроводы должны иметь желтый цвет.

Модель газового оборудования должна иметь маркировку на корпусе (шильды), в которой указывается:

- наименование или товарный знак предприятия-изготовителя;

- условный проход;

- условное или рабочее давление;

- указатель направления потока среды.

Цифровая модель ГРБП должна иметь в себе Исполнительно-техническую документацию на ГРБП,

которая, должна быть сброшюрована. Паспорт и руководство по эксплуатации ГРПБ должны выполняться на русском языке. Допускается объединять указанные документы в один.

Цифровая модель ГРБП должна содержать номенклатурный перечень деталей оборудования для возможности их заказа.

Разработка цифрового двойника ГРБП. Декомпозиция процесса.

В соответствии с поставленной задачей — разработка цифрового двойника газорегуляторного блочного пункта, проведем процесс декомпозиции, чтобы наиболее ясно и информативно отобразить процесс разработки цифровой модели.

1 Уровень — Получение технического задания на разработку информационного двойника ГРБП.

Управлением эксплуатации вместе с главным инженером и инженерами филиалов формируется техническое задание на разработку цифрового двойника, указывая и прописывая необходимые требования к информационной модели ГРБП, для наиболее эффективного и информативного использования таковой при эксплуатации. Техническое задание после разработки согласовывается главным инженером филиала, а также главным инженером управления эксплуатации сетей газораспределения.

2 Уровень — Сбор и анализ необходимой документации для разработки цифрового двойника.

В соответствии с техническим заданием на цифровой двойник ГРПБ происходит сбор необходимой документации. При разработке цифрового двойника необходим полный комплект исполнительно технической документации от завода-производителя. Также для разработки модели необходимо наличие всех технических паспортов на детали газового оборудования, все акты и технические характеристики, для последующего занесения полученных данных в модель. По собранной документации будет производиться моделинг и разработка деталей газового оборудования в программе.

Полученную документацию необходимо проанализировать. Чертежи, спецификации и прочая документация, которая будет использована в разработке цифрового двойника, должны соответствовать действительности, не должны иметь нарушений, полученные данные должны четко соответствовать изделию, иметь штамп и подтверждение завода-производителя. Собранный комплект документов также

проверяется и утверждается инженером управления эксплуатации.

Утвержденный комплект документации изделия сортируется по разделам. Чертежная документация будет использована при разработке геометрической составляющей цифрового двойника. Спецификации, паспортные данные деталей газового оборудования, будут занесены в цифровой двойник после разработке геометрической составляющей модели ГРБП.

3 Уровень — Оцифровка собранной документации.

Полученные данные об объекте газового хозяйства не всегда представлены в электронном виде, порой приходится пользоваться бумажными носителями в силу того, что электронный вариант был утрачен или же не производился в действительности.

Так как мы говорим о цифровом двойнике газового оборудования, следует, что вся документация по данному объекту должна быть оцифрована. Чертежи, схемы, паспортные данные, технические регламенты и результаты эксплуатации должны храниться в электронном виде в модели.

Необходимые чертежи газового оборудования могут быть выполнены в сторонних программах, таких как АВТОКАД в формате dwg. Электронный чертеж послужит подосновой для разработки модели ГРБП и также будет занесен в модель цифрового двойника.

Текстовые данные переводятся в электронный вариант, для последующего занесения такового в модель.

4 Уровень — Разработка геометрической модели объекта.

Разработка геометрической модели газорегуляторного пункта является наиболее важным и ответственным процессом.

При наличии необходимого комплекта оцифрованной рабочей документации, начинается этап непосредственно разработки самого цифрового двойника.

В программу подгружаются оцифрованные чертежи газового оборудования в полном собранном состоянии. Это необходимо для того, чтобы разработать габаритный контейнер ГРБП, определить его масштабы и все основные геометрические параметры рис. 1.

В программе размещаются чертежи всех трех плоскостей, чтобы безошибочно отобразить габаритный контейнер ГРБП. Далее по размещенным чертежам воспроизводится габаритный контейнер (рис. 2) Это необходимо, чтобы на начальном этапе разработки цифрового двойника иметь понимание о фактических размерах модели. Также полученный

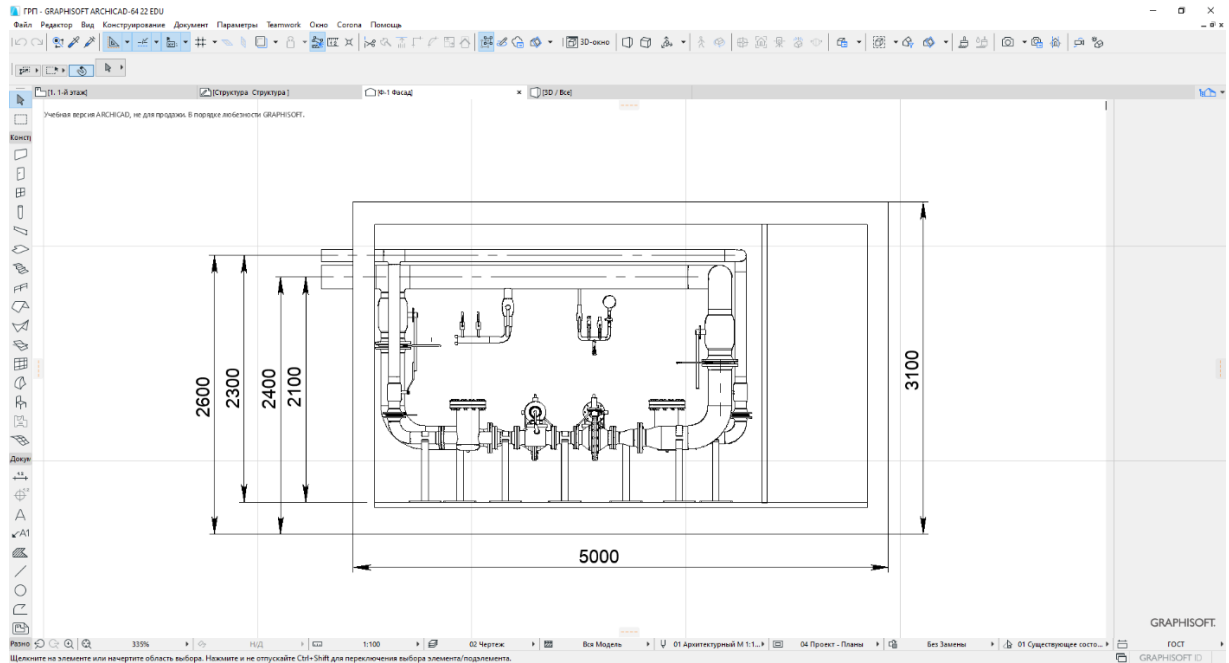


Рис. 1. Размещение основного чертежа

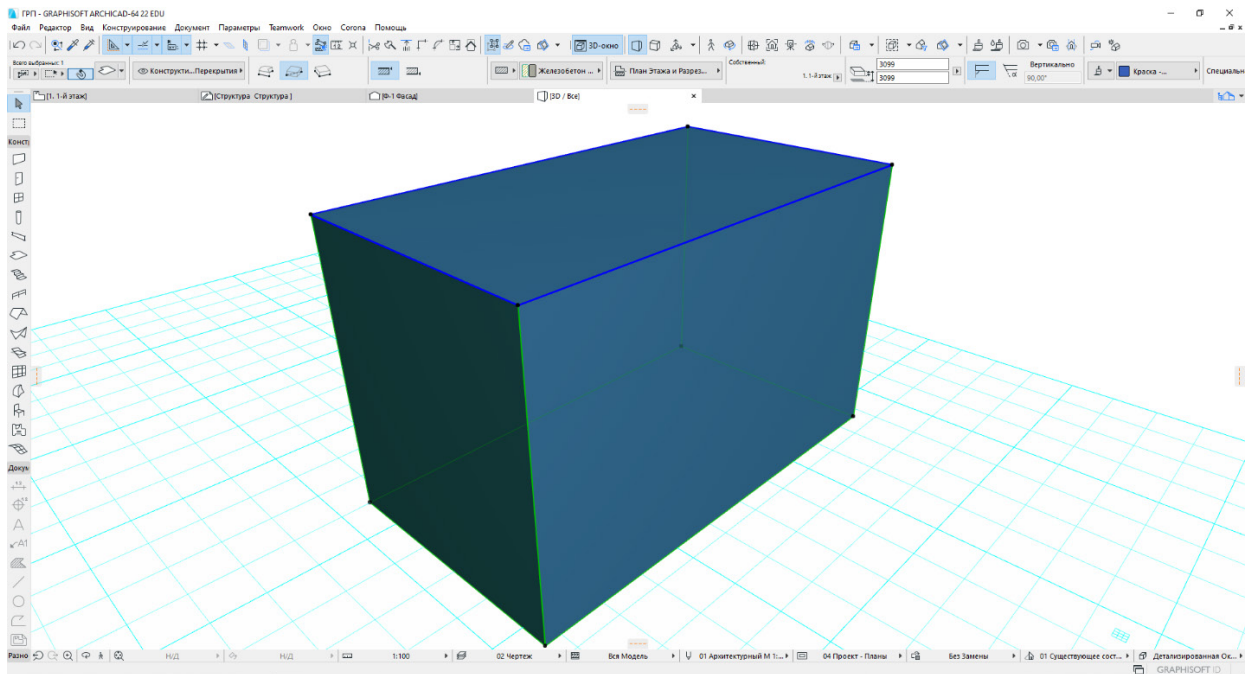


Рис. 2. Разработка габаритного контейнера газового оборудования

объем может использоваться в дальнейшем как наиболее облегченная модель газового оборудования. В пример можно привести проектный отдел. При разработке проекта здания или иного строительного объекта, информация о располагающемся в нем газовом оборудовании и его габаритах бывает крайне важна, чтобы заранее рассчитать и спроектиро-

вать помещение, где будет размещаться газовое оборудование. Проектные отделы часто сталкиваются с проблемой нарушения габаритов помещения при монтаже газового оборудования, что в последствии может привести к неудобной эксплуатации газового оборудования и в критических случаях даже к аварии.

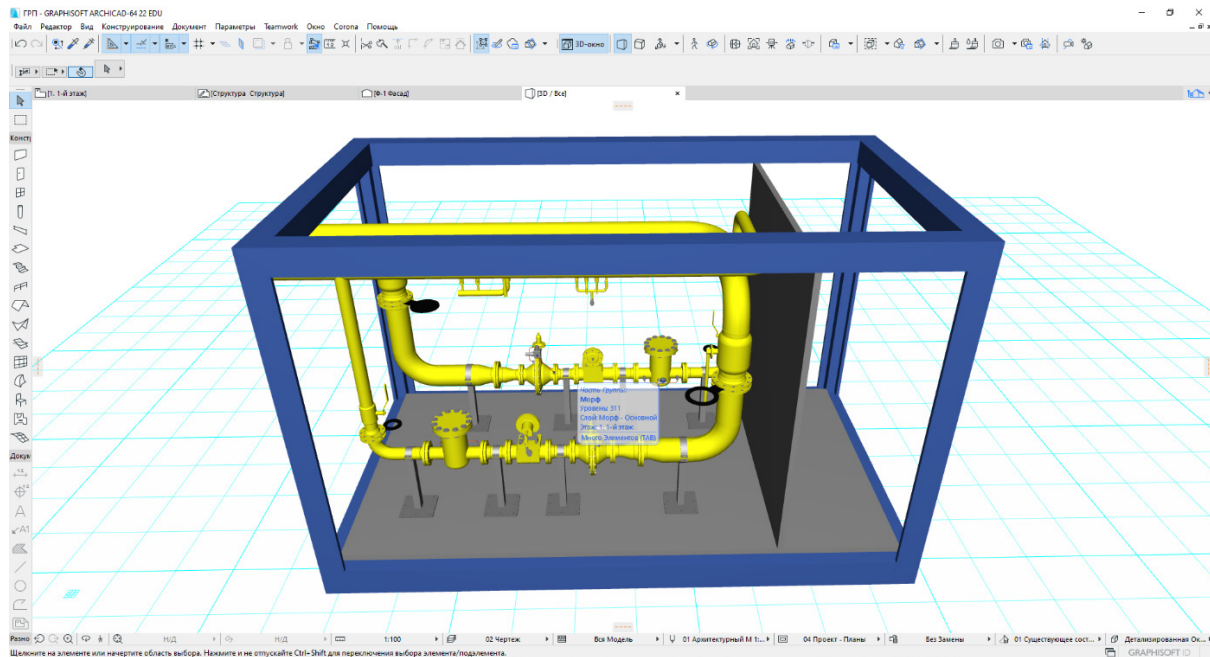


Рис. 3. Разработка общего вида модели ГРПБ

Простейшей габаритной модели, будет присвоен отдельный независимый слой отображения. В дальнейшем при использовании данной модели проектными отделами организации, работники могут активировать данный слой с упрощенной геометрией, скрыв подробную детализацию модели, это может значительно снизить нагрузку на компьютер в работе. Также как и на всех последующих этапах модель проходит согласование и проверку инженером эксплуатации. После согласования первого этапа разработки модели, требуется приступить к детализации.

Используя чертежи, занесенные в программу, разрабатывается общая конструкция модели ГРБП. Необходимо разработать все линии редуцирования, основное оборудование ГРБП — фланцы, запорную арматуру, фитинги и т.д. рис. 3. Общий вид цифровой модели используется для контроля качества разработки модели, согласования точности и правильности разработки.

Общая модель ГРБП выполняется из программного инструмента «Морф». Данный инструмент позволяет создавать любые формы и присваивать в последствии к разработанным деталям различные характеристики и материалы. Этот универсальный инструмент активно используется в программе особенно в таких нестандартных случаях. Любая созданная модель из «Морфа» может быть сохранена как объект, к ней будет назначен материал и присвоена классификация, чтобы в дальнейшем внести все необходимые атрибуты.

Отображенная на рис. 3 модель, выполнена как единое целое, на данном этапе это единый объект, из него невозможно выделить какую-либо деталь, просмотреть ее содержимое или увидеть детализацию.

Этот этап также проходит согласование и подтверждение инженера. Полученная модель ГРБП на этом этапе также может использоваться в различных подразделениях. Модель, не имеющая детальной проработки, также не имеет большого веса для корректной работы программы. Ее можно использовать для проектного процесса, чтобы наиболее эргономично использовать пространство помещений.

После утверждения общего вида модели, начинается детальная проработка отдельно каждого элемента технологического устройства ГРБП.

На рис. 4 показан процесс разработки фильтра ГРБП. Занесенные подробные чертежи отдельно каждого элемента газового оборудования, детально моделируется, добавляются внутренние составляющие газового элемента и различные необходимые для корректного отображения цифрового двойника детали.

Таким образом прорабатывается каждая деталь газового оборудования, формируя поэтапно цельный вид цифрового двойника.

На данном этапе цифровой двойник представляет собой набор, отдельно проработанных элементов с точными геометрическим параметрами, с точным отображением как в действительности (рис. 5). Оцифрованные элементы также отдельно

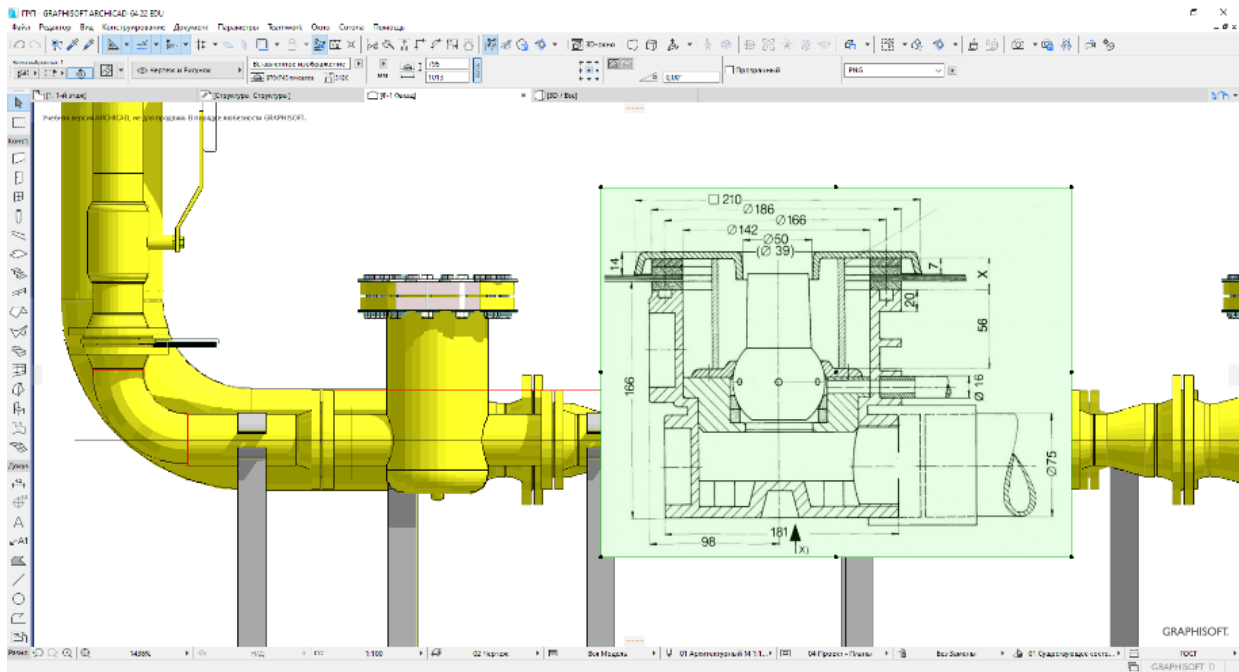


Рис. 4. Проработка каждого элемента газового оборудования

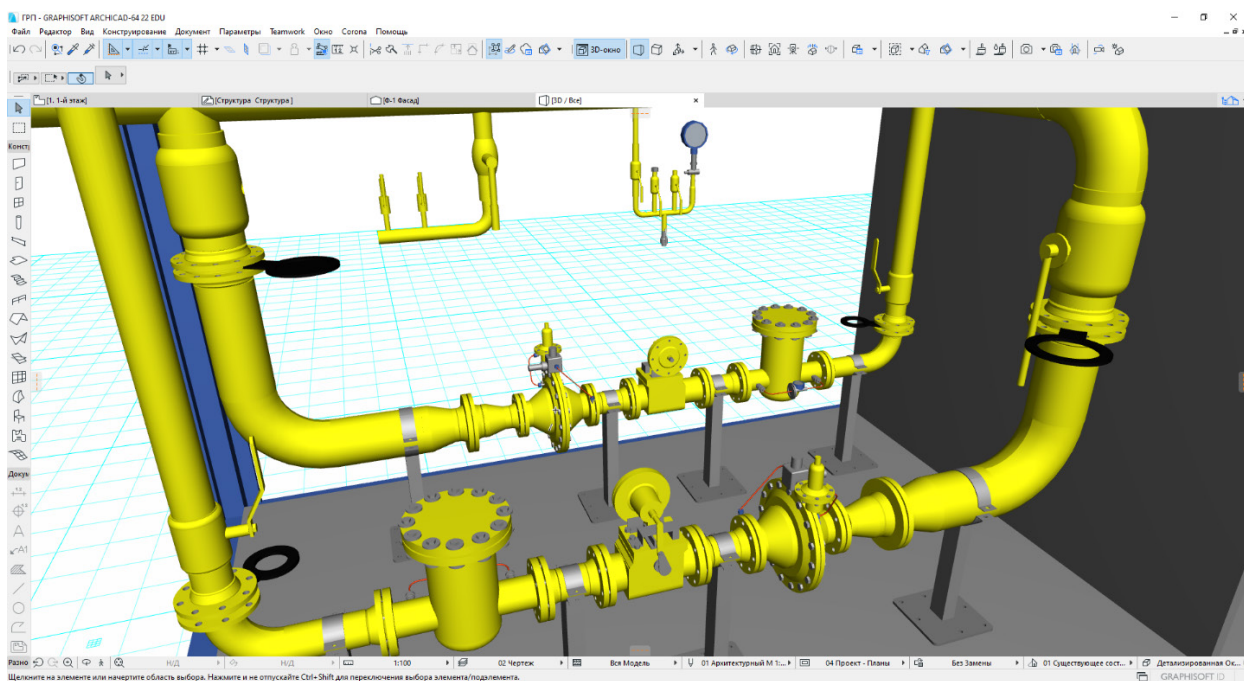


Рис. 5. Детальная проработка каждой отдельной детали

сохраняются как библиотечные элементы. В последствии они могут использоваться при разработке нового двойника, где используется аналогичное оборудование и детали с похожими техническими характеристиками. Элементы хранятся в программе и также отдельно выгружаются на сервер. Каждую модель детали возможно получить отдельно и

в новом проекте оцифровки. В последствии разработок цифрового двойника будет формироваться база из моделей газового оборудования. Это значительно будет экономить время создания цифрового двойника, процесс разработки будет представлять собой сбор готовых элементов — как конструктор.

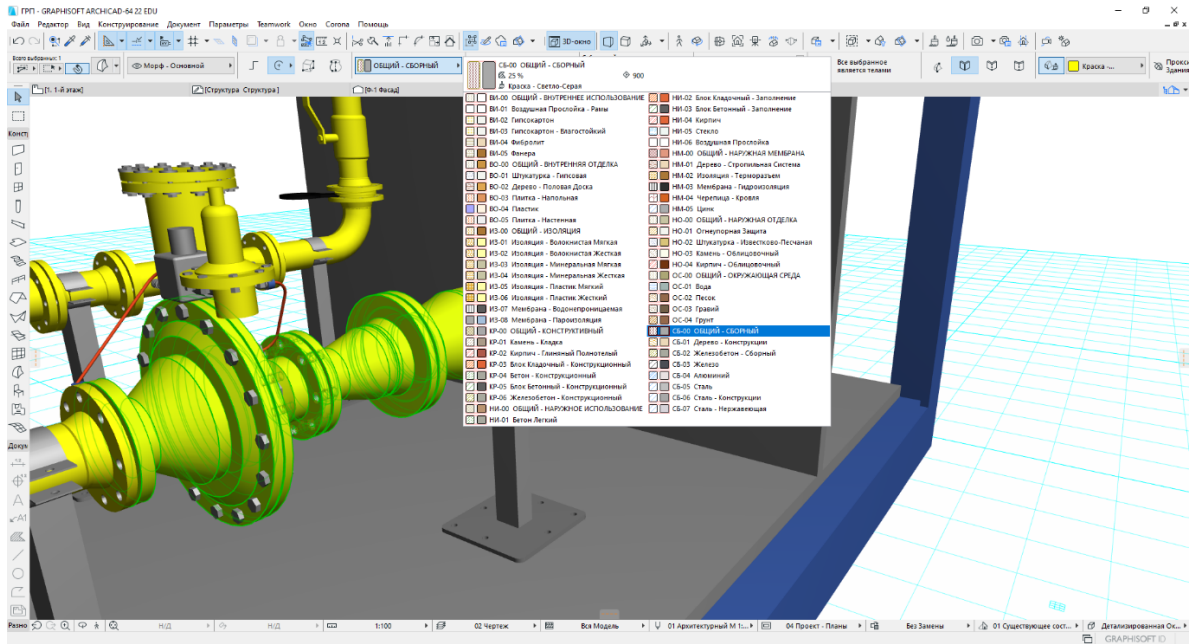


Рис. 6. Назначение материала модели

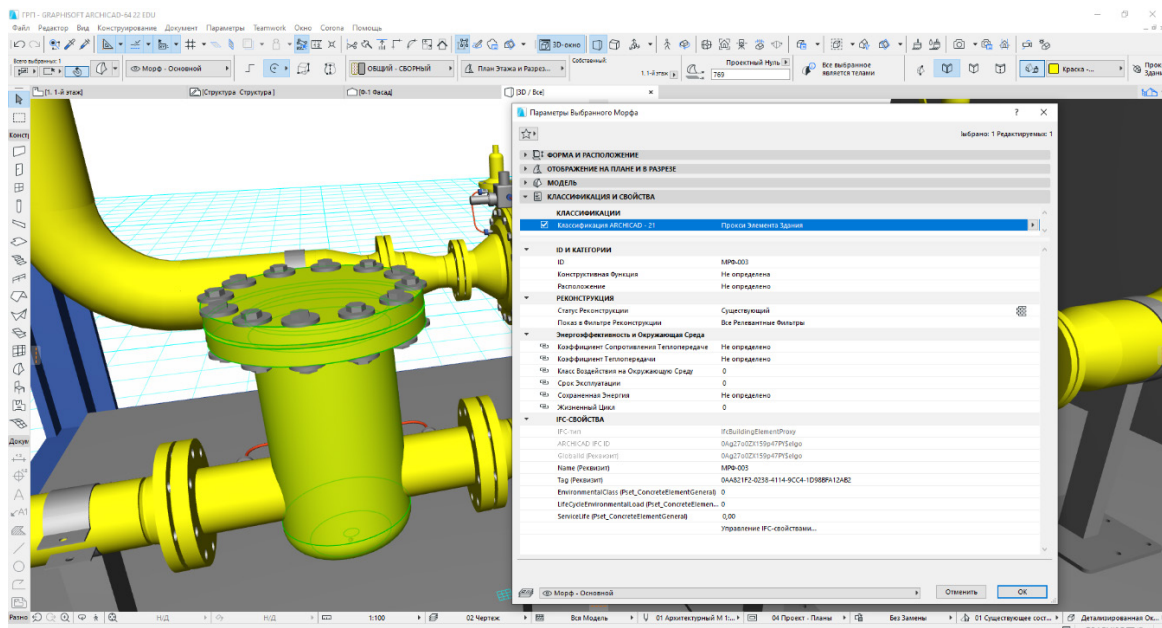


Рис. 7. Внесение параметров в модель

После окончания разработки модели сам цифровой двойник проходит проверку на коллизии, модель тщательно проверяется на наличие задвоений деталей, целостность всех оцифрованных деталей, их корректные габариты и полноту необходимых геометрических составляющих.

5 Уровень – Внесение данных в модель.

Геометрическая модель не является конечным результатом проекта. После разработки геометриче-

ской модели газового оборудования в каждый из используемых элементов газового оборудования необходимо внести подробную информацию, собранную и утвержденную ранее.

Выделив в модели элемент, ему первоочередно присваивается материал, из которого он создан в реальности рис. 6.

В соответствии с техническими характеристиками элементу газового оборудования присваивается ма-

териал, этот параметр будет в первую очередь отображаться при просмотре модели.

Далее в выбранную модель элемента газового оборудования вносится вся необходимая информация из технического паспорта изделия и его регламента и т.д. В открывшемся диалоговом окне рис. 7 отображаются все данные и параметры изделия. Из этих сведений можно получить информацию о сроках эксплуатации изделия, его технические характеристики, вес, срок использования, материал и многое другое. Эти данные также возможно редактировать и менять. Ответственное лицо, принимающее участие в разработке информационной модели и имеющее права вносить информацию, может корректировать данные, а также вносить новые.

На выходе мы имеем полностью оцифрованный объект газового оборудования с внесенными в него всеми необходимыми характеристиками.

6 Уровень – Эксплуатация цифрового двойника ГРБП.

Как было отмечено ранее, отсутствие единого архива данных об объекте газового хозяйства, разрозненность данных, отсутствие таковых в электронном варианте, значительно замедляет рабочий процесс, отсутствие такового приводит к потере рабочего времени, неправильно принятым решениям, а следовательно к нарушениям в работе газового оборудования.

Разработанный цифровой двойник представляет собой не только визуальное отображение фактического объекта, но и может использоваться различными структурными подразделениями предприятия в совершенно разнообразных задачах. Работникам будет предоставлен единый архивный источник данных, в который они могут иметь регулярный и неограниченный доступ.

Стоит упомянуть какой эффект получают смежные подразделения организации.

Так управление эксплуатации, значительно улучшит многие текущие рабочие процессы, связанные газовым оборудованием. Наличие визуального электронного архива, положительно скажется на экономии времени в работе, визуальная составляющая проекта поможет значительно повысить эффективность решения задач, связанных с эксплуатацией, а быстрый доступ к техническим характеристикам оборудования и паспортным данным изделия увеличит производительность многих текущих процессов.

Проектное подразделение сможет наиболее корректно разрабатывать проектное решение для зданий, ориентируясь на оцифрованный двойник. Наличие

такового поможет предусмотреть и заранее рассчитать габариты помещений, нормативные расстояния между газовым оборудованием и стенами помещений, а также наиболее выгодно расположить его в пространстве для эффективного пользования и предотвращения аварийных ситуаций.

Подразделение снабжения, благодаря цифровому двойнику, сможет отслеживать наличие действующего оборудования, его состояние и сроки эксплуатации, для своевременной замены. Цифровой двойник газового оборудования позволит также подбирать новое газовое оборудование, ориентируясь на используемые элементы. Возможность проверить новое заводское оборудование на соответствие уже используемому значительно повысит эффективность принятия решений и поможет избежать потери денежных средств в случае приобретения не подходящего комплекта составных деталей.

Стоит отметить, что данный цифровой двойник возможно использовать в аналитическом управлении, чтобы ставить и проводить испытания, направленные на ликвидацию и локализацию аварийных ситуаций. Учебные подразделения АО «Мособлгаз» могут использовать цифровой двойник для обучения работников. Физические экспонаты со временем устаревают, а покупка новых также несет дополнительные траты. Виртуальная же модель актуальна и позволяет наиболее эффективно познакомить работника с техническим составляющим детали, подробно изучить содержимое и ознакомиться с его работой перед тем как приступить к работе.

Переход на новые возможности цифрового двойника газового оборудования позволит, получать от завода производителя соответствующие модели в комплекте с реальным оборудованием, таким образом архив элементов газового оборудования будет регулярно пополняться и актуализироваться новыми используемыми моделями. Полученные модели также можно будет применять при разработке иного цифрового двойника или же заменять уже устаревшее газовое оборудование в ранее оцифрованной модели.

Заключение

Подводя итоги, стоит сказать, что использование цифрового двойника в АО «Мособлгаз» является необходимым для оптимизации рабочих процессов. В следствии экономии времени и средств. Оцифровка объектов газовой отрасли и создании цифровых двойников позволяет на базе этого создавать сеть, имеющую в себе архив из оцифрованных объектов. А

разработанная программа с интегрированной в нее средой общих данных позволяет сотрудникам компании более эффективно взаимодействовать с информацией избавляясь от ненужных процессов, эффективно распоряжаться ресурсами, а также осуществлять стандартные рабочие процессы «ЛПР — подчиненный» на более эффективном уровне.

Так ЛПР может открыть нужную модель, извлечь необходимые данные, разместить актуальное задание, провести обзор станции без выезда на нее, и произвести тестирование нового оборудования, не выходя из кабинета что ранее не было возможным.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31 октября 2022 г. № 3268-р. Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года
2. НЕФТЕГАЗ. Ежемесячное информационно-аналитическое издание. Цифровая трансформация нефтегазовой отрасли. Текст: электронный // United Nations. — 2020. — 16 мая. — URL: <http://oilandgasforum.ru/data/files/Digest%20site/DAIDJEST%20WEB2.pdf>
3. Преимущества цифровой трансформации нефтегазовой отрасли на примере крупных нефтяных корпораций | Цифровые технологии — НАНГС Текст: электронный // United Nations. — 2021. — 4 мая. — URL: <https://nangs.org/news/it/preimushchestva-tsifrovoy-transformatsii-neftegazovoy-otrasli-na-primere-krupnyh-neftnyah-korporatsiy>
4. Shilov L., Evtushenko S., Arkhipov D., Shilova L. The prospects of information technology using for the analysis of industrial buildings defects / VII International Scientific Conference “Integration Partnership and Innovation in Construction Science and Education” (IPCSE 2020) 11th -14th November 2020, Tashkent, Uzbekistan // (2021) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1030 (1) 012039. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1030/1/012039>
5. Евтушенко С.И., Шилова Л.А., Улесикова Е.С., Кучумов М.А. Информационное моделирование тоннеля метро с противовибрационными мероприятиями // Наука и бизнес: пути развития, 2019, №10 (100), С. 29-35.
6. Шутова М.Н., Вареница А.П., Евтушенко С.И., Подскребалин А.С. Применение метода 3D сканирования при выполнении обмерных работ объектов производственного и непроизводственного назначения // Строительство и архитектура. — 2022. — Т. 10, Вып. 2 (35). — С. 76-80. doi: 10.29039/2308-0191-2022-10-2-76-80
7. Пученков И.С., Евтушенко С.И. Создание информационной модели здания в среде общих данных // Строительство и архитектура. — 2021. — Т. 9, Вып. 1 (30). — С. 46-50. doi: 10.29039/2308-0191-2021-9-1-46-50
8. Евтушенко С.И., Феттер М.А. Проблемы применения автоматической расстановки элементов при построении информационной модели трубопроводных систем здания по облакам точек // Строительство и архитектура. — 2022. — Т. 10, Вып. 2 (35). — С. 71-75. doi: 10.29039/2308-0191-2022-10-2-71-75
9. Евтушенко С.И., Осташев Р.А. Разработка IFC маппинга для выгрузки информационных моделей архитектурных решений // Строительство и архитектура. — 2022. — Т. 10, Вып. 2 (35). — С. 91-110. doi: 10.29039/2308-0191-2022-10-2-91-110
10. Осташев Р.В., Евтушенко С.И. Анализ плагина для связи информационных моделей зданий Direct Link // Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений: матер. XIX междуна. научн.-техн. конф., Новочеркасск 22-23 октября 2020 г./ Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова. - Новочеркасск: Лик, 2020. — С. 9-13.
11. Уланов А.В., Евтушенко С.И. Проблемы и решения применения BIM технологий при проектировании окон // В сборнике: BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры. Материалы III Международной научно-практической конференции. 2020. С. 286-295.
12. Evtushenko S.I., Krahmalny T.A., Lepikhova V.A., Kuchumov M.A. The information technologies use at difficult technical objects condition control // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. The International Scientific Conference “Construction and Architecture: Theory and Practice for the innovation Development” (CATPID-2019). 2019. С. 066017.
13. Цифровизация нефтяной индустрии. Практические кейсы и примеры ведущих компаний, 6 сентября 2021 [Электронный ресурс]. — Доступно: <https://sntat.ru/news/science/16-09-2019/tsifrovizatsiya-neftyanoy-industrii-prakticheskie-keysy-i-primeryveduschih-kompaniy-5650874> (Дата обращения: 28.05.2020).
14. 1,5% дополнительной добычи. Газпром нефть внедряет новые цифровые решения для повышения эффективности управления добычей, Neftgaz.RU, 17 декабря 2020 [Электронный ресурс]. — Доступно: <https://neftgaz.ru/news/dobycha/196157-1-5-dopolnitelnoy-dobychi-gazprom-neft-vnedryaet-novyetsifrovye-resheniya-dlya-povysheniya-effektiv/> (Дата обращения: 28.05.2020).
15. Цифровое зеркало — Технологии цифровых двойников в нефтегазовой промышленности, (Газпром нефть) [Электронный ресурс]. — Доступно: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2018-september-projects/1863687/> (Дата обращения: 28.05.2020)
16. В «Газпром нефть-Хантосе» создан Центр управления добычей, использующий технологию «цифровых двойников», Агентство нефтегазовой информации, 16 ноября 2017 [Электронный ресурс]. — Доступно: <https://www.angi.ru/news> (Дата обращения: 28.05.2020).
17. Орлов С. Управление эффективностью «Газпром нефть» начала создание единой цифровой платформы логистики, переработки и сбыта, ноябрь 2017 [Электронный ресурс]. — Доступно: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2017-november/1243413/> (Дата обращения: 28.05.2020).
18. На ТАНЕКО создан цифровой двойник ЭЛОУ-АВТ-7, Инфрагентство Девон, 17 августа 2018 [Электронный ресурс]. — Доступно: <https://iadevon.ru/news/petroleum/nataneko-sozdan-tsifrovoy-dvoynik-elou-avt-7-7666/> (Дата обращения: 28.05.2020).
19. Мельникова Ю. Сибур сделал шаг к цифровым двойникам. COMNEWS, 19 февраля 2019 [Электронный ресурс]. — Доступно: <https://www.comnews.ru/content/117968/2019-02-19/sibur-sdelal-shag-k-cifrovym-dvoynikam> (Дата обращения: 28.05.2020).
20. PLM Эксперт «Инновации в промышленности», Siemens, апрель 2018 [Электронный ресурс]. — Доступно: https://vbm.ru/upload/events_files/PLM-Expert-April-2018_tcm802-260591.pdf (Дата обращения: 28.05.2020).

References

- Decree of the Government of the Russian Federation dated October 31, 2022 No. 3268-r. Strategy for the development of the construction industry and housing and communal services of the Russian Federation for the period up to 2030 with a forecast up to 2035.
- Shilov L., Evtushenko S., Arkhipov D., Shilova L. The prospects of information technology using for the analysis of industrial buildings defects / VII International Scientific Conference "Integration Partnership and Innovation in Construction Science and Education" (IPCSE 2020) 11th -14th November 2020, Tashkent, Uzbekistan // (2021) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1030 (1) 012039. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1030/1/012039>
- Evtushenko S.I., Shilova L.A., Ulesikova E.S., Kuchumov M.A. Information modeling of a subway tunnel with anti-vibration measures [Informacionnoe modelirovanie tonnelya metro s protivovibracionnymi meropriyatiyami] // Science and business : development ways, 2019, Issue 10 (100), p. 29-35. (In Russian)
- Shutova M.N., Varenica A.P., Evtushenko S.I., Podkrebalin A.S. Application of the 3D scanning method when performing measurement works of industrial and non-industrial objects [Primenenie metoda 3D skanirovaniya pri vypolnenii obrabotki rabot obektov proizvodstvennogo I neproizvodstvennogo naznacheniya] // Construction and architecture. — 2022. — Vol. 10, Issue 2 (35). — p. 76-80. doi: 10.29039/2308-0191-2022-10-2-76-80 (In Russian)
- Puchenkov I.S., Evtushenko S.I. Creating an information model of a building in a shared data environment [Sozdanie informacionnoj modeli zdaniya v srede obstchich dannykh] // Construction and architecture. — 2021. — Vol/9, Issue 1 (30). — p. 46-50. doi: 10.29039/2308-0191-2021-9-1-46-50 (In Russian)
- Evtushenko S.I., Fetter M.A. Problems of application of automatic placement of elements in the construction of an information model of pipeline systems of a building based on point clouds [Problem primeneniya avtomaticheskoy rasstanivki elementov pri postroenii informacionnoj modeli truboprovodnykh system zdaniya po oblakam tochek] // Construction and architecture. — 2022. — Vol. 10, Issue 2 (35). — p. 71-75. doi: 10.29039/2308-0191-2022-10-2-71-75 (In Russian)
- Evtushenko S.I., Ostashev R.V. Development of IFC mapping for unloading information models of architectural solutions [Razrabotka IFC mappinga dlya vygruzki informacionnykh modeley architekturnykh reshenij] // Construction and architecture. — 2022. — Vol. 10, Issue 2 (35). — p. 91-110. doi: 10.29039/2308-0191-2022-10-2-91-110 (In Russian)
- Ostashev R.V., Evtushenko S.I. Analysis of a plug-in for communication of building information models Direct Link [Analiz plagina dlya svyazi informacionnykh modeley zdaniy Direct Link] // Information technologies in the survey of operated buildings and structures: materials of the XIX International Scientific and Technical conf., Novocherkassk 22-23 oct. 2020./ Platov South-Russian state polytechnic university (NPI). — Novocherkassk: Lik Publ., 2020. — p. 9-13. (In Russian)
- Ulanov A.V., Yevtushenko S.I. Problems and solutions of using BIM technologies in window design // In the collection: BIM modeling in construction and architecture tasks. Materials of the III International Scientific and Practical Conference. 2020. pp. 286-295.
- Evtushenko S.I., Krahmalny T.A., Lepikhova V.A., Kuchumov M.A. The information technologies use at difficult technical objects condition control // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. The International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice for the innovation Development" (CATPID-2019). 2019. P. 066017.
- NEFTEGAZ. Monthly information and analytical publication. Digital transformation of the oil and gas industry. Text: electronic // United Nations. — 2020. -16 May. — URL: <http://oilandgasforum.ru/data/files/Digest%20site/DAIDJEST%20WEB2.pdf>
- Advantages of digital transformation of the oil and gas industry on the example of large oil corporations | Digital Technologies — NANGS Text: electronic // United Nations. — 2021. — May 4. — URL: <https://nangs.org/news/it/preimushchestva-tsifrovoy-transformatsii-neftegazovoy-otrasli-na-primere-kрупnyh-neftnykh-korporatsiy>
- Digitalization of the oil industry. Practical cases and examples of leading companies, September 6, 2021. — <https://sntat.ru/news/science/16-09-2019/tsifrovizatsiya-neftyanoy-industrii-prakticheskie-keysy-i-primeryveduschih-kompaniy-5650874> (28.05.2020).
- Gazprom Neft is introducing new digital solutions to improve the efficiency of production management, Neftegaz.RU, December 17, 2020. — <https://neftegaz.ru/news/dobycha/196157-gazprom-neft-vnedryaet-novyetsifrovye-resheniya-dlya-povysheniya-effektiv/> (28.05.2020).
- Digital Mirror — Digital twin technologies in the oil and gas industry, (Gazprom Neft). — <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2018-september-projects/1863687/> (28.05.2020)
- Gazprom Neft-Khantos has established a Production Management Center using the technology of «digital twins», Oil and Gas Information Agency, November 16, 2017. — <https://www.angi.ru/news> (28.05.2020).
- Orlov S. Efficiency Management Gazprom Neft has started creating a unified digital platform for logistics, processing and sales, November 2017. — <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2017-november/1243413/> (28.05.2020).
- A digital double of ELOU-AVT-7 was created on TANEXO, Devon News Agency, August 17, 2018. — https://iadevon.ru/news/petroleum/na_taneko_sozdan_tsifrovoy_dvoynik_elou-avt-7-7666/ (28.05.2020).
- Melnikova Y. Sibur has made a step towards digital doubles. COMNEWS, February 19, 2019. — <https://www.comnews.ru/content/117968/2019-02-19/sibur-sdelal-shag-k-cifrovym-dvoynikam> (28.05.2020).
- PLM Expert «Innovations in Industry», Siemens, April 2018. — https://vbm.ru/upload/events_files/PLM-Expert-April-2018_tcm802-260591.pdf (28.05.2020).

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТЫ СПЕКТРАЛЬНО АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ПО КОНТРОЛЮ ЗАПЫЛЕННОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 331.453:004.41

Евтушенко Сергей Иванович

д-р техн. наук, профессор, почетный работник высшего образования Российской Федерации, советник РААСН, член РОМГГиФ, Московский государственный строительный университет (кафедра «Информационные системы, технологии и автоматизация строительства»), Москва, Россия; evtushenkosi@mgsu.ru

Лепихова Виктория Анатольевна

канд. техн. наук, доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И. Платова (кафедра «Общеинженерные дисциплины»), Новочеркасск, Россия; odejnaya@rambler.ru

Ляшенко Надежда Владимировна

канд. техн. наук, доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И. Платова (кафедра «Экология и промышленная безопасность»), Новочеркасск, Россия; lyashenko-nadegda@mail.ru

Рябоус Андрей Юрьевич

студент Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия; erdandrey@yandex.ru

Статья получена: 20.05.2023. Одобрена: 20.06.2023. Опубликовано онлайн: 27.06.2023 © РИОР

DESIGNING A SOFTWARE SYSTEM TO ENSURE THE OPERATION OF THE SPECTRAL ACOUSTIC METHOD FOR DUST CONTROL IN CONSTRUCTION

Evtushenko Sergej

Grand PhD in Engineering, Professor, Moscow State University of Civil Engineering (Department of Information systems, technologies and construction automation), Moscow, Russian Federation; evtushenkosi@mgsu.ru

Lyepikhova Viktoriya

Ph.D., Associate Professor, Platov South-State Polytechnic University (Novocherkassk Politechnic Institute) (Department of Ecology and Industrial Safety), Novocherkassk, Russian Federation; odejnaya@rambler.ru

Lyashenko Nadezhda

Ph.D., Associate Professor, Platov South-State Polytechnic University (Novocherkassk Politechnic Institute) (Department of General Engineering Disciplines), Novocherkassk, Russian Federation; lyashenko-nadegda@mail.ru

Riabous Andrei

student, Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, Russian Federation; erdandrey@yandex.ru

Abstract. The article raises the problem of the need to develop specialized software for the operation of the spectral acoustic method for dust control in construction. The general vision of the program is defined, the main functional requirements are formulated and the development of the software architecture of the system is carried out. The resulting system is a desktop multi-window application for the Windows operating system and implements a number of operations that simplify work with the spectral acoustic method. So the system can receive an audio signal file at the input, display the visualization of this signal on the screen and decompose into a Fourier spectrum. After that, the user can, after a number of additional settings, obtain a modal harmonic spectrum based on the Fourier series and display the received data on the screen or in a file. The current project, after clarifications, allows you to proceed directly to the development of a software product to ensure the implementation of a series of calibration experiments using the above method.

Keywords: occupational safety, acoustic method, fast fourier transform, frequency spectrum, application architecture design, client-server application

Аннотация. В статье поднята проблема необходимости разработки специализированного программного обеспечения для работы спектрально акустического метода по контролю запыленности в строительстве. Определено общее видение программы, сформулированы основные функциональные требования и выполнена разработка программной архитектуры системы. Полученная система представляет собой десктопное многооконное приложение для операционной системы Windows и реализует ряд операций, упрощающих работу с спектрально акустическим методом. Так система может получать на вход звуковой файл сигнала, выводить визуализацию данного сигнала на экран и производить разложение в спектр Фурье. После чего пользователь может после ряда дополнительных настроек получить модальный спектр гармоник на основе ряда Фурье и вывести полученные данные на экран или в файл. Текущий проект, после уточнений позволяет переходить непосредственно к разработке программного продукта для обеспечения выполнения серии тарировочных экспериментов с применением вышеуказанного метода.

Ключевые слова: безопасность труда, акустический метод, быстрое преобразование Фурье, частотный спектр, проектирование архитектуры приложения, клиент-серверное приложение

Введение

Многие производства являются источниками промышленной пыли, оказывающей негативное влияние как на здоровье человека и экологию в целом, так и значительно понижающей срок службы различных механизмов и аппаратуры.

Влияние пыли на организм человека, разумеется, зависит от самой пыли, однако в любом случае оно будет негативным. Так, при постоянном контакте с пылью у человека может развиваться целый спектр различных лёгочных болезней – фиброзы лёгких, бронхиты, пневмония, астма, поражения слизистой и кожи. В некоторых случаях пыль может так же быть фактором возникновения злокачественных опухолей. [1,2]

Разумеется, это должно учитываться на производствах, поэтому допустимые концентрации вредных веществ в воздухе изучены и законодательно определены. [3]

Для контроля эффективности работы пылеочистных устройств, которые борются с промышленной пылью, используются методы определения дисперс-

ного состава пыли, такие как, например, спектрально акустический метод.

Данный метод использует в своей основе принципы акустической эмиссии и использование преобразования Фурье с дальнейшим формированием каталога тембровых гармоник, уникальных для каждой фракции пыли. [4,5]

Однако имеющиеся программные комплексы для обеспечения работы данного метода представляют собой тестовые образцы, и им не хватает значительной части требуемого функционала, а так же комфортного взаимодействия с конечным пользователем.

Поэтому было решено на основе имеющихся разработок выполнить проектирование собственной программной системы, удовлетворяющей вышеописанным требованиям.

Объекты и методы исследования

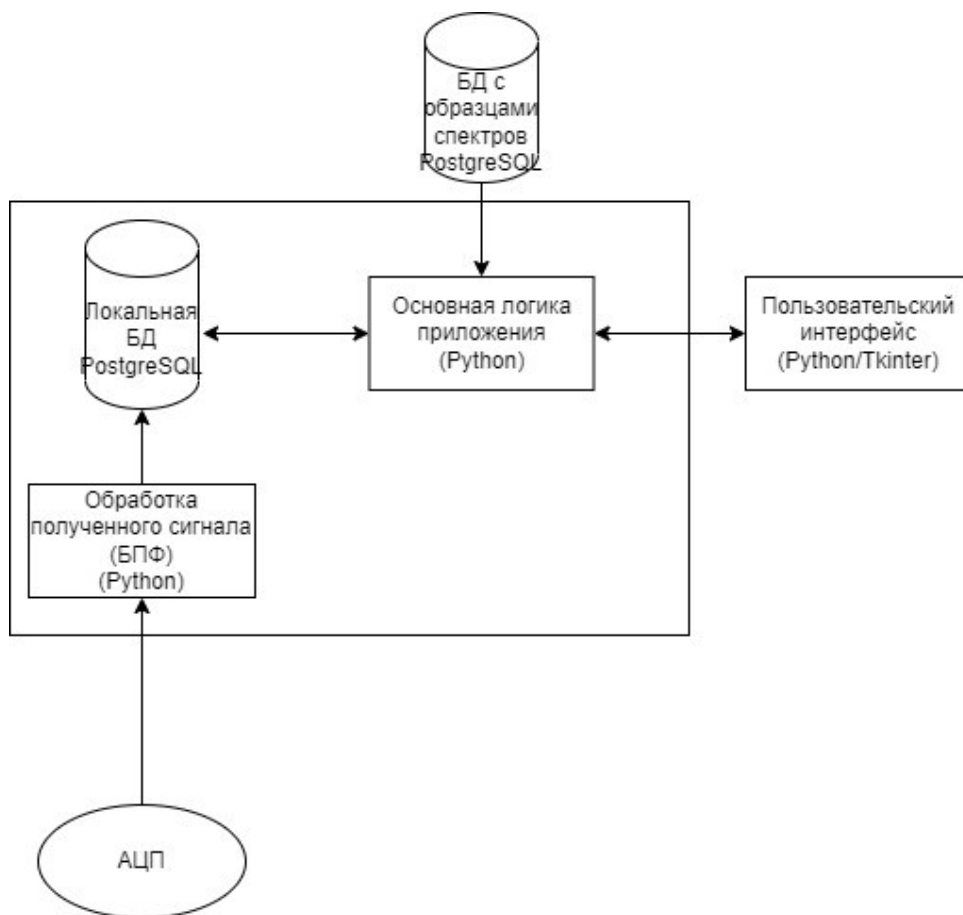
Система представляет собой приложение, позволяющее на основе входных данных – записанный цифровой сигнал шумов, издаваемых потоком пыли при соприкосновении с датчиком и стенками вентиляции, путём использования вышеописанного метода определить фракционный состав пыли, и концентрации тех или иных фракций.

Система подразумевает решение двух различных, но связанных между собой задач – ряда экспериментальных замеров подготовленных образцов монофракций и непосредственно практическое применение на произвольной производственной пыли, используя для этого данные, полученные на первом этапе [6].

В результате работы программы пользователю демонстрируется отображение состава и исходных звуковых спектров как в виде графиков, так и текстовым отчётом [7].

На основе видения проекта, и исходя из выполняемой им задачи, был сформулирован ряд требований к функционалу. В системе должны быть реализованы следующие основные функции:

1. Пользователь может загружать звуковой файл (формата wav) в систему для анализа
2. Пользователь может запускать считывание информации с датчика в реальном времени
3. Должна быть возможность устанавливать настройки обработки сигнала. Например:
 - а. Тип обрабатываемого образца (цементная, асбестовая, угольная пыль и т.д.)
 - б. Количество вычисляемых гармоник в образце
 - с. Диапазон поиска модальной гармоники (Гц)



Модель архитектуры программной системы

4. Система должна обработать полученный из файла\онлайн сигнал и сформировать из него спектр Фурье.

5. На основе полученного спектра система выделяет основные и тембровые гармоники согласно заданным параметрам

6. Используя базу данных эталонных гармоник, система определяет дисперсный состав пыли, чей сигнал был получен в качестве входного.

7. Возможность получить структурированную информацию об исследовании в виде отчёта.

8. Возможность сохранить полученный отчёт в отдельный файл формата pdf.

9. Возможность распечатать сформированный отчёт.

Результаты исследований

Разрабатываемая система является клиент-серверной с толстым клиентом — основная бизнес-логика выполняется именно на нём, а сервер представляет собой хранилище данных, при помощи которых

производится классификация спектров и определение дисперсного состава пыли. Так же присутствует локальная база данных, в которой хранятся данные о актуальных замерах, а также локальная информация о предприятии и пользователях. Это связано в первую очередь с предназначением программы — она разрабатывается для применения на различных промышленных предприятиях, т.е. взаимодействия между конечными пользователями не подразумевается, так же не подразумевается какая-либо мобильность рабочих станций.

Так же, учитывая относительно небольшой объём функционала приложения, было решено использовать монолитную концепцию приложения — нет смысла плодить сущностей, это лишь дополнительно усложнит текущую систему.

Таким образом, разрабатываемое приложение подразумевает наличие следующих частей:

- пользовательский интерфейс;
- подсистема, выполняющую основную логику приложения (математические преобразования и определение дисперсного состава на основе подспектров);

- локальная БД рабочих данных (тех, которые получены в результате измерений);
- БД ‘эталонных данных’ – обучающая выборка, на основе которой происходит классификация рабочих данных.

Для реализации пользовательского интерфейса и, в первую очередь, подсистемы, обеспечивающей основную логику приложения, будет использован язык Python, как наиболее подходящий для выполнения сложных математических преобразований и работы в сфере машинного обучения. [8]

Модель архитектуры программной системы для определения дисперсного состава пыли представлена на рисунке.

Учитывая особенности конечных пользователей и специфику приложения, не предполагается большого количества пользователей и установок программы.

Так же, беря во внимание специфичность и утилитарность основного функционала программы, как и отсутствие хранимых конфиденциальных данных в самой программе, было решено отказаться от механизмов аутентификации и авторизации. Т.е. доступ к утилите будет свободным и его ограничения будут основаны на ограничениях доступа к рабочей станции в рамках политики предприятия.

Обработка исключений, перехват ошибок, и установка граничных значений является важным элементом проектируемой системы, учитывая тот факт, что большая часть действий это математические операции, которые требуют определённого уровня точности. Однако граничные условия должны учитывать тот факт, что система может быть предназначена для анализа различных типов пыли, поэтому не имеет смысла делать слишком жёсткие условия.

Впрочем, это не отменяет проработанной системы обработки ошибок связанных с графическим интерфейсом, запросами к БД и другими.

Как уже говорилось выше, приложение предполагается монолитным, поэтому особого разделение не предусмотрено. Однако стоит обратить внимание на то, что основной блок приложения, реализующий методологию (математические операции, разложение по БПФ, представление в виде спектров и вывод результатов на экран) в целом остаётся неизменным, но получение сигнала через АЦП может отличаться в зависимости от установленной аппаратуры на предприятии. Т.е. можно сказать, что именно сама программа и будет той «компонентой», которая может быть использована в различных системах пылеулёта.

Выводы

Предложенный в тексте статьи проект программного обеспечения позволит реализовать практическое применение спектрально акустического метода. В первую очередь разрабатываемая система предполагает применение в лабораторных условиях, в серии тарировочных экспериментов. Такое применение позволит наработать базу эталонных гармоник для реализации второго этапа метода, а также уточнить требования к разрабатываемой системе, что, в свою очередь обеспечит более качественный продукт при разработке системы уже для производств строительных материалов.

Дальнейшие действия подразумевают уточнение технического задания и разработку программного прототипа, который будет дополнением к измерительному комплексу метода и уже на практике позволит вести работу по анализу пылевого потока.

Список литературы

1. Производственная пыль [Электронный ресурс] — 2021 — URL: <http://prom-nadzor.ru/content/proizvodstvennaya-pyl> (дата обращения — 28.05.2023)
2. Фролов А.В., Лепихова В.А., Ляшенко Н.В., Шевченко Н.С. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда в строительстве. Учебник для вузов / Под общей ред. А.В. Фролова. Москва, 2018. — 586 с.
3. ГОСТ 12.1.005-88 — Межгосударственный стандарт “Система стандартов безопасности труда” Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
4. Ахмед Н., Рао К.Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. — М.: Связь, 1980. — 248 с.
5. В.А. Лепихова Метод неразрушающего контроля дисперсных систем пылеочистительных устройств. — Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. — Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2018. — С. 32-36.
6. Евтушенко С.И., Лепихова В.А., Ляшенко А.Г., Рябоус А.Ю. Особенности акустического сигнала в непрерывном контроле запыленности при производстве строительных материалов. Строительство и архитектура. — 2022. — Т. 10, № 4. — С. 116-120.
7. Осипов Н.А., Рябоус А.Ю., Лепихова В.А., Евтушенко С.И. Диагностика дисперсности пылевых потоков по сигналам акустической эмиссии при строительных работах. Строительство и архитектура. 2022. Т. 10. № 3. С. 51-55.
8. Python 3.11.3 documentation [Электронный ресурс] — 2023 — URL: <https://docs.python.org/3/index.html> (дата обращения — 28.05.2023)
9. Evtushenko S.I., Lepikhova V.A., Lyashenko N.V., Skrinnikov E.V. Identification of soils, grounds and lands strata using the acoustic spectral analysis // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development» (CATPID-2020). 2020. С. 052043.

References

1. Proizvodstvennaya pyl' [Electronic resource] — 2021 — URL: <http://prom-nadzor.ru/content/proizvodstvennaya-pyl> (date of application — 28.05.2023)
2. Frolov A.V., Lepihova V.A., Lyashenko N.V., Shevchenko N.S. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti i ohrana truda v stroitel'stve. Uchebnik dlya vuzov / Pod obshchej red. A.V. Frolova. Moskva, 2018. — 586 p.
3. GOST 12.1.005-88 — Mezhsudarstvennyj standart "Sistema standartov bezopasnosti truda" Obshchie sanitarno-gigienicheskie trebovaniya k vozduhu rabochej zony.
4. Ahmed N., Rao K.R. Ortogonal'nye preobrazovaniya pri obrabotke cifrovyh signalov. — M.: Svyaz', 1980. — 248 p.
5. V.A. Lepihova Metod nerazrushayushchego kontrolya dispersnyh sistem pyleochistitel'nyh ustrojstv. — YUzh.-Ros. gos. politekhn. un-t (NPI) im. M.I. Platova. — Novocherkassk : YURGPU (NPI), 2018. — P. 32-36.
6. Evtushenko S.I., Lepihova V.A., Lyashenko A.G., Ryabous A.YU. Osobennosti akusticheskogo signala v nepreryvnom kontrole zapylennosti pri proizvodstve stroitel'nyh materialov. Stroitel'stvo i arhitektura. — 2022. — T. 10, № 4. — P. 116-120.
7. Osipov N.A., Riabous A.IU., Lepihova V.A., Evtushenko S.I. Diagnostika dispersnosti pylevyh potokov po signalam akusticheskoy emissii pri stroitel'nyh rabotah. Stroitel'stvo i arhitektura. 2022. Vol. 10. № 3. P. 51-55.
8. Python 3.11.3 documentation [Electronic resource] — 2023 — URL: <https://docs.python.org/3/index.html> (date of application — 28.05.2023).
9. Evtushenko S.I., Lepikhova V.A., Lyashenko N.V., Skrinnikov E.V. Identification of soils, grounds and lands strata using the acoustic spectral analysis // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development» (CATPID-2020). 2020. P. 052043.

ВИДЫ ИСКУССТВА (ИЗОБРАЗИТЕЛЬНОЕ, ДЕКОРАТИВНО-ПРИКЛАДНОЕ ИСКУССТВО И АРХИТЕКТУРА)

ФОРМИРОВАНИЕ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ВЫРАЗИТЕЛЬНОСТИ СОВРЕМЕННОГО АРХИТЕКТУРНОГО ПРОСТРАНСТВА

УДК 72.04

Старикова Анастасия Сергеевна

студент, Московский государственный академический художественный институт им. В.И. Сурикова, Москва, Россия;
nastasya.starikova.00@mail.ru

Орлов Евгений Владимирович

канд. техн. наук, доцент, Московский государственный строительный университет, Москва, Россия;
viv-k@yandex.ru

Говоров Вадим Олегович

инженер, ООО НТЦ «ФОНСВИТ», Москва, Россия;
vzh.mo@yandex.ru

Статья получена: 19.04.2023. Одобрена: 28.05.2023. Опубликовано онлайн: 27.06.2023 © РИОР

Аннотация. В статье рассмотрены особенности создания художественной выразительности архитектурного пространства в наши дни. Приведены рекомендации, благодаря которым будет создаваться гармоничная среда обитания для каждого человека. Дана информация о высотных зданиях и об их влиянии на формирование современного архитектурного пространства. Рассмотрены особенности воздействия на архитектурную среду природных объектов. Доказывается, что благодаря им значительно улучшается художественная выразительность формируемого пространства. Показаны особенности биоклиматической архитектуры и сложности, которые возникают при ее воплощении в жизнь.

Ключевые слова: архитектурное пространство, художественная выразительность, высотные здания, город, природа, архитектура, градостроительство, эволюция, формообразование

Человечество, плавно переходя от естественной среды к искусственной, в процессе своего развития эволюционировало, приобретая огромные знания в области архитектуры и строительства. Это привело к появлению архитектурной среды, художественная выразительность которой сегодня играет большую роль не только при строительстве новых городов и населенных пунктов, но и при реновации урбанизированных территорий.

Каждая эпоха в полной мере всегда оказывала огромное влияние на формирование архитектурного пространства, привнося туда различные элементы, которые могли быть сугубо индивидуальными в зависимости от региональных особенностей [1-3].

Бывали случаи, когда индивидуальность одной эпохи пересекалась с другой, вступая во взаимодействие, что в конечном счете приводило к появлению

FORMATION OF ARTISTIC EXPRESSIVENESS OF MODERN ARCHITECTURAL SPACE

Starikova Anastasiya

student, Moscow State Academic Art Institute named after V.I. Surikov, Moscow, Russian Federation;
nastasya.starikova.00@mail.ru

Orlov Evgeniy

Ph.D., Associate Professor, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation;
viv-k@yandex.ru

Govorov Vadim

Engineer LLC STC FONSVIT, Moscow, Russian Federation;
vzh.mo@yandex.ru

Abstract. The article discusses the features of creating artistic expressiveness of architectural space in our days. Recommendations are given, thanks to which a harmonious living environment for each person will be created. Information is given about high-rise buildings and their influence on the formation of modern architectural space. The features of the impact on the architectural environment of natural objects are considered. It is proved that thanks to them, the artistic expressiveness of the formed space is significantly improved. The features of bioclimatic architecture and the difficulties that arise during its implementation are shown

Keywords: architectural space, artistic expressiveness, high-rise buildings, city, nature, architecture, urban planning, evolution, shaping



Рис. 1. Современные высотные здания (фото Стариковой А.С.)

интересных решений, иногда довольно спорных, но живо обсуждаемых и сегодня.

В некоторых случаях наступал определенный “кризис красоты”, когда в зависимости от каких-либо внешних или внутренних воздействий уровень художественной выразительности сильно снижался. Однако неожиданно появляющиеся веяния могли задавать новый и особенный вектор развития. В дальнейшем это провоцировало появление нестандартных решений, некоторые из которых впоследствии были приняты и одобрены, плавно влившись в общую концепцию художественной выразительности архитектурной среды.

Несомненно, что чувственное восприятие окружающего пространства и возможность моделировать дальнейшее развитие архитектурной среды позволит создавать определенные решения, которые и впоследствии будут привлекательны на многие годы вперед [4-6].

Сегодня архитектурное пространство продолжает развиваться, показывая людям свою красоту, изящество, смелость форм, яркость красок, формируя определенную концепцию единой среды обитания, в которой должен проводить все свое время современный человек.

Появление многоэтажных, а затем и высотных зданий внесло особый вклад в формирование художественной выразительности архитектурного пространства. Смелое решение, которое было необхо-

димо для развивающихся городов, привело к новому пониманию окружающей среды. Стали появляться новые формы, которые смотрелись интересно, живо, но порой пугали своим гигантизмом, закрывая солнце, стремясь высоко вверх, доходя до небосвода (рис. 1). Увеличение этажности высотных зданий и сегодня вызывает много вопросов, однако здания все равно “ползут” вверх, формируя композицию города-будущего, очень похожего внешне на вариант, созданный известным немецким кинорежиссером Фрицом Лангом (1890-1976 гг.), ярким представителем немецкого экспрессионизма, в художественном фильме “Метрополис” (1927 год) (рис. 2). Идеи, заложенные в этой картине, стали затем братья за основу и внедряться в реальную жизнь.

Гигантизм, мощь, красота, восхищение – вот что рождает внутри человека образ высотного строительства. Однако появляется страх и непонимание, что будет в будущем, когда вся планета окажется во власти огромных зданий из бетона. Возможно, что уже сейчас стоит начать говорить и о понятии “урбанизированная планета”. Быстрый темп увеличения количества высотных зданий во всех городах может привести к полному замещению природной среды на искусственную, в которой человек может полностью раствориться, как биологический вид. По этой причине здравый смысл и развитие научных школ прогнозирования в области строительства и архитек-



Рис. 2. Архитектурное пространство города из художественного фильма “Метрополис” (1927 г.) режиссера Фрица Ланга (источник фото: <https://avatars.mds.yandex.net/get-kinopoisk-image/1773646/b191cb11-d0d4-4a3c-85bb-72b585f0655e/orig>)



Рис. 3. Малоэтажные и высотные здания в микрорайоне (фото Стариковой А.С.)

туры способны смоделировать опасную ситуацию, что позволит выбрать верный вектор развития.

После появления высотного строительства сложные формы зданий плавно стали исчезать. Сегодня, как и некоторое время назад, мы продолжаем наблюдать при формировании художественной выразительности архитектурной среды всё такие же “прямоугольники” или “квадраты”, плавно растущие вверх. Иногда можно увидеть здания цилиндрической формы, напоминающие гигантские сторожевые башни эпохи Средневековья. Большое количество однообразных форм утомляет взгляд людям. Это приводит к возникновению грусти, апатии, быстрой утомляемости и других не всегда желанных ощущений внутри души. Однако, появление небольших балконов и лоджий, а также гармонично вписывающихся в фасады эркеров “освежает” стандартные решения, которые становятся более интересными и привлекательными для взора людей.

Когда возникает идея сделать высоту некоторых секций зданий разной, в том числе вписав в единую архитектурную композицию всего проектируемого объекта строения различной этажности, то это благоприятно сказывается на общей художественной выразительности. Она становится интересной и необычной для человека. Небольшая этажность гармонично соседствует с многоэтажными зданиями, притягивая полюбоваться таким решением и тех, кто любит жить высоко, и других, любящих красоту малоэтажного домостроения (рис. 3).

Выбор цветов фасадов зданий, а также особенность оформления внутреннего пространства объекта позволяет сформировать гармонию, плавно вызывая спокойствие в душе проживающих людей, одновременно формируя восхищение созданным произведением архитектурного пространства [7-8]. Применение в одном здании одновременно различных видов облицовки фасада повышает художественную выразительность всего объекта, делая его запоминающимся и притягательным для взора как самих жителей, так и гостей, приехавших посмотреть на возведенное строение (рис. 4).

Однако, все вышеперечисленное не может в полной мере сформировать в комплексе всю красоту и притягательность архитектурной среды. Не стоит забывать и о правильном подходе в проектировании малых архитектурных форм, которые также способны значительно усилить эмоциональную составляющую при создании объекта (рис. 5).

Гармония архитектурной среды с природой является сегодня главным фактором, по которому долж-



Рис. 4. Различные виды облицовки фасадов (фото Стариковой А.С.)

на развиваться архитектура и градостроительство. Такое решение продиктовано прежде всего тем, что человек всегда был и остается существом биологическим, которого все равно тянет на природу. Шорох листвы и шум ветра, звук протекающей воды, поющие птицы, спрятавшиеся на деревьях — вот, что остается привлекательным для каждого человека в независимости от места его рождения и проживания.

Положительным моментом при формировании художественной выразительности архитектурной среды будет являться создание многочисленных парков и скверов, проходящих через все пространство территории микрорайонов (рис. 6). Считается, что много зеленых насаждений позволяет людям психологически спокойнее существовать в “бетонных джунглях” современных мегаполисов. По этой причине следует использовать многочисленные виды кустарников и деревьев, способных также создавать в жаркий день небольшой оазис, задерживая на листьях пыль, идущую от автомобильного транспорта. Немаловажным становится формирование небольших



Рис. 5. Малые архитектурные формы (фото Стариковой А.С.)



Рис. 6. Небольшой сквер на территории жилого комплекса (фото Стариковой А.С.)

искусственных водных объектов, которые способны привлекательно вписываться и гармонично существовать на урбанизированной территории, являясь объектом проживания различных биологических видов — рыб и птиц. Отдых рядом с водой всегда притягивал человека, позволяя насладиться спокойствием и гармонией с окружающей природной средой.

Несомненно, что идеи, заложенные биоклиматической архитектурой, при условии их повсеместного внедрения и развития, позволяют значительно сблизить урбанизированное пространство с природной

средой, улучшая художественную выразительность [9-10]. Однако такие решения не всегда могут быть осуществимы из-за своей дороговизны и по причине сложных природных условий некоторых географических зон на территории нашей планеты.

Эпоха сменяет эпоху, приходят новые веяния, но формирование художественной выразительности архитектурной среды остается главной задачей, которая обязательно должна выполняться на высоком уровне, создавая притягательную среду обитания для всех без исключения людей.

Список литературы

Список литературы

1. Kistova A.V., Tamarovskaya A.N. Architectural space as a factor of regional cultural identity // Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences. 2015. Vol. 8. No 4. pp. 735-749.
2. Бирюкова Е.Е. Облик архитектурного пространства в контексте выразительного бытия архитектурного пространства // Историческая и социально-образовательная мысль. 2015. Т. 7. № 6-2. С. 156-158.
3. Nurdubayeva A.R., Kobzhanova S.Zh., Valeeva-Suleymanova G.F. Architectural practice of shaping urban spaces through the prism of traditional ideas of the turks (Nursultan, Kazakhstan) // Keruen. 2022. Vol. 74. No 1. pp. 265-283.
4. Иовлев В.И. Гуманитарно-экологический подход к архитектурному пространству // Архитектон: известия вузов. 2006. № 2 (14). С. 7.
5. Лапшина Е.Г. Динамика системы зрительного восприятия человеком архитектурного пространства // Архитектура и современные информационные технологии. 2011. № 3 (16). С. 1.
6. Корвякова С.М. Типология малых архитектурных форм (маф) и их классификация, учитывающая предназначение в пространстве и функциональные особенности // Наука России: Цели и задачи. Сборник научных трудов по материалам XVI международной научной конференции. 2019. С. 94-98.
7. Интяпина А.А. Интерактивный дизайн как метод взаимодействия архитектурной среды с пространством нового типа города // Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. 2017. № 4. С. 181-185.
8. Берестовская Д.С., Петренко А.П. Архитектурное пространство города: семиотический подход // Урбанистика. 2017. № 1. С. 24-34.
9. Марков Д.И. История, принципы и перспективы развития биоклиматической энергоэффективной архитектуры // Архитектура и современные информационные технологии. 2012. № 1 (18). С. 16.
10. Юн С.А. Понятие биоклиматической архитектуры // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. № 12-4 (80). С. 29-36.

References

1. Kistova A.V., Tamarovskaya A.N. Architectural space as a factor of regional cultural identity // Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences. 2015. Vol. 8. No 4. pp. 735-749.
2. Biryukova E.E. The appearance of architectural space in the context of the expressive existence of architectural space // Historical and socio-educational thought. 2015. Vol. 7. No. 6-2. pp. 156-158.
3. Nurdubayeva A.R., Kobzhanova S.Zh., Valeeva-Suleymanova G.F. Architectural practice of shaping urban spaces through the prism of traditional ideas of the turks (Nursultan, Kazakhstan) // Keruen. 2022. Vol. 74. No 1. pp. 265-283.
4. Iovlev V.I. Humanitarian-ecological approach to architectural space // Architecton: News of universities. 2006. No. 2 (14). p. 7.
5. Lapshina E.G. Dynamics of the human visual perception system of architectural space // Architecture and modern information technologies. 2011. No. 3 (16). p. 1.
6. Korvyakova S.M. Typology of small architectural forms (maf) and their classification, taking into account the purpose in space and functional features // Science of Russia: Goals and objectives. Collection of scientific papers based on the materials of the XVI International Scientific Conference. 2019. pp. 94-98.
7. Intyapina A.A. Interactive design as a method of interaction of the architectural environment with the space of a new type of city // Bulletin of Young Scientists of the St. Petersburg State University of Technology and Design. 2017. No. 4. pp. 181-185.
8. Berestovskaya D.S., Petrenko A.P. Architectural space of the city: semiotic approach // Urbanistics. 2017. No. 1. pp. 24-34.
9. Markov D.I. History, principles and prospects of development of bioclimatic energy-efficient architecture // Architecture and modern information technologies. 2012. No. 1 (18). p. 16.
10. Yun S.A. The concept of bioclimatic architecture // Actual scientific research in the modern world. 2021. No. 12-4 (80). pp. 29-36.