



ISSN 0044-4472

11'2023

ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

научно-технический и производственный журнал

www.rifsm.ru

www.journal-hc.ru

издается с 1958 г.

«Информационные системы, технологии
и автоматизация в строительстве»

конференция, посвященная памяти доктора технических наук, профессора Гинзбурга Александра Витальевича



**ИнтерСтрой
Экспо**

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
строительных, отделочных материалов
и инженерного оборудования

16 | 17 | 18 АПРЕЛЯ 2024

Санкт-Петербург, КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»



Организатор — компания МВК
Офис в Санкт-Петербурге

МВК Международная
Выставочная
Компания

+7 (812) 401 69 55, interstroyexpo@mvk.ru

Забронируйте стенд:
interstroyexpo.com

12+



**КОНГРЕСС
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ IBC**



АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННАЯ ПОДСВЕТКА

Полный цикл работ по архитектурному световому дизайну,
проектированию, изготовлению и монтажу архитектурного
освещения ваших объектов:

- Коммерческая недвижимость
- Парковые зоны
- Складские комплексы
- Частные жилые дома
- Торговые центры

При разработке проектов архитектурной подсветки мы учтем технические параметры используемых материалов, назначение здания, местоположение объекта, освещенность рядом стоящих зданий и внешнее освещение. Подберем решение под ваш бюджет.

Подробнее об услуге



РОССЕТИ
МОСКОВСКИЙ РЕГИОН

Москва, ул. Вавилова, д. 7Б
uslugi@rossetimr.ru
8 800 220 0 220

**ВЫГОДНО ПОДСВЕТИМ
ВАШИ ОБЪЕКТЫ!**

Учредитель журнала: АО «ЦНИИЭП жилища»
 Адрес: Россия, 127434, Москва,
 Дмитровское ш., д. 9, стр. 3
 Издатель: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»
 Адрес: 125319, г. Москва, ул. Черняховского,
 д. 9, корп. 1, кв. 1
 Входит в Перечень ВАК,
 государственный проект РИНЦ и RSCI
 Журнал зарегистрирован Министерством РФ
 по делам печати, телерадиовещания
 и средств массовой информации № ФС77-64906

ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Издается с 1958 г.

11'2023

Главный редактор

ЮМАШЕВА Е.И.,
 инженер-химик-технолог,
 почетный строитель России

Редакционный совет:

НИКОЛАЕВ С.В.,
 председатель, д-р техн. наук,
 АО «ЦНИИЭП жилища» (Москва)
 АЗАРОВ В.Н.,
 д-р техн. наук (Волгоград)
 АКИМОВ П.А.,
 д-р техн. наук, академик РААСН (Москва)
 АЛЕКСЕЕВ Ю.В.,
 д-р архитектуры, профессор (Москва)
 БОДРОВ М.В.,
 д-р техн. наук (Нижний Новгород)
 ВАВРЕНЮК С.В.,
 д-р техн. наук, член-корреспондент
 РААСН (Владивосток)
 ВОЛКОВ А.А.,
 д-р техн. наук, член-корреспондент
 РААСН (Москва)
 ГАГАРИН В.Г.,
 д-р техн. наук, член-корреспондент
 РААСН (Москва)
 ЖУСУПБЕКОВ А.Ж.,
 д-р техн. наук (Астана, Казахстан)
 ЗВЕЗДОВ А.И.,
 д-р техн. наук, президент Ассоциации
 «Железобетон» (Москва)
 ИЛЬИЧЕВ В.А.,
 д-р техн. наук, академик РААСН (Москва)
 КОЛЧУНОВ В.И.,
 д-р техн. наук, академик РААСН (Москва)
 ЛАПИДУС А.А.,
 д-р техн. наук, профессор (Москва)
 МАНГУШЕВ Р.А.,
 д-р техн. наук, член-корреспондент
 РААСН (Санкт-Петербург)
 ОРЕЛЬСКАЯ О.В.,
 д-р архитектуры, член-корреспондент
 РААСН, профессор (Нижний Новгород)
 ОСИПОВА Н.Н.,
 д-р техн. наук (Саратов)
 СКОЛУБОВИЧ Ю.Л.,
 д-р техн. наук, член-корреспондент
 РААСН (Новосибирск)
 СУББОТИН О.С.,
 д-р архитектуры (Краснодар)
 ТАБУНЩИКОВ Ю.А.,
 д-р техн. наук, член-корреспондент
 РААСН, профессор (Москва)
 ТЕР-МАРТИРОСЯН А.З.,
 д-р техн. наук (Москва)
 ТИХОНОВ И.Н.,
 д-р техн. наук (Москва)
 ФЕДОСОВ С.В.,
 д-р техн. наук, профессор,
 академик РААСН (Москва)

Авторы

опубликованных материалов несут
 ответственность за достоверность
 приведенных сведений, точность данных
 по цитируемой литературе
 и за использование в статьях данных,
 не подлежащих открытой публикации.

Редакция

может опубликовать статью
 в порядке обсуждения,
 не разделяя точку зрения автора.

Перепечатка

и воспроизведение статей, рекламных
 и иллюстративных материалов возможны
 лишь с письменного разрешения главного
 редактора.

**Редакция не несет ответственности
 за содержание рекламы и объявлений.**

Аддитивные технологии

- А.П. ПУСТОВГАР, Л.А. АДАМЦЕВИЧ, А.О. АДАМЦЕВИЧ
 Международный опыт исследований в области аддитивного строительного производства 4
 XVII Московский форум лидеров рынка недвижимости (MREF-2023) в Москве (Информация) . . 11
 Е.В. МАЛЬЦЕВА, А.В. ДМИТРИЕВ
 Концепция развития аддитивных технологий в индивидуальном жилом строительстве 12
 Л.А. АДАМЦЕВИЧ, Е.А. ГИНЗБУРГ, Л.А. ШИЛОВ
 Строительство 4.0 18

Расчет конструкций

- А.Р. ТУСНИН, М.П. БЕРГЕР, Т.В. ГАЛСТЯН
 Совместная работа большепролетных ферм и прогонов
 при расчете на прогрессирующее обрушение 24
 Т.А. МАЦЕЕВИЧ, Л.В. КИРЬЯНОВА, В.А. СМИРНОВ, П.С. ИВАНОВ
 Оптимизация параметров вязкоупругой модели элементов конструкций
 из композитных материалов на основе экспериментальных данных 32
 А.З. ТЕР-МАРТИРОСЯН, В.В. СИДОРОВ, А.С. АЛМАКАЕВА
 Графоаналитический метод расчета осадки сваи в многослойном массиве
 с учетом отрыва и проскальзывания сваи по грунту 37

Организация строительного производства

- М.Ю. ПАРАМОНОВ, Ю.Г. ЖЕГЛОВА
 Моделирование организационно-технологических процессов
 на этапе эксплуатации объекта капитального строительства 44
 А.О. РЫБАКОВА, Д.А. ПЕТРОВ
 Анализ автоматизации системы управления доступом на строительной площадке 49

Защита зданий от внешних воздействий

- П.Ю. ВОРОБЬЕВ
 Линейная фильтрация шума в облаке точек, полученном фотограмметрическими методами 54
 С.И. ЕВТУШЕНКО, М.Г. ФЕТТЕР, М.А. КУЧУМОВ
 Новый датчик на основе электрохимического преобразователя 61
 И.А. ЧЕРНЫЙ, А.И. КАРАКОЗОВА
 Применение активной аэродинамики для избежания резонансного
 вихревого возбуждения дымовых труб 65

Экологическое строительство

- А.С. ПАВЛЮК, О.Л. ШИРОКОВА
 Архитектурные подходы к формированию жилища
 для психологического комфорта преподавателей высшей школы 70
 Е.А. СЕРОВА
 Инструменты выбора экологически эффективных материалов для строительного проекта 74
 Ж.Г. МОГИЛЮК
 Метрологические проблемы лазерного мониторинга нанопылевого загрязнения среды
 жизнедеятельности в мегаполисах 78

Сохранение архитектурного наследия

- О.С. СУББОТИН, Д.О. ГУЛЯН
 Архитектурная культура армянского народа в г. Армавире Краснодарского края 84
 А.В. ВАСИЛЬЕВА
 Принципы планировочной организации кварталов и типология жилищного строительства
 на окраинных территориях Москвы в 1930-х годах 91

Founder of the journal: AO «TSNIEP zhilishcha»
Address: 9/3 Dmitrovskoye Highway, 127434,
Moscow, Russian Federation

Publisher: «STROYMATERIALY»
Advertising-Publishing Firm, OOO
Address: 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,
Moscow, 125319, Russian Federation

The journal is registered by the RF Ministry
of Press, Broadcasting and Mass
Communications, № FS77-64906

Editor-in-chief

YUMASHEVA E.,
chemical process engineer,
Honorary Builder of Russia

Editorial Board:

NIKOLAEV S.,
Chairman,
Doctor of Sciences (Engineering),
AO «TSNIEP zhilishcha» (Moscow)

AKIMOV P.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Academician of RAACS (Moscow)

ALEKSEEV Yu.,
Doctor of Architecture, Professor (Moscow)

AZAROV V.,
Doctor of Sciences (Engineering),
(Volgograd)

BODROV M.V.,
Doctor of Sciences (Engineering)
(Nizhny Novgorod)

FEDOSOV S.,
Doctor of Science (Engineering), Professor,
Academician of RAACS (Moscow)

GAGARIN V.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Corresponding member of RAACS
(Moscow)

IL'ICHEV V.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Academician of RAACS, Research
Supervisor of the Academic Scientific
and Creative Center of RAACS (Moscow)

KOLCHUNOV V.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Academician of RAACS (Moscow)

LAPIDUS A.A.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (Moscow)

MANGUSHEV R.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Corresponding member of RAACS
(Saint-Petersburg)

ORELSKAYA O.,
Doctor of Architecture, Corresponding
member of RAACS, Professor
(Nizhny Novgorod)

OSIPOVA N.N.,
Doctor of Sciences (Engineering) (Saratov)

SKOLUBOVICH Yu.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Corresponding member of RAACS
(Novosibirsk)

SUBBOTIN O.,
Doctor of Architecture (Krasnodar)

TABUNSHIKOV Yu.A.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Corresponding member of RAACS,
Professor (Moscow)

TER-MARTIROSYAN A.,
Doctor of Sciences (Engineering) (Moscow)

TIKHONOV I.,
Doctor of Sciences (Engineering) (Moscow)

VAVRENJUK S.,
Doctor of sciences (Engineering),
Corresponding member of RAACS
(Vladivostok)

VOLKOV A.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Corresponding member of RAACS (Moscow)

ZHUSUPBEKOV A.,
Doctor of Sciences (Engineering)
(Astana, Kazakhstan)

ZVEZDOV A.,
Doctor of Sciences (Engineering), President,
Association «Zhelezobeton» (Moscow)

The authors

of published materials are responsible for the accu-
racy of the submitted information, the accuracy of
the data from the cited literature and for using in
articles data which are not open to the public.

The Editorial Staff

can publish the articles as a matter for discussion,
not sharing the point of view of the author.

Reprinting

and reproduction of articles, promotional and illus-
trative materials are possible only with the written
permission of the editor-in-chief.

The Editorial Staff is not responsible for the
content of advertisements and announcements.

ZHILISHCHNOE STROITEL'STVO

Published since 1958

11'2023

Additive technologies

- A.P. PUSTOVGAR, L.A. ADAMTSEVICH, A.O. ADAMTSEVICH
International Research Experience in the Field of Additive Construction Manufacturing 4
- XVII Moscow Forum of Real Estate Market Leaders (MREF-2023) in Moscow (*Information*) 11
- E.V. MALTSEVA, A.V. DMITRIEV
The Concept of Development of Additive Technologies in Individual Housing Construction 12
- L.A. ADAMTSEVICH, E.A. GINZBURG, L.A. SHILOV
Construction 4.0 18

Structural calculations

- A.R. TUSNIN, M.P. BERGER, T.V. GALSTYAN
Joint Operation of Large-Span Trusses and Purlins in the Calculation of Progressive Collapse 24
- T.A. MATSEEVICH, L.V. KIRYANOVA, V.A. SMIRNOV, P.S. IVANOV
Optimization of Parameters of a Viscoelastic Model of Elements
of Structures Made from Composite Materials Based on Experimental Data 32
- A.Z. TER-MARTIROSYAN, V.V. SIDOROV, A.S. ALMAKAEVA
Graphic-Analytical Method for Calculating the Settlement of a Pile in a Multilayer Array,
Taking into Account the Detachment and Slipping of the Pile Along the Ground 37

Organization of construction works

- M.Yu. PARAMONOV, Yu.G. ZHEGLOVA
Modeling of Organizational and Technological Processes at the Stage
of Operation of a Capital Construction Facility 44
- A.O. RYBAKOVA, P.A. PETROV
Analysis of Automation of the Access Control System at the Construction Site 49

Protection of buildings against external impacts

- P.Yu. VOROBIEV
Linear Noise Filtering in a Point Cloud Obtained by Photogrammetric Methods 54
- S.I. EVTUSHENKO, M.G. FETTER, M.A. KUCHUMOV
A New Sensor Based on an Electrochemical Converter 61
- I.A. CHERNYI, A.I. KARAKOZOVA
Application of Active Aerodynamics to Avoid Resonant Vortex-Induced Vibrations of Chimneys 65

Ecological construction

- A.S. PAVLYUK, O.L. SHIROKOVA
Architectural Approaches to the Formation of Housing for the Psychological Comfort
of Higher Education Teachers 70
- E.A. SEROVA
Tools for Selecting Environmentally Efficient Materials for a Construction Project 74
- Zh.G. MOGILYUK
Metrological Problems of Laser Monitoring of Nano-Dust Pollution
of the Living Environment in Megacities 78

Preservation of architectural heritage

- O.S. SUBBOTIN, D.O. GULYAN
The Architectural Culture of the Armenian People in the City of Armavir, Krasnodar Krai 84
- A.V. VASILIEVA
Principles of Planning Organization of Neighborhoods and Typology
of Housing Construction in the Outlying Areas of Moscow in the 1930s 91

Editorial address: 9/3, Dmitrovskoye Hwy, 127434, Moscow, Russian Federation

Tel.: (499) 390-87-17

Email: mail@rifsm.ru

http://www.journal-hc.ru

http://www.rifsm.ru

Конференция, посвященная памяти доктора технических наук, профессора **Александра Витальевича Гинзбурга** (6 марта 1964 – 23 августа 2022).

Свой профессиональный путь Александр Витальевич начал в 1981 г., поступив в Московский инженерно-строительный институт (МИСИ им. В.В. Куйбышева), который в 1986 г. окончил с отличием по специальности «Автоматизированные системы управления».

В январе 1992 г. защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Управление в социальных и экономических системах», а в 1999 г. стал доктором технических наук по специальности «САПР (строительство)». В 1995 г. получил звание доцента, в 2004 г. – звание профессора.

С 1986 по 2008 г. работал в Центральном научно-исследовательском и проектно-экспериментальном институте организации, механизации и технической помощи строительству (ЦНИИОМТП Госстроя СССР); проектно-конструкторском и технологическом институте промышленного строительства, НТЦ «Гектор», департаменте дорожно-мостового и инженерного строительства города Москвы. За заслуги в строительной отрасли и образовании был отмечен рядом правительственных наград и медалей.

С 2009 г. местом основной работы для Александра Витальевича стал Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), объединяющий целый ряд институтов. С 2009 по 2015 г. занимался вопросами дополнительного профессионального образования (ДПО). В Институте ДПО – ИДПО, работая вначале заместителем директора, а затем директором института, обеспечивал все дополнительное коммерческое обучение в МГСУ, от отдельных семинаров и курсов повышения квалификации до прохождения профессиональной переподготовки или получения квалификации МВА.

В 2015 г. был назначен заведующим кафедрой информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве (ИСТАС). На этой кафедре, которая в то время носила название «Системы автоматизации проектирования в строительстве» – «САПР в строительстве», Александр Витальевич начал преподавать еще в 1990 г. как совместитель и прошел путь от преподавателя до профессора.

В 2014 г. был награжден почетной медалью МГСУ «За вклад в дело становления и развития строительного образования и науки» I степени, а также приказом Минобрнауки России ему было присвоено звание «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации».

В 2016 г. Александр Витальевич был награжден Почетным знаком «Строительная слава» – высшей общественной наградой работников строительного комплекса Российской Федерации, учрежденной Российским Союзом строителей (РСС), а также медалью Национального объединения строителей (НОСТРОЙ) «За заслуги».

В 2016 и 2020 гг. был награжден дипломами Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) за победу в конкурсе на лучшие научные и творческие работы в области архитектуры, градостроительства и строительных наук.

В 2018 г. Александр Витальевич стал лауреатом премии Правительства Российской Федерации в области образования.

Александр Витальевич Гинзбург вел большую практическую работу по кадровому обеспечению строительной отрасли высококвалифицированными специалистами, способствовал активному взаимодействию предприятий строительной отрасли и образовательных отраслевых учреждений и навсегда запомнится нам как жизнерадостный общительный человек, готовый поддержать в любую трудную минуту.



УДК 624

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-4-10>

А.П. ПУСТОВГАР^{1,2}, канд. техн. наук (PustovgarAP@mgsu.ru);
Л.А. АДАМЦЕВИЧ¹, канд. техн. наук (AdamtsevichLA@mgsu.ru),
А.О. АДАМЦЕВИЧ¹, канд. техн. наук (AdamtsevichAO@mgsu.ru)

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

² Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (101000, Москва, Малый Харитоньевский пер., 4)

Международный опыт исследований в области аддитивного строительного производства

Проведен анализ отечественных и зарубежных исследований с целью выявления перспективных направлений дальнейших исследований в области развития аддитивных технологий в строительстве. Основой для исследования стали данные национальной библиографической базы данных (БД) научного цитирования – РИНЦ, а также международной базы данных Scopus за период с 2015 по 2023 г. Публикации до 2015 г. характеризуются как одиночные декларативные и не содержат прикладных разработок. Поиск ключевых слов, используемых в выборках, производился в названиях публикаций, аннотациях, ключевых словах в статьях журналов, книгах, материалах конференций, диссертациях, отчетах, депонированных рукописях, патентах и грантах. Анализ зарубежных публикаций показал, что основные отличия технологии строительной 3D-печати связаны с материалом, используемым в качестве «чернил» для 3D-принтера и самой конструкции экструдера, с помощью которого этот материал наносится на подложку. Публикации можно разделить на изучение характеристик смеси, используемой при 3D-печати; исследование технологий и оборудования; оценку устойчивости строительства при внедрении аддитивного строительного производства. Аддитивные технологии предоставляют возможность создания уникальных, сложных и индивидуализированных архитектурных решений, которые невозможно было бы реализовать традиционными методами строительства. Малоизученными остаются долговечность конструкций и изделий, полученных с использованием аддитивной технологии; надежность и безопасность конструкций, возведенных методом послойной экструзии под воздействием динамических, в том числе сейсмических, нагрузок; водонепроницаемость и воздухопроницаемость конструкций, возведенных с применением технологии аддитивного строительного производства и пр.

Ключевые слова: строительная 3D-печать, аддитивное строительное производство, 3D-печать бетоном, индустрия 4.0.

Для цитирования: Пустовгар А.П., Адамцевич Л.А., Адамцевич А.О. Международный опыт исследований в области аддитивного строительного производства // *Жилищное строительство*. 2023. № 11. С. 4–10.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-4-10>

A.P. PUSTOVGAR^{1,2}, Candidate of Sciences (Engineering) (PustovgarAP@mgsu.ru);
L.A. ADAMTSEVICH¹, Candidate of Sciences (Engineering) (AdamtsevichLA@mgsu.ru),
A.O. ADAMTSEVICH¹, Candidate of Sciences (Engineering) (AdamtsevichAO@mgsu.ru)

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

² Mechanical Engineering Research Institute named after A.A. Blagonravov of the Russian Academy of Sciences (4, M. Kharitonyevskiy Pereulok, 101990 Moscow, Russian Federation)

International Research Experience in the Field of Additive Construction Manufacturing

An analysis of domestic and foreign research was carried out in order to identify promising areas for further research in the field of development of additive technologies in construction. The basis for the study was data from the national bibliographic database (DB) of scientific citation - RSCI, as well as the international database Scopus for the period from 2015 to 2023. Publications before 2015 are characterized as single declarative ones and do not contain applied developments. Key words used in the samples were searched for in publication titles, abstracts, key words in journal articles, books, conference proceedings, dissertations, reports, deposited manuscripts, patents, and grants. An analysis of foreign publications has shown that the main differences in construction 3D printing technology are associated with the material used as "ink" for the 3D printer and the very design of the extruder with which this material is applied to the substrate. Publications can be divided into studies on the characteristics of the mixture used in 3D printing; research of technologies and equipment; assessment of construction sustainability when introducing additive construction production. Additive technologies provide the opportunity to create unique, complex and customized architectural solutions that would not be possible with traditional construction methods. The durability of structures and products produced using additive technology remains poorly understood; reliability and safety of structures erected by layer-by-layer extrusion under the influence of dynamic, including seismic, loads; waterproofness and breathability of structures built using additive construction technology, etc.

Keywords: construction 3D printing, additive construction manufacturing, 3D concrete printing, industry 4.0.

For citation: Pustovgar A.P., Adamtsevich L.A., Adamtsevich A.O. International research experience in the field of additive construction manufacturing. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 11, pp. 4–10. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-4-10>

Историю развития жилищного строительства в России можно условно разделить на несколько этапов. До 1917 г. выделяют *дореволюционный период*. В это время особое внимание уделялось гармоничному сочетанию зданий, застройки выполнялись из дерева или камня с фундаментом высотой не выше 5 м по утвержденному плану. Строительство деревянных домов длилось до трех лет, каменных – до пяти лет.

В *советский период* с 1917 по 1991 г. жилищное строительство было поставлено на поток, и основной акцент делался на возведение жилых домов и квартир для рабочих и служащих. Главным аспектом были экономия и удовлетворение санитарно-гигиенических требований. В этот период появились знаменитые сталинские высотки и хрущевки.

После распада СССР с 1991 г. развивается *постсоветский период*, где на рынке жилищного строительства появились первые частные застройщики и строительные компании.

В настоящее время жилищное строительство развивается довольно активно, что подтверждается статистическими данными (рис. 1); активно внедряются инновационные материалы и технологии.

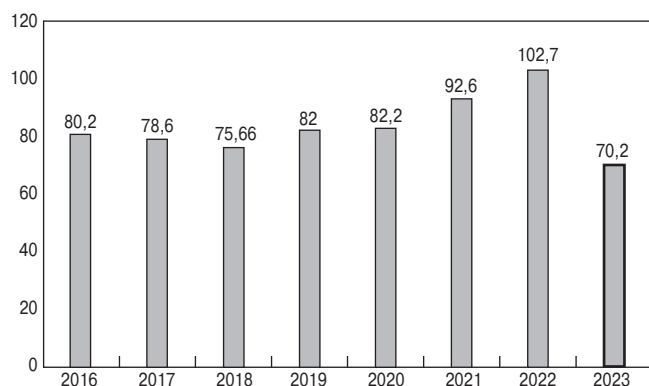


Рис. 1. Динамика объема ввода жилья в Российской Федерации (<https://minstroyrf.gov.ru/trades/zhilishnaya-politika/8/>. Данные приняты по состоянию на 1.09. 2023 г.)

Fig. 1. Dynamics of the volume of housing commissioning in the Russian Federation (<https://minstroyrf.gov.ru/trades/zhilishnaya-politika/8/>. For 2023, data accepted as of September 1, 2023)



Рис. 2. Визуализация проекта кемпинг-отеля в штате Техас, США (<https://www.iconbuild.com/projects/el-cosmico>)

Fig. 2. Visualization of a camping hotel project in Texas (<https://www.iconbuild.com/projects/el-cosmico>)

В строительной отрасли, где до сих пор преобладает тяжелый ручной труд и все сложнее конкуренция за трудовые ресурсы с другими отраслями производства, безальтернативной в рамках перехода мировой экономики к модели Индустрии 4.0 становится задача повышения уровня автоматизации строительных процессов, где решающую роль должно сыграть развитие аддитивных технологий, например, аддитивное строительное производство (строительная 3D-печать) – технология 3D Concrete Printing, или 3DCP в международной терминологии.

Перспективы развития технологии подтверждаются значительным количеством реализованных отечественных и зарубежных проектов по возведению зданий с использованием технологии 3D-печати. И в мировой практике таких примеров много, начиная с единичных домов и заканчивая реализацией серийных проектов кемпинг-отелей (рис. 2), социального жилья, а также быстровозводимого жилья для оказания помощи потерпевшим при стихийных бедствиях.

Данное исследование посвящено изучению и обобщению информации, представленной в публикациях в РИНЦ, а также в базе данных Scopus, с целью выявления тенденций развития и определения перспективных направлений дальнейших исследований в области развития аддитивных технологий в строительстве.

Материалы и методы

На рис. 3 представлена обобщенная схема исследования. Как было ранее указано, публикации собирались в РИНЦ, как одной из самых крупных платформ, содержащих исследования отечественных ученых и ученых стран СНГ, а также в международной БД Scopus.

Для формирования выборок использованы следующие ключевые слова или их комбинации: строительная 3D-печать, аддитивное строительное производство, 3D-печать бетоном – для РИНЦ; 3DCP – для Scopus.

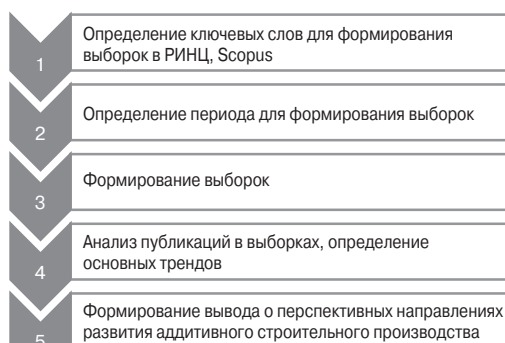


Рис. 3. Схема исследования
Fig. 3. Research scheme

Формирование выборок для проведения исследования
Formation of samples for research

№ выборки	Ключевые слова, использованные в выборке	Количество публикаций за 2015–2023 гг.	Количество публикаций за все время
1	Строительная 3D-печать, 3D-печать бетоном, аддитивное строительное производство	10	10
2	Строительная 3D-печать, аддитивное строительное производство	94	94
3	3D-печать бетоном	114	116
4	Аддитивное строительное производство	160	165
5	Строительная 3D-печать	525	559

Период, за который собирались выборки, был определен с 2015 по 2023 г. в связи с тем, что за более ранний период встречаются одиночные публикации, которые, как правило, носят декларативный характер и не содержат прикладных разработок. Поиск ключевых слов, используемых в выборках, производился в названиях публикаций, аннотациях, ключевых словах в статьях журналов, книгах, материалах конференций, диссертациях, отчетах, депонированных рукописях, патентах и грантах. Выборки для РИНЦ сформированы в соответствии с табл. 1.

Результаты

1.1. Анализ публикаций, представленных в РИНЦ

1.1.1. Анализ публикаций, представленных в выборке № 1

Выборка № 1 рассматривается отдельно, поскольку в ней небольшое количество публикаций, из которых пять – статьи в журналах, диссертация, депонированная рукопись, два патента на изобретение, одна статья в сборнике.

Статьи посвящены анализу мирового опыта в области развития аддитивного строительного производства, но есть публикации, которые содержат прикладные решения в исследуемой области; так, например, в статье [1] представлены результаты на-

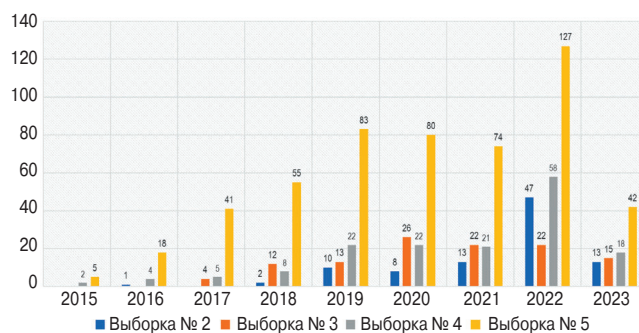


Рис. 4. Динамика изменения количества публикаций по годам (по состоянию на сентябрь 2023 г.)

Fig. 4. Dynamics of changes in the number of publications by year (as of September 2023)

учно-исследовательской и опытно-конструкторской работы, связанные с исследованием эффекта анизотропии отдельных прочностных характеристик бетонных изделий, изготовленных при помощи строительного 3D-принтера методом послойной экструзии; работа [2] посвящена исследованию особенностей применения пластифицирующих добавок на основе эфира поликарбоксилата при 3D-печати бетоном. Диссертация [3] посвящена созданию нового технологического решения в области развития аддитивного строительного производства с использованием составов из мелкозернистых бетонных смесей и активных минеральных и химических добавок. Патенты [4, 5] относятся к изобретениям в области строительства и могут быть использованы при 3D-печати строительных изделий, конструкций, зданий и сооружений, обеспечивая при этом возможность осуществления более продолжительных технологических перерывов.

1.1.2. Анализ публикаций, представленных в выборках № 2–5

Динамика изменения количества публикаций по выборкам 2–5 представлена на рис. 4, откуда видно, что наибольшее количество публикаций входит в выборку № 5, где значительный рост публикаций отмечается в 2022 г. – 127 публикаций. При этом стоит отметить, что выборка № 2 полностью вошла

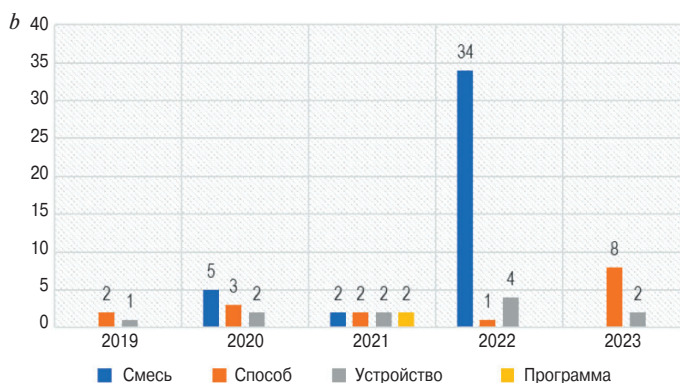
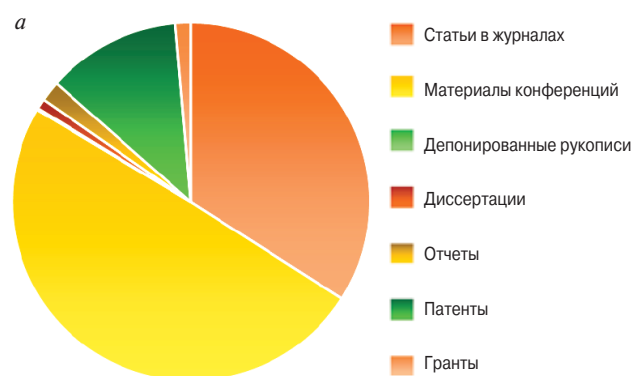


Рис. 5. Распределение публикаций выборки № 5: а – по видам; б – распределение патентов из выборки № 5 по годам и по типам

в выборку № 5; в этой связи отдельно рассматривать ее нецелесообразно, аналогичная ситуация сложилась и с выборкой № 1, которая рассмотрена выше.

1.1.3. Анализ публикаций, представленных в выборке № 3

Выборка сформирована по ключевому словосочетанию «3D-печать бетоном» и включает в себя 114 публикаций, 58 из которых – это статьи в журналах, 49 – материалы конференций, 7 приходится на остальные типы публикаций. При этом наиболее цитируемыми являются обзорные публикации, посвященные анализу технологии 3D-печати в строительстве.

1.1.4. Анализ публикаций, представленных в выборке № 4

Выборка сформирована по ключевому словосочетанию «аддитивное строительное производство» и включает в себя 160 публикаций, 72 из которых – это статьи в журналах, 28 – материалы конференций, 42 – патента, 18 приходится на остальные типы публикаций.

Наиболее цитируемые публикации также являются обзорными, но в данной выборке есть патенты, которые условно можно разделить на три типа: патент на смесь, патент на способ аддитивного строительного производства, патент на устройство (3D-принтер) или его часть. При этом наибольшее количество патентов приходится на 2022 г. – 32, 28 из которых – патенты на смесь.

1.1.5. Анализ публикаций, представленных в выборке № 5

Дальнейшее исследование проводилось на базе выборки № 5, как наиболее полной из представленных. На рис. 5 представлено распределение публикаций из выборки № 5 по типу. Из рисунка видно, что наибольшее количество публикаций также относится либо к публикациям в журналах, либо к материалам конференций. Третье место занимают патенты.

При этом диссертации в основном защищены по специальности 05.23.05 «Строительные материалы и изделия». Распределение патентов из выборки № 5 по годам и по типам представлено на рис. 5, а. Всего в выборке 68 патентов, которые распределены по четырем направлениям: патент на смесь, патент на способ аддитивного строительного производства, патент на устройство (3D-принтер) или его часть, а также свидетельства на программу для ЭВМ.

Из рис. 5, б видно, что наиболее популярным направлением является разработка состава смесей для 3D-печати, вторым по популярности направлением является разработка способов укладки смеси, третьим – разработка конструктивных элементов и 3D-принтеров непосредственно.

Наиболее цитируемые публикации из выборки № 5 также посвящены анализу отечественного и мирового уровней развития аддитивного строительного производства.

1.2. Анализ публикаций, представленных в Scopus

Анализ зарубежных публикаций, посвященных технологии аддитивного строительного производства, показал, что в основном авторами рассматриваются преимущества и недостатки различных материалов и проводится анализ их свойств: прочности, тиксотропии и реологии бетонных смесей, используемых в аддитивном строительстве. Много работ посвящено оборудованию, применяемому при 3D-печати. Можно также выделить еще одно направление – обеспечение принципов устойчивого строительства за счет развития аддитивного строительного производства.

1.2.1. Материалы и их свойства

При возведении зданий и сооружений с применением аддитивных технологий в большинстве случаев используется материал на основе минеральных вяжущих гидратационного твердения и мелких заполнителей, который можно отнести к мелкозернистым бетонным смесям. Наибольшее количество исследований, представленных в БД Scopus, посвящено вопросам изучения особенностей реологии и тиксотропии материала в состоянии готовой к применению подвижной растворной смеси. Данный факт обусловлен нехарактерным для предыдущих этапов технологического развития строительной индустрии способом укладки бетона в процессе послойной экструзии при помощи строительного 3D-принтера.

Значительное число публикаций посвящено проектированию смеси, используемой в 3D-принтере. Например, в [6] оценка пригодности смеси проводилась на основе способности к наращиванию, экструдированности, прочностных характеристик. Установлено, что наилучшие значения показателей могут быть достигнуты при пределе текучести материала в диапазоне от 1,5 до 2,5 кПа.

Механические свойства напечатанной конструкции, армированной стальной фиброй разной длины при разном объемном содержании волокна, исследованы в [7].

В [8] представлены характеристики сверхвысокопрочного фибробетона, предназначенного для 3D-печати.

Много внимания уделяется вопросам изучения реологических свойств и особенностей затвердевания бетона при строительной 3D-печати. В работе [9] исследованы пять различных составов для аддитивного строительного производства в состоянии готовой к применению подвижной смеси, а также в

затвердевшем состоянии. Помимо прочего, в работе исследованы особенности анизотропии физико-механических свойств при сжатии и изгибе, модуль упругости и деформация усадки.

Влияние временного промежутка на взаимодействие печатных слоев рассматривается в [10]. Результаты реологического эксперимента показывают, что предел прочности напечатанного образца коррелирует с модулем сдвига материала нижележащего слоя в процессе наращивания.

Работа [11] посвящена вопросам определения механических характеристик конструктивных элементов, напечатанных на 3D-принтере. Пористость оценивалась с использованием образцов, извлеченных из основного полотна элемента, а также из границ раздела между горизонтальными и вертикальными слоями печатного бетона. Установлено, что пористость в рассматриваемом элементе ниже на 6–8% по сравнению с образцом, отлитым в форме. С другой стороны, пористость на границе раздела горизонтальных и вертикальных слоев оказалась выше на 11–14 и 10–16% соответственно. Таким образом, установлено, что границы слоев имеют более высокую пористость.

Вместе с тем в публикациях, представленных в Scopus, практически не уделяется внимания вопросам надежности и безопасности конструкций, возведенных методом 3D-печати, под воздействием динамических, в том числе сейсмических, нагрузок.

Малоизученными остаются вопросы, связанные с водонепроницаемостью и воздухопроницаемостью конструкций, возведенных с применением технологии аддитивного строительного производства.

1.2.2. Технология и оборудование

Процесс 3D-печати бетоном аналогичен любому процессу 3D-печати и включает в себя разработку проекта в САПР системах, нарезку проекта и определение траектории движения инструмента и непосредственно 3D-печать [12].

В зарубежных публикациях также уделяется внимание проблемам струйного нанесения связующего – Binder Jetting method (BJM) в зарубежной терминологии; данный метод используется для бетонных конструкций сложной архитектуры, содержащих пустоты и нависающие элементы. Также выделяют 3D-напечатанную опалубку и технологию изготовления сетчатых форм, которые действуют как гибриды 3D-печати и техники литья, используемой для изготовления бетонных конструкций.

Внимание уделяется развитию систем позиционирования по трем направлениям: порталные системы, кабельные подвесные системы и роботы-манипуляторы [13]. При этом, как правило, указывается, что используется стандартное оборудование. В этой

связи актуальным направлением исследования может стать разработка универсальных технических комплексов, а также нормирование требований 3D-печати бетоном.

1.2.3. Устойчивое строительство

Под устойчивым принимается строительство, оказывающее минимальное воздействие на окружающую среду, включая использование экологически чистых материалов, энергосберегающих технологий, оптимизацию строительных процессов и уменьшение отходов производства.

В части аддитивного строительного производства рассматривается возможность применения переработанного бетона. Например, в [14] проведена оценка потенциала устойчивости переработанного бетона, используемого в 3D-печатных зданиях. Установлено, что увеличение объемов переработанного заполнителя может привести к снижению не только выбросов загрязняющих веществ по сравнению с традиционным монолитным бетонным строительством, но и себестоимости строительства за счет сокращения объемов использования натурального заполнителя.

Значительные экономические преимущества перед традиционным монолитным строительством у 3D-печати бетоном обоснованы также возможностью отказа от опалубки и сокращением числа рабочей силы, задействованной на строительной площадке.

Авторами [15] отмечается, что наиболее популярными для оценки перспектив внедрения аддитивного строительного производства являются метод LCA – life cycle analysis (анализ жизненного цикла) и метод LCC – life cycle cost (стоимость жизненного цикла).

При этом отмечается, что экономическая эффективность 3D-печати бетоном напрямую зависит от выбора метода и материала, но поскольку в публикациях представлены противоречивые результаты, то возникает необходимость в разработке стандартной методологии измерения экономической эффективности технологии.

С экологической точки зрения как важное выделяется направление по разработке более прочных и экологически чистых вяжущих для замены обычного портландцемента, поскольку цементные вяжущие, используемые при 3D-печати бетоном, являются основной причиной воздействия на окружающую среду. При этом технология 3DPC является более энергоемкой; авторами также предлагается уделить внимание вопросам возможного применения ВИЭ для обеспечения устойчивости строительства.

Тезис о популярности использования метода LCA для оценки применения аддитивного строительного производства подтверждается и в работе [16], где LCA используется для оценки четырех сценариев:

- возведение бетонной конструкции традиционным методом;
- возведение бетонной конструкции методом 3DCP с армированием;
- возведение бетонной конструкции методом 3DCP без армирования;
- возведение бетонной конструкции методом 3DCP без армирования, но с использованием легкого бетонного материала, пригодного для печати.

Установлено, что применение 3DCP значительно уменьшает воздействие на окружающую среду, истощение ископаемого топлива по сравнению с традиционным методом строительства. Однако возведение конструкции методом 3DCP с армированием эти позитивные тенденции снижает. Результаты, полученные в статье, подтверждают преимущества технологии 3DCP и рекомендуют направить фокус исследований на разработку устойчивых бетонных смесей для печати, а также новых методов армирования, которые бы подходили для 3DCP, не снижая ее экологичности.

Выводы

Технология аддитивного строительного производства позволяет автоматизировать производственный процесс в строительной отрасли, связанный с применением наиболее широко используемого во всем мире строительного материала – бетона. Главным достоинством является создание уникальных, сложных и индивидуализированных архитектурных решений, которые невозможно было бы реализовать традиционными методами строительства.

Вместе с тем анализ публикаций, посвященных технологии аддитивного строительного производства, показал, что в основном авторами рассматриваются преимущества и недостатки различных материалов и проводится анализ их свойств.

В отечественной практике внимание уделяется разработке составов смесей, применяемых при 3D-печати бетоном, а в зарубежной практике можно выделить еще одно направление – обеспечение принципов устойчивого строительства за счет активного внедрения технологий аддитивного строительства.

В зарубежных публикациях рассматривают также различные методы 3D-печати бетоном, проводятся исследования в части разработки систем позиционирования. Можно также выделить еще одно направление в зарубежных публикациях – обеспечение принципов устойчивого строительства за счет развития аддитивного строительного производства.

Однако как в России, так и за рубежом малоизученными остаются:

- долговечность конструкций и изделий, полученных с использованием технологии аддитивного строительного производства;

- надежность и безопасность конструкций, возведенных методом послойной экструзии в процессе аддитивного строительного производства под воздействием динамических, в том числе сейсмических, нагрузок;
- водонепроницаемость и воздухопроницаемость конструкций, возведенных с применением технологии аддитивного строительного производства и пр.

Список литературы / References

1. Адамцевич А.О., Пустовгар А.П. Аддитивное строительное производство: исследование эффекта анизотропии прочностных характеристик бетона // *Строительные материалы*. 2022. № 9. С. 18–24. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-806-9-18-24>
1. Adamtsevich A.O., Pustovgar A.P. Additive construction production: study of the effect of anisotropy of the strength characteristics of concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 9, pp. 18–24. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-806-9-18-24>
2. Мухаметрахимов Р.Х. Исследование пластифицирующих добавок на основе эфиров поликарбоксилатов на свойства бетонов, формируемых методом 3D-печати // *Строительные материалы и изделия*. 2022. Т. 5. № 5. С. 42–58.
2. Mukhametrakhimov R.Kh. Study of plasticizing additives based on polycarboxylate esters on the properties of concrete molded by 3D printing. *Stroitel'nye materialy i izdeliya*. 2022. Vol. 5. No. 5, pp. 42–58. (In Russian).
3. Зиганшина Л.В. Мелкозернистые бетоны в технологии аддитивного производства (3D-печати): Дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2022. 282 с.
3. Ziganshina L.V. Fine-grained concrete in additive manufacturing technology (3D printing). Cand. Diss. (Engineering) Kazan. 2022. 282 p. (In Russian).
4. Патент РФ 2794037. С1 *Способ 3D-печати бетоном с длительным технологическим перерывом*. Мухаметрахимов Р.Х., Зиганшина Л.В. Заявл. 01.11.2022. Оpubл. 11.04.2023.
4. Patent RF 2794037 C1. *Sposob 3D-pechati betonom s dlitel'nym tekhnologicheskim pereryvom* [A method for 3D printing concrete with a long technological break]. Mukhametrakhimov R.Kh., Ziganshina L.V. Declared 01.11.2022. Published 11.04.2023. (In Russian).
5. Патент РФ 2795632 С1. *Способ 3D-печати*. Мухаметрахимов Р.Х. Заявл. 01.11.2022. Оpubл. 05.05.2023.
5. Patent RF 2795632 C1. *Sposob 3D-pechati*. [A method for 3D printing]. Mukhametrakhimov R.Kh.

- Declared 01.11.2022. Published 05.05.2023.
(In Russian).
6. Rahul A.V., Meena H., Chani Z. 3D printable concrete: Mixture design and test methods. *Cement and Concrete Composites*. 2019. No. 97, pp. 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.12.014>
 7. Pham L., Tran P., Sanjayan J. Steel fibres reinforced 3D printed concrete: Influence of fibre sizes on mechanical performance. *Construction and Building Materials*. 2020. No. 250. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118785>
 8. Arunothayan A.R., Nematollahi B., Ranade R., Bong S.H., Sanjayan J. Development of 3D-printable ultra-high performance fiber-reinforced concrete for digital construction. *Construction and Building Materials*. 2020. No. 257, 119546. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119546>
 9. Zhang Y., Zhang Y., She W., Yang L., Liu G., Yang Y. Rheological and harden properties of the high-thixotropy 3D printing concrete. *Construction and Building Materials*. 2019. No. 201, pp. 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.061>
 10. Tay Y.W.D., Ting G. H. A., Qian Y., Panda B., He L., Tan M. J. Time gap effect on bond strength of 3D-printed concrete. *Virtual and Physical Prototyping*. 2019. No.14, pp.104-113.
 11. Rahul A.V., Santhanam M., Meena H., Chani Z. Mechanical characterization of 3D printable concrete. *Construction and Building Materials*. 2019. No. 227, 116710. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116710>
 12. Panda B., Mohamed N.A.N., Paul S.C., Singh G.B., Tan M.J., Savija B. The effect of material fresh properties and process parameters on buildability and interlayer adhesion of 3D printed concrete. *Materials*. 2019. No. 12 (13), 2149. <https://doi.org/10.3390/ma12132149>
 13. Labonette N., Ronnquist A., Manum B. Ruther P. Additive construction: state-of-the-art, challenges and opportunities. *Automation in Construction*. 2016. No. 72 (3), pp. 347–366. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.026>
 14. Khan S.A., Koc M., Al-Ghamdi S.G. Sustainability assessment, potentials and challenges of 3D printed concrete structures: A systematic review for built environmental applications. *Journal of Cleaner Production*. 2021. No. 303, 127027. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127027>
 15. Han Y., Yang Z., Ding T., Xiao J. Environmental and economic assessment on 3D printed buildings with recycled concrete. *Journal of Cleaner Production*. 2021. No. 278, 123884. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123884>
 16. Mohammad, M., Masad E., Al-Ghamdi S. 3d concrete printing sustainability: A comparative life cycle assessment of four construction method scenarios. *Buildings*. 2020. 10 (12). 245. <https://doi.org/10.3390/buildings10120245>



21–27 января 2024 г.

IX Всероссийская научно-практическая конференция «Инженерное дело на Дальнем Востоке России»



ДАЛЬНИИС

Дальневосточный
федеральный университет

Тематика конференции:

- Строительные конструкции, здания и сооружения;
- Основания и фундаменты, подземные сооружения;
- Теплоснабжение и вентиляция;
- Водоснабжение и канализация;
- Строительные материалы и изделия;
- Гидротехническое строительство;
- Технология и организация строительства;
- Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей;
- Строительная механика;
- Экологическая безопасность строительства.

Условия участия:

- участие в конференции бесплатно;
- состав экспертов конкурса формируется оргкомитетом мероприятия;
- соответствие тезисов требованиям к оформлению (предоставление текстов докладов до 21.01.2024);
- презентация проекта в формате PowerPoint (*.ppt);
- время доклада – 10 мин.

Вопросы по организации

Федюк Роман Сергеевич, д.т.н., доц., профессор ВУЦ при ДВФУ
+7(950) 281-79-45; roman44@yandex.ru

XVII Московский форум лидеров рынка недвижимости (MREF-2023) в Москве

Организатором форума выступила газета «Ведомости». Традиционно в рамках форума проходит несколько сессий. На сессии «Отрасль недвижимости: курс на равновесие» обсуждались темпы ввода многоквартирного жилья, стоимость заемного финансирования и перспективы дальнейшего развития программы льготной ипотеки. Заместитель министра строительства и ЖКХ РФ Н. Стасишин рассказал, что объем ввода жилья в многоквартирных домах в РФ в 2023 г. впервые в истории превысит 50 млн м². Он также заявил, что Минстрой поднимет вопрос о стоимости 1 м² жилья и принципах ее формирования, и уточнил, что будут рассматриваться такие критерии, как себестоимость строительства, инвестиционная себестоимость, стоимость денег, цена реализации и пр.

Член совета директоров, директор департамента финансовой стабильности Банка России Е. Данилова подчеркнула, что на 1 ноября 2023 г. на рынке недвижимости наблюдается дисбаланс между первичным и вторичным рынками. На 1 октября 2023 г., по ее словам, средний уровень цен в сегменте новостроек был на 42% выше. Разрыв со временем не снижается: если до введения льготных программ он составлял около 10%, то в последнее время вырос сначала на фоне действия госпрограмм, затем маркетинговых предложений банков и застройщиков, когда в цену включалась скидка по ипотечной ставке. В результате сложилась ситуация, когда граждане России покупают квартиры в новостройках по завышенной цене. Е. Данилова озвучила позицию ЦБ: льготные программы хороши в случае стресса на рынке.

На сессии «Автономия для коммерции» участники обсудили, почему девелоперы жилья все чаще строят объекты коммерческой недвижимости, в каком сегменте уделяется особое внимание цифровизации и с какими вызовами сталкиваются игроки на этом рынке. По итогам первых девяти месяцев 2023 г. объем инвестиций в коммерческую недвижимость в России составил 489 млрд р. Около 54% сделок пришлось на соглашения между российскими игроками. При этом доля торговых-развлекательных центров в общем объеме составила 49% (242 млрд р.), офисных и складских комплексов — по 19% (94 и 92 млрд р. соответственно), гостиниц — 4% (20 млрд р.).

Руководитель дирекции коммерческой недвижимости ПИК А. Валявин подчеркнул, что со стартом программы комплексного развития территорий, в рамках которой застройщик должен не только возвести многоквартирные дома, но и развивать нежилую составляющую, найти партнера под возведение нежилых площадей практически невозможно. Соотношение жилой и нежилой частей нередко достигает 60 к 40%. В настоящее время девелоперы должны заниматься возведением офисов, торговых объектов, физкультурно-оздоровительной и досуговой инфраструктуры, складов, производств и пр. Поэтому игрокам рынка жилья необходимо приспособиться к новым реалиям и выводить конкурентоспособные продукты.

В ходе третьей сессии «Влияние технологий на маржинальность девелоперских проектов» участники обсуждали возрождение объемно-модульного домостроения, особенности эксплуатации объектов после их ввода, а также запросы покупателей в разных регионах.

Член правления, вице-президент по инновациям «Группы «Эталон» В. Васенев отметил, что возвращение к объемно-блочному домостроению — это решение отраслевых задач экономики страны в целом. По его словам, меняется бизнес-модель — компания становится не просто «проектировщиком-строителем», а скорее «производителем-сборщиком». Гораздо больше средств при такой бизнес-модели остается именно в экономике России. Кроме того, можно управлять жизненным циклом изделия, модуля и модульного здания, самого производства. Если уже строительные процессы перенесены внутрь определенной производственной площадки, то цифровизация производственных процессов действительно в состоянии привести к революционным прорывам.



УДК 332/822

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-12-17>

Е.В. МАЛЬЦЕВА, младший научный сотрудник лаборатории аддитивных технологий в строительстве (maltsevaev@tyuiu.ru), А.В. ДМИТРИЕВ, канд. техн. наук, младший научный сотрудник лаборатории аддитивных технологий в строительстве

Тюменский индустриальный университет (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38)

Концепция развития аддитивных технологий в индивидуальном жилом строительстве

Статья представляет собой обзор принципов, традиций и истории строительства и архитектуры индивидуального жилого дома, а также технологии 3D строительной печати с разнообразием подходов и целей использования в сфере архитектуры (концептуальное проектирование и практическое применение). Целью исследования и анализа является создание уникального архитектурного решения проекта индивидуального жилого дома для реализации его в Западно-Сибирском регионе, адаптированного под аддитивные технологии с учетом региональных особенностей.

Ключевые слова: аддитивные технологии в строительстве и архитектуре, 3D строительная печать, традиционная архитектура, региональный аспект, концепция, колористика.

Статья подготовлена в рамках реализации государственного задания в сфере науки на выполнение научных проектов, реализуемых коллективами научных лабораторий образовательных организаций высшего образования, подведомственных Минобрнауки России по проекту «Новые материалы и технологии возведения зданий, сооружений и их элементов с применением роботизированных аддитивных систем» (№ FEWN-2023-0004).

Для цитирования: Мальцева Е.В., Дмитриев А.В. Концепция развития аддитивных технологий в индивидуальном жилом строительстве // *Жилищное строительство*. 2023. № 11. С. 12–17.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-12-17>

E.V. MALTSEVA, Junior Researcher at the Laboratory of Additive Technologies in Construction (maltsevaev@tyuiu.ru),
A.V. DMITRIEV, Candidate of Sciences (Engineering), Junior Researcher at the Laboratory of Additive Technologies in Construction
Tyumen Industrial University (38, Volodarskogo Street, Tyumen, 625000, Russian Federation)

The Concept of Development of Additive Technologies in Individual Housing Construction

The article is an overview of the principles, traditions and history of construction and architecture of an individual residential building, as well as 3D construction printing technology with a variety of approaches and purposes for using this technology in the field of architecture (conceptual design and practical application). The purpose of the research and analysis is to create a unique architectural solution for an individual residential building project for its implementation in the West Siberian region, adapted for additive technologies, taking into account regional features.

Keywords: additive technologies in construction and architecture, 3D construction printing, traditional architecture, regional aspect, concept, coloristics.

The article was prepared as part of the implementation of the state task in the field of science for the implementation of scientific projects implemented by the teams of scientific laboratories of educational institutions of higher education subordinate to the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under the project «New materials and technologies for the construction of buildings, structures and their elements using robotic additive systems» (No. FEWN-2023-0004).

For citation: Maltseva E.V., Dmitriev A.V. The concept of development of additive technologies in individual housing construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 11, pp. 12–17. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-12-17>

Развитие современных технологий вносит количественные и качественные изменения в архитектуру. Существуют краткосрочные и долгосрочные перспективы, выгоды от технологий, которые проявляются в архитектуре, градостроительстве и дизайне. Ряд преобразований направлен на решение первоочередных задач: сокращение сроков строительства, увеличение периода эксплуатации конструкций, экономическая целесообразность [1–3]. Некоторые изменения направлены на идеологические, стилевые, эстетические аспекты [1, 2].

Актуальность. В перспективе роботизированное возведение объектов архитектуры методом 3D стро-

ительной печати предполагает более эффективную производственную инфраструктуру, в том числе сокращение затрат энергии, материалов, живого труда и решение задач транспортировки в труднодоступные регионы [4].

Архитектура объектов ИЖС в России, в северных районах страны. Для проектирования индивидуального жилого дома (далее – ИЖД) в условиях Западно-Сибирского региона анализу подлежит срез истории российской архитектуры в целом, региональной архитектуры, архитектуры в условиях Крайнего Севера [5–7], в первую очередь русская изба,

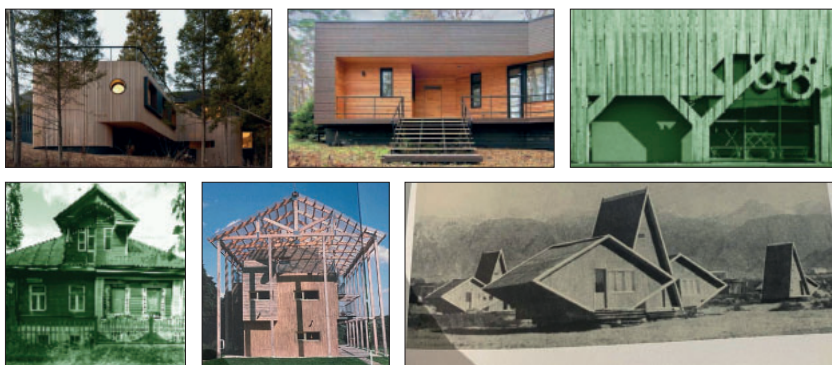


Рис. 1. Коллаж архитектуры индивидуального жилья разных времен
Fig. 1. Collage of analysis of the architecture of individual housing from different times



Рис. 2. Колористические особенности северных народностей России: а – якуты используют краски тайги – зеленый, желтый, красный (<http://www.thepicturegarden.co.nz/#/waterscapes/>); б – чукчи, коряки, ненцы – жители тундры – сочетают два базовых цвета – белый и коричневый (<https://historyplex.com/all-you-need-to-know-about-mesolithic-era>); в – карелы, коми, ненцы, ханты и манси используют, как правило, теплую и контрастную гамму с преобладанием оранжевых, красных, зеленых цветов (<https://color.romanuke.com/tsvetovaya-palitra-2446/>); д – народности азиатской части Севера (долганы и якуты) предпочитают цветовую гамму с преобладанием зеленых и красных тонов (https://pipit.ru/learn/WEB_TASKS42/42/2011_12/tur2/05/33.htm); е – эвенки и эвены используют гамму из голубовато-белых сочетаний с черным (https://www.redd.it.com/r/LateStageCapitalism/comments/fzpgim/amazing_ecological_circlea_artwork_from_the/?rdi=38352); ф – у народностей восточной части азиатского материка преобладает гамма светло-коричневых оттенков (https://artmisto.com/paint/unreal_art/13936-severnyy-narod.html)

Fig. 2. Coloristic features of the northern nationalities of Russia

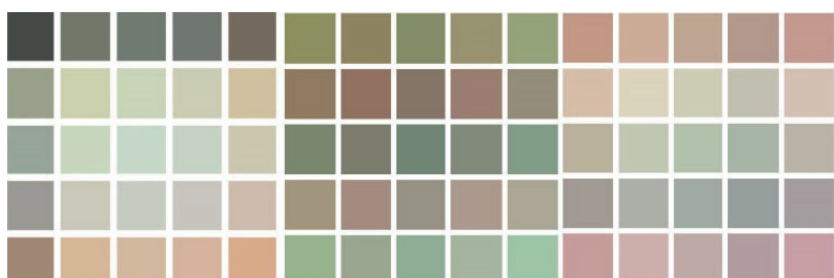


Рис. 3. Коллаж из наборов цветовых палитр (разработан автором)
Fig. 3. Collage of color palette sets (designed by the author)

северные избы и их архитектурная уникальность.

Северные избы отличаются от среднерусских скупостью декора, монументальностью, брутальностью. Север стал источником вдохновения для деревянной архитектуры в неорусском стиле. Современные архитекторы используют опыт прошлого, создавая свои объекты. Существует большое число ИЖД на территории России, многие из которых обладают исторически традиционными характеристиками (рис. 1). Образы многих имеют отсылки к избам, теремкам, дачам, стилистике авангарда и супрематизма, а некоторые представляют собой инженерные сооружения, гармонично взаимодействующие с условиями ландшафта, – дом-мост, дом-катамаран, дом-телескоп, дом-эллипс и не только [6].

Северные избы были огромными по размеру, состоящими из двух объемов, вплотную приставленных друг к другу, с большим количеством украшений на фасаде: башенки, теремные светелки, резные наличники. Главным в строительстве жилища всегда являлось теплосбережение. Структура построек и зданий, а также распределение внутреннего пространства были стабильными и грамотными, включая в себя четкость распределения потоков и функциональное зонирование [6–9].

Одновременно с федеральным и региональным анализом рассмотрены базовые принципы проектирования в Скандинавских странах, сходны по климату и значимых по идеологии и принципам строительства и архитектуры: функциональность (объект сдержанный и лаконичный, лишен всяких излишеств, внешний вид стремится к простоте и минимализму, аккуратности в подборе цвета), применение качественных материалов и деталей.

Отметим особенные характерные принципы проектирования домов Скандинавских стран: в Норвегии – это опора на прототипы в местном народном зодчестве; в Финляндии – на образцы народного эпоса; в Швеции – дворцы и замки династии Ваза [7–10].

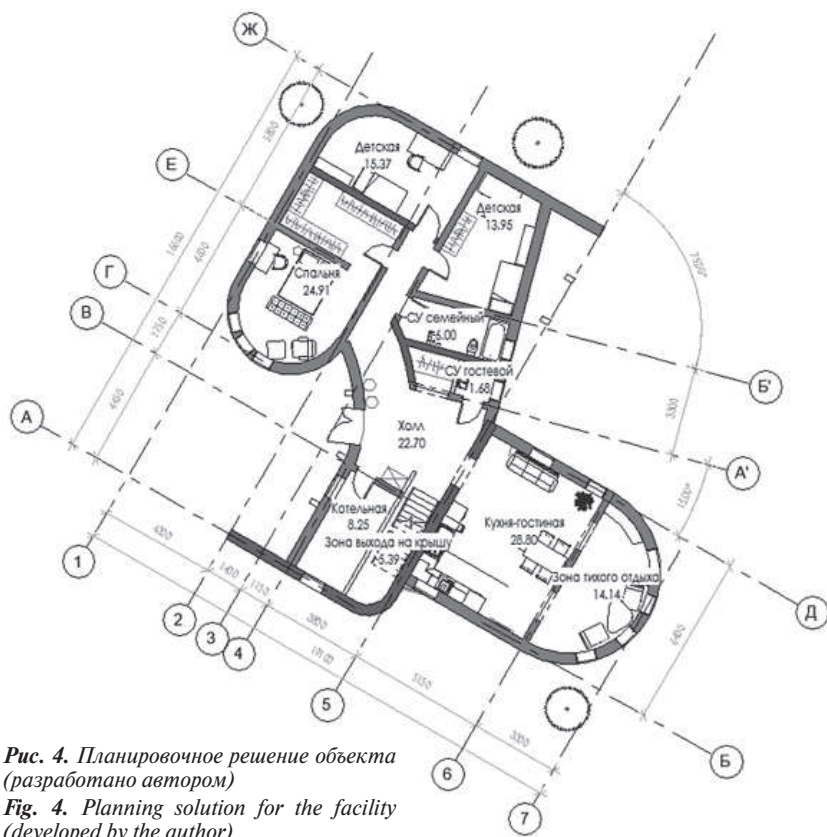


Рис. 4. Планировочное решение объекта (разработано автором)
Fig. 4. Planning solution for the facility (developed by the author)

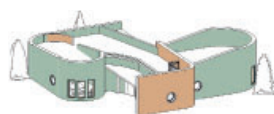


Рис. 5. Объемное решение объекта (разработано автором)
Fig. 5. Volumetric solution of the object (developed by the author)

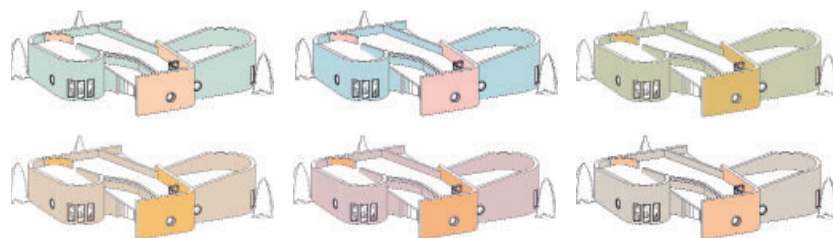


Рис. 6. Варианты цветового решения (разработано автором)
Fig. 6. Options of color solution (developed by the author)

Исторический срез отношения искусства, архитектуры и высоких технологий. Уже в переходный период XIX–XX вв. (развитие авангардных и модернистских тенденций) началась эпоха универсального проектирования, которое характеризуется синтезом традиционных и новаторских методов и подходов. Создание объекта архитектуры на современном этапе характеризует межвидовое взаимодействие: технологии, художественное выражение, правила и нормы, а также введение региональных характеристик в состав идеологии и проявление их в образе. Техницистская идеология проявлялась в брутализме, необрутализме, метаболизме, хай-теке и не только [10–11]. В каждом из стилей в большей или меньшей

степени в качестве художественных выразительных средств были представлены функциональные элементы здания (инженерные коммуникации, транзитные, вертикальные и не только), вынесенные наружу.

Исследователи архитектуры и искусства уверенно смотрят на внедрение технологии в архитектуру. В проектировании объекта технологические возможности, особенности, удобство производства подлежат тщательной проработке. Кроме того, с учетом возможности размещения объекта в отдаленных районах Западно-Сибирского региона рассматривались вопросы колористики зданий.

Роль цвета в проектировании объекта с возможностью реализации его посредством 3D-печати в городах Западной Сибири значительна наряду с общими функциональными, композиционными, техническими решениями, являясь инструментом создания комфортной среды. При выборе цветового решения принимаются во внимание социальные, природно-климатические условия (учет рельефа, ландшафта, температура и влажность воздуха, инсоляция, преобладающие природные объекты – камни, почва, кустарники, цветы, деревья, трава, водные объекты и небо), цвета окружающей застройки, предметы быта, искусства и не только, которые являются устойчивыми признаками местной архитектуры [11].

Особые условия Севера в формировании архитектурно-художественного облика освещались в работах

А. Ефимова, В. Елизарова, М. Вайтенс, В. Беякова, В. Глинкина и др. [11]. Развитие архитектурной колористики городов России приобрело особую актуальность в связи с принятием в 2016 г. федерального проекта «Формирование комфортной городской среды», в котором как направление развития кроме благоустройства, улучшения транспортной инфраструктуры обозначена и необходимость в разработке градостроительной колористики. Это активно проявилось на законодательном уровне в городах Губкинский, Норильск. В Губкинском в 2016 г. были окончательно определены основные цвета в городской полихромии. В Норильске с 2017 г. действует единая цветовая политика в отношении зданий и сооружений

Сопrotивление теплопередаче конструкции стены в зависимости от варианта засыпного утеплителя
Resistance to heat transfer of the wall structure depending on the type of backfill insulation

Вид утеплителя	Требуемое $R_{тр_0}$, м ² ·°C/Вт при толщине утеплителя, см		Проектное $R_{пр_0}$, м ² ·°C/Вт, при толщине утеплителя, см	
	Толщина, см	$R_{тр_0}$, м ² ·°C/Вт	Толщина, см	$R_{пр_0}$, м ² ·°C/Вт
Щебень и песок из перлита вспученного (ГОСТ 1083–2009 «Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия»); плотность 300 кг/м ³ ; $\lambda=0,053$ Вт/(м °C)	24,2 см	$R_{тр_0}=3,58$	30 см	$R_{пр_0}=4,59$
Вермикулит вспученный (ГОСТ 12865–67 «Вермикулит вспученный»); плотность 100 кг/м ³ ; $\lambda=0,08$ Вт/(м °C)	36,4 см	$R_{тр_0}=3,58$	30 см	$R_{пр_0}=3,11$
Гравий керамзитовый; плотность 200 кг/м ³ ; $\lambda=0,11$ Вт/(м °C)	50 см	$R_{тр_0}=3,58$	30 см	$R_{пр_0}=2,46$
Пористый гравий с остеклованной оболочкой из доменного и ферросплавного шлаков (ГОСТ 25820–2014 «Бетоны легкие. Технические условия»); плотность 400 кг/м ³ ; $\lambda=0,14$ Вт/(м °C)	63,7 см	$R_{тр_0}=3,58$	30 см	$R_{пр_0}=2,05$
Щебень шлакопемзовый и аглопоритовый (ГОСТ 32496–2013 «Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия»); плотность 400 кг/м ³ ; $\lambda=0,16$ Вт/(м °C)	73 см	$R_{тр_0}=3,58$	30 см	$R_{пр_0}=1,85$

(в том числе жилые дома и общественные центры), а также существует альбом типовых колористических решений фасадов зданий (URL: <https://norilsk-city.ru/press/news/2016/document50134.shtml> (дата обращения 07. 11.2023)).

Жители северных городов испытывают недостаток цвета в окружающей среде. Если говорить о традициях и истории, у народов Севера предпочтительными цветами являются в основном оранжевый, красный и зеленый, которые отождествляются с солнцем и весной.

Результатом рассмотрения идеологических, архитектурно-художественных аспектов архитектурного проектирования стало архитектурное решение объекта, в образе которого проявляется функциональность решений (планировочная структура достаточно ясно обозначена в объеме), учтены возможности 3D строительной печати. Колористические решения выдвинуты с учетом региональной специфики, в том числе в соответствии с традиционными колористическими предпочтениями северных народностей ярких весенних цветов (зеленый, оранжевый, фиолетовый). Выделен ряд цветовых палитр (рис. 3), подходящих к решению вопроса принадлежности и логичности колористического решения архитектурного объекта Западно-Сибирского региона. Предлагается применение сдержанных оттенков как дополнительного средства в создании визуального образа объекта, который с учетом объемного тектонического решения уже обладает достаточной архитектурной выразительностью.

Предлагаемая концепция объекта ИЖД для Западно-Сибирского региона. Планировочное решение (рис. 4) индивидуального жилого дома на четырех человек представлено в виде четкого функционального разделения на общие, приватные, сантехнические (хозяйственные) зоны, что отразилось не только в планировке, но и в архитектурно-художественном облике (рис. 5).

Кухня-гостиная, зона тихого отдыха – помещения общего сбора семьи и семьи с гостями. Вместительная кухня с обеденной зоной, зоны отдыха (в том числе с мягкой мебелью, стеллажами с книгами) – основные элементы помещения. Спальня кроме спальной функции имеет зону гардеробной и рабочей, а также индивидуального отдыха семейной пары. Детские комнаты смежные, имеют комфортную площадь. Санитарные комнаты (семейный санитарный узел и гостевой) размещены на пересечении потоков общей и приватной зон, котельная со всем необходимым инженерным оборудованием размещена у входа.

Проектное решение ИЖД соответствует общим принципам лаконичности, использования крупных объемов, разделения функциональных блоков. Применены методы решения теплотехнических задач и задач адаптации построения форм под технические особенности возведения зданий путем 3D строительной печати в виде скругленных углов, цельных полукруглых элементов части помещений. Часть крыши представлена в виде эксплуатируемой кровли. Параллельное расположение несущих стен также кроме традиционных планировочных условий является удобным в размещении печатного оборудования для возведения, в частности, перекрытий. Предлагается выделить высотами полукруглые элементы с отсылкой к башням, характеризующие русскую архитектуру, а также использовать предлагаемые цветовые решения, соответствующие идеологии объекта (рис. 6). В дальнейшей детальной проработке предполагается дополнить деликатным декором стеновые поверхности, в том числе активнее выделить обрамление окон с отсылкой к историческому вниманию к наличникам. Также в дальнейшей работе необходимо проработать внутренние помещения для того, чтобы посредством 3D строительной печати реализовать необходимые предметы мебели, ниши и другие элементы внутреннего наполнения.

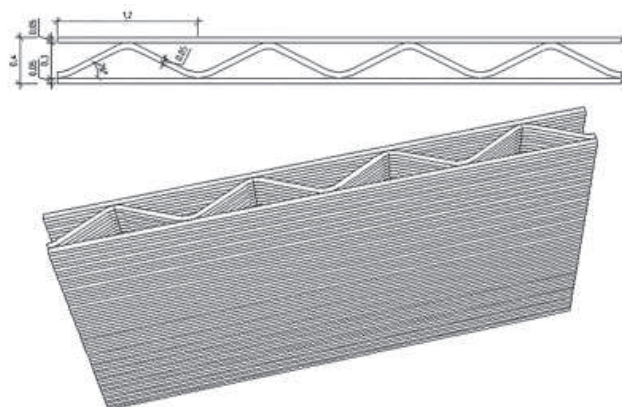


Рис. 7. Конструкция стены в горизонтальном поперечном сечении (разработано автором)

Fig. 7. Wall design in horizontal cross section (designed by the author)

Конструктивная схема здания

Конструктивная схема здания принята продольно-стенная с наружными и внутренними несущими стенами. Наружные ограждающие конструкции предусматриваются трехслойные с заполнением внутреннего пространства сыпучим утеплителем и имеют общую толщину 400 мм, что обусловлено требованиями по энергосбережению. При этом в зависимости от типа утеплителя расчетное сопротивление теплопередаче данной конструкции вариативно и указано в данных таблицы. Анализ результатов данных таблицы показывает, что для Западно-Сибирского региона наиболее оптимальный вариант засыпки – щебень и песок из перлита вспученного, плотностью 300 кг/м^3 , теплопроводностью $\lambda=0,053 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$.

В качестве несущих элементов многослойной конструкции стены приняты наружные и внутренние грани шириной 50 мм, соединенные между собой волнообразным элементом (рис. 7).

Несущие элементы конструкций стен и перекрытий предполагается печатать цементно-песчаным раствором [12–15], армированным щелочестойким полипропиленовым волокном ($l=12 \text{ мм}$; $d=0,022\text{--}0,034 \text{ мм}$). Для регулирования реотехнологических свойств (пластичности и формоустойчивости) в состав смеси вводятся химические и минеральные добавки.

Для устройства перекрытия предлагается метод поэлементной печати на заданной отметке с последующим поворотом конструкции в проектное положение, при этом предлагается использовать поворотный стенд, предусмотренный в конструкции 3D-принтера. Высота поворотного сегмента перекрытия принята 250 мм, ширина сегмента 250 мм. Сегмент состоит из так называемых поясов и соединительной волны. Толщина всех элементов принимается равной 5 см, а угол наклона волны по отношению к поясам составляет $26\text{--}27^\circ$, что обусловлено соответствующими расчетами методом конечных элементов.

Заключение

Анализ теоретических и практических данных и предложенный проект, адаптированный под реализацию его путем технологии 3D строительной печати, демонстрируют возможности применения интересных, сложных, уникальных форм и линий геометрии в соответствии с идеологическими принципами, заложенными в объект малоэтажного строительства [15]. Сам технологический процесс формирует черты и особенности архитектурной выразительности. Таким образом, исследование принципов, традиций, истории проектирования и строительства, архитектуры ИЖС федерального, регионального масштаба, а также анализ технологических особенностей 3D строительной печати проявляют особенности в разработке концепции ИЖС на территории Западно-Сибирского региона и адаптированного под аддитивные технологии объекта с точки зрения формы, объемно-планировочного решения, художественной выразительности (цвета в том числе).

Создание архитектурно-художественного облика представленного объекта выполнено на основе синтеза новаторства, современных возможностей технологических процессов и акцентов регионального характера в архитектуре. Технология 3D строительной печати проявляется в объектах разными методами и в разных целях в идеологическом и социальном направлениях. Это ведет к уникальности, которая в дальнейшей разработке проекта может быть ярко прослежена. Уникальность характеризует произведение искусства; архитектура – это искусство, поэтому для нее логично и даже необходимо быть уникальной.

Список литературы / References

1. Cesaretti G., Dini E., Kestelier X., Colla V., Pambaguan L. Building components for an outpost on the Lunar soil by means of a novel 3D printing technology. *Acta Astronautica*. 2014. Vol. 93, pp. 430–450. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2013.07.034>
2. Kamram M., Hussein A.B. 3D Printing Concrete Technology and Mechanics from Industrial Aspect. *Energy Policy*. 2020. No. 3, pp. 2–12.
3. Khan M., Sanchez F., Zhou H. 3-D printing of concrete: Beyond horizons. *Cement and Concrete Research*. 2020. Vol. 133. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106070>
4. Грахов В.П., Мохначев С.А., Бороздов О.В. Влияние развития 3D-технологий на экономику строительства // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 11 (ч. 12). С. 2673–2676.
4. Grakhov V.P., Mokhnachev S.A., Borozdov O.V. The impact of the development of 3D technologies on the construction economy. *Fundamental Research*. 2014. No. 11 (chast' 12), pp. 2673–2676. (In Russian).

5. Суслов В.В. Жемчужины русского зодчества по преданиям старины. М.: Центральное Издательство, 2021. 56 с.
5. Suslov V.V. Zhemchuzhiny russkogo zodchestva po predaniyam stariny [Pearls of Russian architecture according to ancient legends]. Moscow: Tsentral'noe Izdatel'stvo. 2021. 56 p.
6. Малинин Н. Современный русский деревянный дом. М.: Музей современного искусства «Гараж», 2020. 348 с.
6. Malinin N. Sovremenniy russkii derevyanniy dom [Modern Russian wooden house]. Moscow: Muzei sovremennogo iskusstva «Garazh». 2020. 348 p.
7. Краснова Т.В., Пермяков М.Б. Творческие подходы в формировании имиджа городской среды средствами архитектуры и дизайна // *Современные наукоемкие технологии*. 2019. № 2. С. 89–93.
7. Krasnova T.V., Permyakov M.B. Creative approaches in shaping the image of the urban environment by means of architecture and design. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2019. No. 2, pp. 89–93. (In Russian).
8. Пермяков М.Б., Краснова Т.В., Дорофеев А.В. Аддитивные технологии в строительстве и дизайне архитектурной среды: настоящее и будущее. *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования*. 2018. Т. 9. № 2. С. 2–5.
8. Permyakov M.B., Krasnova T.V., Dorofeev A.V. Additive technologies in construction and architectural environment design: present and future. *Actualnyye problemy sovremennoy nauki, tehniki i obrazovaniya*. 2018. Vol. 9. No. 2, pp. 2–5. (In Russian).
9. Касьянов Н.В. К проблеме эволюции пространственных форм архитектуры в контексте научно-технологических достижений // *Academia. Архитектура и строительство*. 2019. № 3. С. 34–43.
9. Kas'yanov N.V. On the problem of the evolution of spatial forms of architecture in the context of scientific and technological achievements. *Academia. Architectura i stroitelstvo*. 2019. No. 3, pp. 34–43. (In Russian).
10. Culture: urban future; global report on culture for sustainable urban development. Paris: UNESCO, 2016. 303 p.
11. Панова Н.Г., Жиркова В.Д. Особенности формирования цветовой среды северных городов России // *Архитектура и современные информационные технологии*. 2021. № 3 (56). DOI: 10.24412/1998-4839-2021-3-334-344
11. Panova N.G., Zhirkova V.D. Features of the formation of the color environment of the northern cities of Russia. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2021. No. 3 (56). (In Russian). DOI: 10.24412/1998-4839-2021-3-334-344
12. Разов И.О., Соколов В.Г., Дмитриев А.В., Еренчинов С.А. Предложение по устройству перекрытия при возведении зданий с помощью аддитивных технологий // *Строительные материалы*. 2023. № 10. С. 116–120. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-818-10-116-120>
12. Razov I.O., Sokolov V.G., Dmitriev A.V., Erenchinov S.A. Proposal for the installation of the overlap during the construction of buildings using additive technologies. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2023. No. 10, pp. 116–120. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-818-10-116-120>
13. Славчева Г.С. Анализ российской нормативной документации, регламентирующей применение и развитие строительных аддитивных технологий // *Строительные материалы*. 2023. № 8. С. 10–17. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-816-8-10-17>
13. Slavcheva G.S. Analysis of the Russian regulatory documentation regulating the use and development of construction additive technologies. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2023. No. 8, pp. 10–17. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-816-8-10-17>
14. Бекмансуров М.Р., Яковлев Г.И., Гордина А.Ф., Кузьмина Н.В., Саидова З.С., Александров А.М., Жуков А.Н. Быстротвердеющий состав на основе фторангидрита для послойной экструзии (3D-печати) // *Строительные материалы*. 2023. № 6. С. 65–69. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-814-6-65-69>
14. Bekmansurov M.R., Yakovlev G.I., Gordina A.F., Kuzmina N.V., Saidova Z.S., Alexandrov A.M., Zhukov A.N. Fast curing fluoroanhydrite composition for layer-by-layer extrusion (3D printing). *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2023. No. 6, pp. 65–69. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-814-6-65-69>
15. Монастырев П.В., Езерский В.А., Иванов И.А., Азауи Дубла Б. Аддитивные технологии возведения стен малоэтажных зданий и их классификация. *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектурных и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 году*. М.: РААСН, 2018. Т. 2. С. 368–379.
15. Monastyr'ev P.V., Ezerskii V.A., Ivanov I.A., Azaui Dubla B. Additive technologies for the construction of walls of low-rise buildings and their classification. *Fundamental, exploratory and applied research of the Russian Academy of Architectural and Construction Sciences on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2018*. Moscow. RAASN. 2018. Vol. 2, pp. 368–379.

УДК 624

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-18-23>

Л.А. АДАМЦЕВИЧ, канд. техн. наук (AdamtsevichLA@mgsu.ru),
Е.А. ГИНЗБУРГ, студент (GinEA@ginzburgi.ru), Л.А. ШИЛОВ, соискатель (Leonid.A.Shilov@gmail.com)
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Строительство 4.0

Статья посвящена анализу технологий концепции «Строительство 4.0» в России. Поскольку в отечественной литературе термин «Строительство 4.0» пока не нашел широкого распространения, на начальном этапе исследования проанализированы зарубежные статьи для получения первоначальных знаний о рассматриваемой концепции и определения ключевых слов, используемых в научной литературе. В результате сформирована выборка из пятнадцати ключевых слов. На следующем этапе собраны данные по динамике изменения количества публикаций в РИНЦ по определенным ранее ключевым словам за последние пять лет. Отдельно рассматривается 2023 г., так как выборка за этот год неполная. В результате определено, что наиболее востребованными в отечественных публикациях являются три направления: технологии информационного моделирования, новые строительные материалы и большие данные. По итогам рассмотрения исследований по технологиям информационного моделирования стоит отметить, что перспективным является направление, связанное с прогнозированием объемов строительства и сноса объектов капитального строительства, это может стать научно обоснованной базой для формирования программ развития перерабатывающих мощностей, полигонов по захоронению отходов и пр. Кроме того, информационные модели являются основными источниками больших данных в строительстве, но на пути активного развития технологии больших данных в строительной отрасли необходимо решить ряд проблем. В части развития новых строительных материалов значительное число исследований посвящено разработке новых свойств бетона.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, Строительство 4.0, технологии информационного моделирования, ТИМ, 3D-печать, новые строительные материалы, цифровые двойники, аддитивное строительное производство, большие данные.

Для цитирования: Адамцевич Л.А., Гинзбург Е.А., Шилов Л.А. Строительство 4.0 // *Жилищное строительство*. 2023. № 11. С. 18–23. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-18-23>

L.A. ADAMTSEVICH, Candidate of Sciences (Engineering) (AdamtsevichLA@mgsu.ru),
E.A. GINZBURG, Student (GinEA@ginzburgi.ru), L.A. SHILOV, Degree Applicant (Leonid.A.Shilov@gmail.com)
National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Construction 4.0

The article is devoted to the analysis of technologies of the "Construction 4.0" concept in Russia. Since the term «Construction 4.0» has not yet found widespread use in the domestic literature, at the initial stage of the study foreign articles were analyzed to obtain initial knowledge about the concept under consideration and identify key words used in the scientific literature. As a result, a sample of 15 key words was formed. At the next stage, data on the dynamics of changes in the number of publications in the RSCI for previously defined key words over the past 5 years is collected. The year 2023 is considered separately, since the sample for this year is incomplete. As a result, it was determined that three areas are most in demand in domestic publications: information modeling technologies, new building materials and Big Data. Based on the results of consideration of research on information modeling technologies, it is worth noting that a promising direction is related to forecasting the volume of construction and demolition of capital construction objects to estimate the volume of demolition and construction waste, which can become a scientifically based basis for the formation of programs for the development of processing facilities and disposal sites waste, etc. In addition, information models are the main sources of big data in construction, but on the path of active development of big data technology in the construction industry, several problems need to be solved. In terms of the development of new building materials, a significant number of studies are devoted to the development of new properties of concrete.

Keywords: Industry 4.0, Construction 4.0 information modeling technologies, BIM, 3D printing, new construction materials, digital twins, additive construction manufacturing, Big Data.

For citation: Adamtsevich L.A., Ginzburg E.A., Shilov L.A. Construction 4.0. *Zhiliishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 11, pp. 18–23. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-18-23>

Впервые концепция «Индустрия 4.0», которая стала собирательным образом технологий четвертой промышленной революции, где главным вектором развития является осуществление перехода на автоматизированное цифровое производство под управ-

лением интеллектуальных систем в режиме реального времени в рамках глобальной промышленной сети, была представлена в 2011 г. в Германии как стратегический план развития немецкой промышленности. При этом цифра 4.0 выбрано не случайно и означала

неизбежный переход к четвертой промышленной революции. Однако широкомасштабное употребление данного термина началось только в 2016 г., когда главной темой 46-го Всемирного экономического форума стало обсуждение тренда активной интеграции ИТ-технологий в промышленность, где наряду с понятием четвертой промышленной революции активно использовался термин «Индустрия 4.0».

Первая промышленная революция, как известно, обусловлена переходом от аграрной экономики к промышленному производству за счет изобретения способа применения паровой энергии и развития металлургии. Открытие электрической энергии, поточного производства и разделение труда привели ко второй промышленной революции, третья ознаменовалась автоматизацией и роботизацией производственных процессов. Концепция «Индустрия 4.0» имеет синергетический эффект за счет комплексного использования таких технологий, как искусственный интеллект, машинное обучение, робототехника, облачные вычисления, большие данные, аддитивное производство и др. (рис. 1).

В то же время изменения коснулись не только промышленности, но других отраслей, в том числе строительной. При это в работе [1] определено, что при цифровой трансформации строительной отрасли ключевым становится специалист, обладающий технологиями Индустрии 4.0 – Строитель 4.0; в зарубежных источниках также активно используется парадигма «Строительство 4.0» [1–4].

Цель данной работы сводится к анализу отечественных исследований, реализующих основные положения концепции «Строительство 4.0»; для обеспечения цифровой трансформации строительной отрасли за счет использования и развития технологий Индустрии 4.0.

Методология

В отечественной литературе термин «Строительство 4.0» пока не нашел широкого распространения, поэтому на первом этапе исследования для получения первоначальных знаний о рассматриваемой концепции и определения ключевых слов, используемых

в научной литературе, были проанализированы зарубежные статьи. Основой формирования выборки ключевых слов стали работы [2, 3].

Статьи для анализа были выбраны в международной базе данных Scopus по ключевому слову Construction 4.0, а также по типу статьи – обзор.

В результате были выбраны следующие технологии для дальнейшего рассмотрения: технологического моделирования (ТИМ), 3D-печать, интернет вещей, робототехника, дополненная реальность, киберфизические системы, цифровые двойники, машинное обучение, искусственный интеллект, БПЛА, новые строительные материалы, большие данные, 3D-сканер, облачные технологии, умный город.

Далее исследования проводились по РИНЦ – национальной библиографической базе данных научного цитирования. Данные брались за последние пять лет (с 2018 по 2022 г.). Публикации за 2023 г. выделены отдельно, поскольку год еще не закончился и данные собраны по состоянию на октябрь 2023 г.

Поиск ключевых слов производился во всех возможных полях поиска системы, включая названия публикаций, аннотации, ключевые слова и пр.; учитывая, что технологии Индустрии 4.0 используются в различных отраслях, выборки формировались по схеме, представленной на рис. 2.

Результаты

В таблице приведены сводные данные по количеству публикаций, представленных в РИНЦ по определенным в разделе «Методология» ключевым словам; распределение публикаций за 2023 г. представлено на рис. 3.

Из таблицы видно, что по итогам за пять лет наиболее востребованными являются технологии информационного моделирования (11,2% публикаций), новые строительные материалы (33,3%) и большие данные (38,6%), соответственно на остальные публикации приходится всего 16,9%.

Технологии информационного моделирования

Технологии информационного моделирования (ТИМ), или Building Information Modelling (BIM) в

Первая промышленная революция	Вторая промышленная революция	Третья промышленная революция	Четвертая промышленная революция
Внедрение механического (парового) производственного оборудования	Массовое производство, достигнуто за счет разделения труда и использования электрической энергии	Использование электроники и дальнейшая автоматизация производства	Использование киберфизических систем, искусственного интеллекта, робототехники, аддитивного производства и др.
1784 – первый ткацкий станок	1870 – первый конвейер	1969 – первый программируемый контроллер	2011 – по настоящее время

Рис. 1. Этапы развития науки, техники, технологий
Fig. 1. Stages of development of science, technic, technology

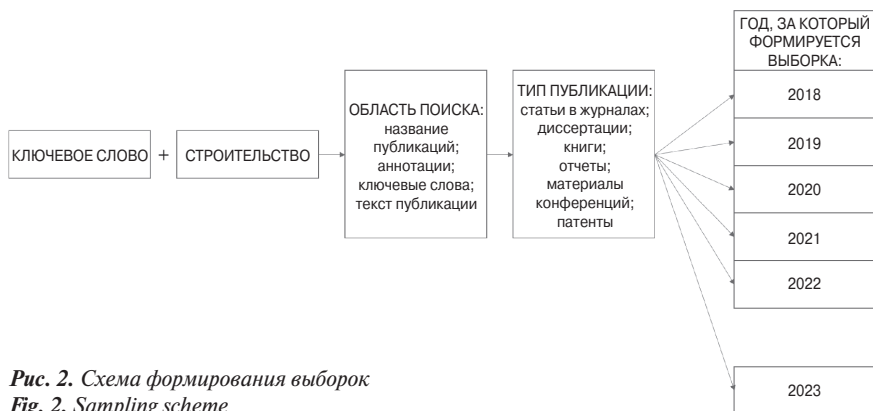


Рис. 2. Схема формирования выборок
Fig. 2. Sampling scheme

международной терминологии, в рамках развития концепции «Строительство 4.0» считается одной из ключевых [2–6]. Информационное моделирование позволяет управлять информацией об объекте на протяжении всего его жизненного цикла и принимать решения, касающиеся управления объектом

При этом в США и Европе данная концепция развивается с конца 1960-х гг., но с использованием другой терминологии, а в нашей стране первые цифровые модели объекта начали появляться с 1977 г. в ЦНИПИАСС Госстроя СССР.

Исследования в этой области можно условно разделить на следующие направления до 2022 г.: использование информационной модели на этапах жизненного цикла объекта капитального строительства; n-D – многомерное моделирование.

Наибольшее количество публикаций рассматривает проблематику применения технологий информационного моделирования на этапах проектирования и эксплуатации, однако вопросы, связанные с использованием информационных моделей на

этапе вывода объекта капитального строительства из эксплуатации или сноса, остаются малоизученными.

При этом организация утилизации и переработки отходов строительства и сноса – довольно длительный и дорогостоящий процесс за счет необходимости подготовки полигонов и перерабатывающих установок. Вместе с тем, учитывая масштабы строительства, а также возрастающие требования к обеспечению экологической безопасности, прогнозирование объемов отходов образования является актуальной научно-практической проблемой.

Вопросы регулирования получения, перемещения, захоронения и переработки отходов строительства и сноса могут быть решены на основе информационной модели путем управления потоками данных по обращению с отходами строительства и сноса.

Процесс обращения с отходами строительства и сноса по каждому конкретному объекту образования определяется технологическим регламентом.

Таким образом, ключевым становится вопрос не только оценки объемов отходов, но и их состава, поскольку в зависимости от вида отходов используются различные методы их утилизации.

В части вопросов многомерного моделирования, как правило, исследования касаются проблем уровней 6D и выше (рис. 4).

Отдельно стоит отметить, что с 2023 г. в отечественных публикациях начинают появляться работы, связанные с развитием отечественных программных

Динамика изменения количества публикаций по определенным ключевым словам по годам
Dynamics of changes in the number of publications for certain keywords by year

Название технологии	2018	2019	2020	2021	2022	Итого
Технологии информационного моделирования (ТИМ)	125	130	176	211	269	911
3D-печать	62	64	61	69	92	348
Интернет вещей	9	13	9	23	19	73
Робототехника	10	12	14	23	17	76
Дополненная реальность	5	18	20	19	36	98
Киберфизические системы	10	11	3	1	3	28
Цифровые двойники	1	9	21	25	37	93
Машинное обучение	5	6	16	17	33	77
Искусственный интеллект	20	30	43	76	93	262
БПЛА	8	11	15	12	23	69
Новые строительные материалы (НМ)	533	526	549	519	591	2718
Большие данные	557	616	570	699	710	3152
3D-сканер	2	5	1	7	2	17
Облачные технологии	5	16	15	20	15	71
Умный город	28	30	34	36	46	174

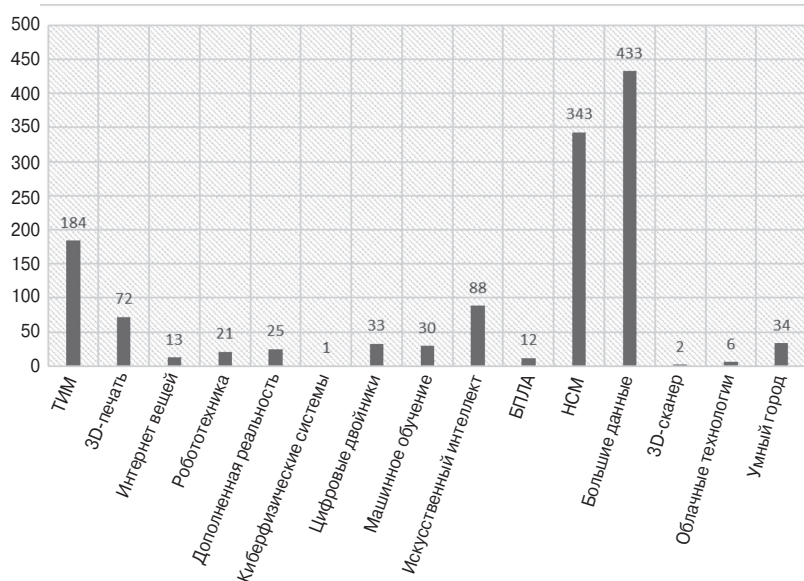


Рис. 3. Диаграмма распределения публикаций в рассматриваемой области по отобранному ключевым словам за 2023 г.

Fig. 3. Diagram of the distribution of publications in the area under consideration by selected key words for 2023

продуктов. В публикациях представлены результаты разработок автоматизированных систем для применения в отечественном ПО для сокращения срока проведения аудита качества информационных моделей, снижения вероятности потери данных в информационных моделях, разработанных в соответствующих программных продуктах и пр. [7, 8].

Вместе с тем, несмотря на то что ТИМ позволяют интегрировать и другие цифровые технологии, например искусственный интеллект, интернет вещей и пр., используя тем самым все преимущества технологии, в ряде работ отмечаются проблемы на пути внедрения технологии. Среди проблем выделяют:

- необходимость в значительных инвестициях на начальном этапе внедрения (относится к ранним публикациям до 2020 г.);

- необходимость в обучении работников организации или поиска новых специалистов, обладающих соответствующими компетенциями;

- необходимость внесения изменений в нормативно-правовые документы, регламентирующие процесс внедрения и использования новых технологий.

За рубежом есть публикации, посвященные проблемам авторского права при внедрении ТИМ и обеспечения кибербезопасности [9], которые обозначаются как ключевые препятствия. В отечественных публикациях, представленных в РИНЦ, этих направлений пока не касаются.

Данные аспекты, однако, оказывают влияние, как правило, на небольшие строительные организации, работающие в странах с развивающейся экономикой.

Новые строительные материалы

Само понятие «новые строительные материалы» используется в научной литературе достаточно давно [10, 11], однако на каждом этапе развития науки, техники и технологий под данным термином принимались разные материалы.

Сегодня, например, много внимания специалистами НИИ Строительных материалов и технологий МГСУ уделяется разработке новых видов бетона, из которых стоит отметить следующие:

- дышащий бетон – материал непроницаем для воды, но обладает высокой паропроницаемостью и может быть использован для ограждающих конструкций;

- гибкий бетон, представляет собой эластичный материал, не подверженный хрупкому разрушению;

- светопрозрачный бетон – долговечный материал, пропускающий свет и обладающий декоративными свойствами, может быть использован для ограждающих конструкций (рис. 5);

- бетон криогенного твердения – материал, который набирает прочность при замораживании и сохраняет ее при оттаивании, может использоваться с различными наполнителями для изготовления несущих и ограждающих конструкций, а также при укреплении грунтов и др.

Возвращаясь к анализу публикаций, стоит также отметить разработки в области прозрачного дерева. При этом публикации в данном направлении датируются 2018 г. и старше в РИНЦ; за рубежом разработки начались в 2016 г., однако только в 2020 г. заявлено о получении устойчивого результата: полученный материал термоэффективнее стекла, а также прочнее в несколько раз.

Массивная многослойная древесина представляет собой прочный массив дерева, выделяют поперечноклееную древесину, клееную древесину. Используется такой материал для создания прочных балок.

Другим направлением в развитии новых строительных материалов является разработка декоративных материалов для реализации необычных архитектурных или дизайнерских идей. Пример – плитка с акриловым волокном, которая при свете может менять свои свойства: мерцать, подсвечиваться, улавливать или рассеивать цвета по поверхности.

Жидкий камень используется для обеспечения прочности поверхности и придания ей декоративного вида. Представляет собой жидкую строительную

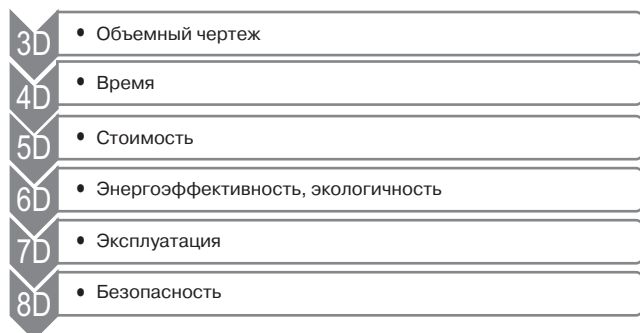


Рис. 4. Уровни проработки информационной модели
Fig. 4. Levels of development of the information model

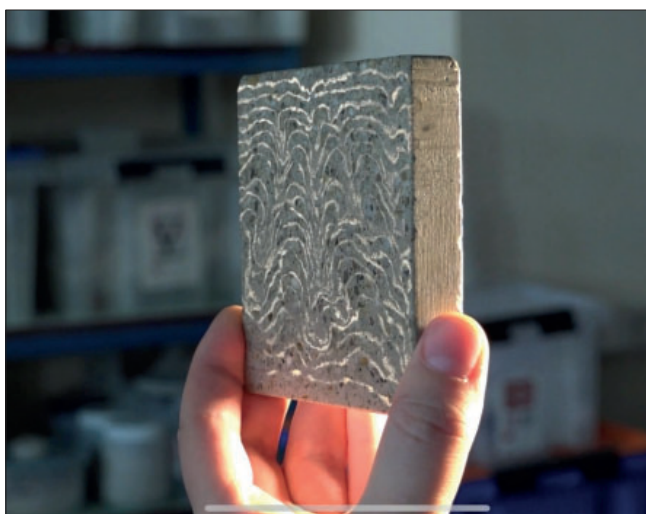


Рис. 5. Светопрозрачный бетон
Fig. 5. Translucent concrete

смесь, состоящую из 70% мраморной крошки и 30% специальных добавок и декоративного наполнителя.

Композитный фасадный материал из глины и гидрогеля, который способен охлаждать внутренние помещения зданий, получил название «гидрокерамика». Данный материал был разработан в Испании в 2014 г. и использует способность гидрогеля поглощать воду.

Биопластик из лесных и сельскохозяйственных отходов адсорбирует CO₂ из атмосферы, используется для фасадов зданий, оформления интерьера, городской инфраструктуры. Исходя их анализируемой выборки, примеров новых строительных материалов много, однако основное внимание все же акцентируется на разработке новых свойств и видов бетонов.

Большие данные – Big Data в международной терминологии используются в строительстве для решения прикладных задач, например подбора оптимального конструктивного решения здания для обеспечения энергосбережения. Конструктивное решение формируется на основании анализа данных – теплотехнических показателей ограждающих конструкций, климатических условий эксплуатации

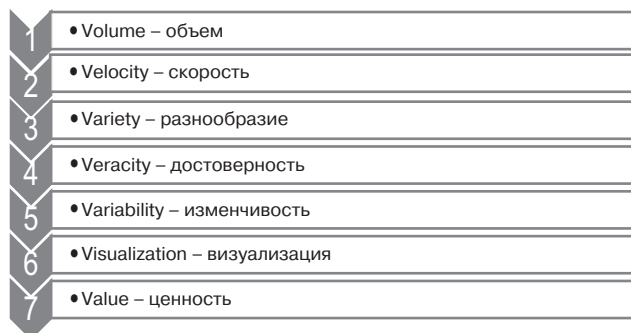


Рис. 6. Формула больших данных
Fig. 6. Big Data Formula

объекта, затрат на отопление в зависимости от расположения объекта и пр.

Термин Big Data появился в 2008 г. после опубликованной статьи в журнале Nature, в рамках которой рассматривались перспективы применения технологий, открывающих возможности работы с большими объемами данных. Ведущими аналитиками установлена емкая формула больших данных, в которой фигурирует размерность 7V [12] (рис. 6).

При этом в начале внедрения технологии использовались только первые три элемента формулы, это прежде всего *объем* данных, который в современных реалиях растет по экспоненте. Данные обновляются и генерируются новые, в этой связи важными являются показатели *скорости* и *разнообразия*, так как проекты могут включать данные не только в разных форматах, но информация может быть как структурированная, так и неструктурированная.

Достоверность является также ключевым показателем, поскольку анализ недостоверной информации может привести к принятию неправильных решений. Показатель *изменчивости* говорит о том, что значение одних и тех же данных может различаться в зависимости от контекста. Неотъемлемая часть анализа – *визуализация*, которая позволяет изучать большие данные доступно, а показатель *ценность* ориентирован на извлечение максимума пользы из результатов анализа больших данных.

Если рассматривать Big Data в строительстве, то данные здесь формируются не только в процессе непосредственного возведения объекта капитального строительства, но и на этапе эксплуатации объекта, при осуществлении ремонтов или реконструкции и пр.

Анализ публикаций показал, что в настоящее время основным источником формирования данных в строительстве являются информационные модели, где неизбежна потеря данных в процессе конвертации файлов, созданных в различных ПО.

К другим не менее важным можно отнести проблемы отсутствия единого стандарта представления данных, а также рассредоточенность данных у участ-

ников строительства на разных этапах жизненного цикла объекта капитального строительства.

Выводы

Проведенный анализ публикаций позволил выделить ключевые технологии в рамках концепции «Строительство 4.0» в России (табл. 2): технологии информационного моделирования, новые строительные материалы и большие данные.

При этом можно отметить, что перспективными в рамках рассмотрения исследований по ТИМ являются направления, связанные с прогнозированием объемов строительства и сноса для оценки объемов отходов сноса и строительства, что может стать научно обоснованной базой для формирования программ развития перерабатывающих мощностей, полигонов по захоронению отходов и пр.

Кроме того, информационные модели являются основными источниками больших данных в строительстве. Однако на пути активного развития технологии Big Data в строительной отрасли необходимо решить ряд проблем с разработкой единого стандарта представления данных, обеспечением хранения данных по итогам выполнения работ на различных этапах жизненного цикла объекта капитального строительства и др.

В части новых строительных материалов основное внимание публикаций фокусируется на разработке новых свойств и видов бетона. Вместе с тем не рассмотренные в статье технологии также имеют значение для развития концепции «Строительство 4.0», чему и будут посвящены дальнейшие работы авторов.

Список литературы / References

1. Гинзбург А.В., Адамцевич Л.А., Адамцевич А.О. Строительная отрасль и концепция «Индустрия 4.0» // *Вестник МГСУ*. 2021. Т. 16. № 7. С. 885–911.
1. Ginzburg A.V., Adamtsevich L.A., Adamtsevich A.O. Construction industry and Industry 4.0: review. *Vestnik MGSU*. 2021. Vol. 16. No. 7, pp. 885–911. (In Russian).
2. Heijden J. Construction 4.0 in a narrow and broad sense: A systematic and comprehensive literature review. *Building and Environment*. 2023. Vol. 244, 110788. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110788>
3. Roland Berger G.M.B.H. Digitization In the Construction Industry: Building Europe's Road To "Construction 4.0", Roland Berger GMBH. Munich. 2016.
4. Sawhney A., Riley M., Irizarry J. Construction 4.0: an Innovation Platform for the Built Environment. Routledge. Abingdon. 2020.
5. Schranz C., Urban H., Gerger A., Potentials of augmented reality in a BIM based building submission process. *Journal Information Technology and Construction*. 2021. 26 (1), pp. 441–457. DOI: 10.36680/j.itcon.2021.024
6. Charef R., Alaka H., Emmitt S., Beyond the third dimension of BIM: a systematic review of literature and assessment of professional views. *Journal of Building Engineering*. 2018. No. 19, pp. 242–257. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.04.028>
7. Филатов В.В., Пестрикова А.Д., Адамцевич Л.А. Отечественный опыт развития технологий информационного моделирования // *Промышленное и гражданское строительство*. 2023. № 9. С. 80–87.
7. Filatov V.V., Pestrikova A.D. Adamtsevich L.A. Domestic experience in the development of information analysis technologies. *Promyshlennoye i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2023. No. 9, pp. 80–87. (In Russian).
8. Жаров Я.В., Семёнов С.А. Принципы формирования компетенций применения технологий информационного моделирования в строительстве // *Жилищное строительство*. 2023. № 8. С. 21–27. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-8-21-27>
8. Zharov Ya.V., Semenov S.F. The concept of the formation of competencies for the use of information modeling technologies in construction. *Zhilyshchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 8, pp. 21–27. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-8-21-27>
9. Mantha B., Garcia de Soto B., Karri R. Cyber security threat modeling in the AEC industry: an example for the commissioning of the built environment. *Sustainability of cities*. 2021. No. 66 (102682), pp. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102682>
10. Чернышов Е.М. Природные силикаты магния – новое эффективное сырье для промышленности строительных материалов // *Строительные материалы*. 1988. № 10. С. 16–18.
10. Chernyshov E.M. Natural magnesium silicates are a new effective raw material for the building materials industry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 1988. No. 10, pp.16–18. (In Russian).
11. Баранов И.М. Новые эффективные строительные материалы для создания конкурентных производств // *Строительные материалы*. 2001. № 2. С. 26–28.
11. Baranov I.M. New efficient building materials for creating competitive industries. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2001. No. 2, pp. 26–28. (In Russian).
12. Конииков А.И. Перспективные направления в области информационных систем управления строительством // *Промышленное и гражданское строительство*. 2019. № 6. С. 64–69.
12. Konikov A.I. Promising directions in the field of construction management information systems. *Promyshlennoye i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2019. No. 6, pp. 64–69. (In Russian).

УДК 624.012.35

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-24-31>

А.Р. ТУСНИН, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой металлических и деревянных конструкций, директор ИПГС (Tusninar@mgsu.ru),
М.П. БЕРГЕР, канд. техн. наук (bergermp@mgsu.ru), Т.В. ГАЛСТЯН, аспирант (tigran.galstyan.70@mail.ru)
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Совместная работа большепролетных ферм и прогонов при расчете на прогрессирующее обрушение

Отмечено, что изучение проблемы устойчивости стальных каркасов к прогрессирующему обрушению позволит снизить риск возникновения аварийных ситуаций. В рамках исследования совместной работы стальных большепролетных ферм покрытий рассматривалось покрытие пролетом 12 м со шпренгельными прогонами с типовым расположением связей и с учетом дополнительной вертикальной связевой фермы. Для каждого из вариантов рассматривалось напряженно-деформированное состояние конструкций покрытия при локальном повреждении элемента верхнего или нижнего пояса стропильной фермы. Изучена возможность включения в работу прогонов при повреждении одного из элементов пояса фермы. Численные расчеты проводились в квазистатической постановке с учетом нелинейной работы элементов покрытия. Для каждого варианта покрытия определены максимальные перемещения и усилия в элементах, а также выполнена проверка по первой группе предельных состояний. Численные исследования показали, что при типовом расположении связей покрытия жесткости прогонов недостаточно для эффективного перераспределения нагрузки с поврежденных элементов на соседние. Усилия в прогонах, возникающие при повреждении фермы, значительно превышают их несущую способность. Установка дополнительной продольной вертикальной связевой фермы позволяет значительно уменьшить деформации покрытия и более эффективно перераспределить усилия при локальных повреждениях.

Ключевые слова: большепролетное покрытие, стальные фермы, коэффициент динамичности, локальное разрушение, численный расчет, прогрессирующее обрушение.

Работа выполнена при поддержке гранта НИУ МГСУ. Приказ 453/130 от 15.05.2023 «О реализации проектов, поддержанных по результатам конкурса 2023 года на проведение фундаментальных и прикладных научных исследований (НИР) научными коллективами НИУ МГСУ».

Для цитирования: Туснин А.Р., Бергер М.П., Галстян Т.В. Совместная работа большепролетных ферм и прогонов при расчете на прогрессирующее обрушение // *Жилищное строительство*. 2023. № 11. С. 24–31.
DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-24-31>

A.R. TUSNIN, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Head of the Department of Metal and Wooden Structures (Tusninar@mgsu.ru),
M.P. BERGER, Candidate of Sciences (Engineering) (LinkovNV@mgsu.ru), T.V. GALSTYAN, postgraduate (tigran.galstyan.70@mail.ru)
National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl'skoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Joint Operation of Large-Span Trusses and Purlins in the Calculation of Progressive Collapse

One of the topical areas of modern design is the calculation of the stability of structures to progressive collapse. Large-span steel structures are widely used in both industrial and civil engineering. The study of the problem of resistance of steel frames to progressive collapse will reduce the risk of accidents. The study is devoted to the joint work of steel large-span roof trusses with purlins. As part of the study, a coating with a span of 12 m with trussed girders with a typical arrangement of ties and coating with an additional vertical truss was considered. For each of the options, the stress-strain state of the coating structures was studied in case of local damage to the element of the upper or lower belt of the truss. The possibility of including purlins in the work in case of damage to one of the elements of the truss belt has been studied. Numerical calculations were carried out in a quasi-static formulation, taking into account the nonlinear operation of the coating elements. For each coating variant, the maximum displacements and forces in the elements are determined, and a check was performed for the first group of limit states. Numerical studies have shown that with a typical arrangement of coating ties, the rigidity of the purlins is not enough to effectively redistribute the load from damaged elements to neighboring ones. The forces in the purlins that occur when the truss is damaged significantly exceed the bearing capacity of the purlins. Installing an additional longitudinal vertical truss can significantly reduce the deformation of the coating and more effectively redistribute forces in case of local damage.

Keywords: large-span steel structures, steel truss, dynamic coefficient, local failure, numerical analysis, progressive collapse.

The work was supported by a grant from NRU MGSU. Order 453/130 dated May 15, 2023 "On the implementation of projects supported by the results of the 2023 competition for fundamental and applied scientific research (R&D) by the research teams of NRU MGSU".

For citation: Tusnina A.R., Berger M.P., Galstyan T.V. Joint operation of large-span trusses and purlins in the calculation of progressive collapse. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 11, pp. 24–31. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-24-31>

Большепролетные здания широко используются как в промышленном, так и в гражданском строительстве. В промышленном строительстве это авиационные ангары, судо- и авиастроительные цеха, крытые стоянки спецтехники и др. В гражданском строительстве это спортивные сооружения, выставочные комплексы, концертные залы. По определению, приведенному в СП 304.1325800.2017 «Конструкции большепролетных зданий и сооружений. Правила эксплуатации», к большепролетным относятся конструкции пролетом свыше 18 м для гражданских зданий и более 36 м для зданий и сооружений промышленного и общественного назначения. В соответствии с ГОСТ 27751–2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» большепролетные здания относятся к классу сооружений КС-3 и имеют повышенный уровень ответственности. В связи с этим при проектировании зданий такого типа необходимо выполнять расчет на устойчивость к прогрессирующему обрушению. Исследование устойчивости каркасов зданий к прогрессирующему обрушению – одно из наиболее актуальных направлений в современном проектировании. Разработке данной тематики посвящено большое количество научных работ [1–6]. Российскими и зарубежными учеными разработаны многочисленные расчетные методики и конструктивные рекоменда-

ции для разных типов каркасов зданий и сооружений [7–12]. На сегодняшний день методика расчета каркасов железобетонных зданий является наиболее детально проработанной [13–15]. Проблеме живучести покрытий стальных зданий посвящено меньшее количество работ [16–18].

Результаты проведенных обследований стропильных ферм покрытий [19–20] показали, что локальное разрушение элемента стропильной фермы приводит в ряде случаев к прогрессирующему обрушению всего покрытия или его фрагмента. В настоящей статье приведены результаты исследования эффективности включения в работу прогонов как вант при повреждении одного из элементов поясов стропильной большепролетной фермы.

В рамках выполненного исследования проведена серия численных расчетов большепролетного покрытия пролетом 108 м с учетом локальных повреждений элементов верхнего или нижнего пояса фермы. Рассматривались покрытия с шагом стропильных ферм 12 м со шпренгельными прогонами в виде треугольных ферм. Кроме того, были проведены расчеты для варианта покрытия с дополнительной вертикальной связевой фермой вдоль всего здания. Расчет выполнялся в квазистатической постановке с учетом геометрически нелинейной работы элементов покрытия. По результатам численного моделирования была

Сечения элементов покрытия
Sections of coating elements

Элемент	Поперечное сечение
Нижний пояс/ верхний пояс	Двутавр 40К3
Опорный раскос	Двутавр 40К3
Рядовой раскос	Двутавр 30К1
Стойки	Двутавр 30К1
Распорки по верхнему и нижнему поясам ферм	Труба 180×180×6
Горизонтальные связи по верхнему и нижнему поясам ферм	Уголок 250×250×16
Вертикальные связи по фермам	Труба 200×200×6
Прогоны	Швеллер 24П (верхний пояс) Гнутый швеллер 200×100×6 (нижний пояс)

Таблица 1
Table 1

Значения коэффициентов динамичности нагрузки
Values of dynamic coefficients of load factors

Вариант конструктивного решения	Место приложения нагрузки	Тип повреждения	
		Верхний пояс	Нижний пояс
Без дополнительной вертикальной связевой фермы	Поврежденная ферма	1,9	1,4
	Соседние фермы	1,2	1,2
С дополнительной вертикальной связевой фермой	Поврежденная ферма	1,12	1,12
	Соседние фермы	1,12	1,12

Таблица 2
Table 2

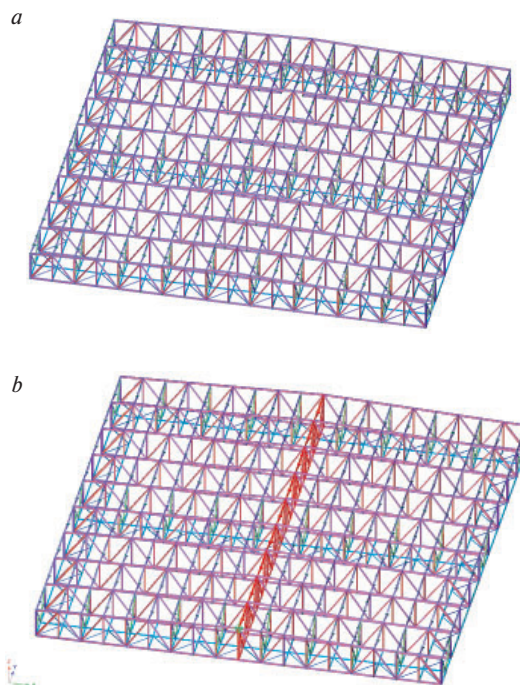


Рис. 1. Расчетная модель покрытия при шаге ферм 12 м: а – со шпренгельными прогонами; б – со шпренгельными прогонами и дополнительной вертикальной фермой

Fig. 1. Calculation model of coverage with a truss spacing of 12 m: a – with trussed purlins; b – with trussed purlins and with an additional vertical truss

проведена оценка эффективности включения прогонов в работу покрытия при локальном повреждении одного из элементов стропильной фермы. Даны заключения об использовании рассмотренных конструктивных вариантов конструкции покрытия.

Материалы и методы

Исследуемый каркас представляет собой одноэтажное квадратное в плане здание. Пролет здания составляет 108 м; шаг ферм 12 м; высота до низа ферм 18 м; высота фермы в коньке 10 м; на опоре – 8 м. Ограждение покрытия выполнено по шпренгельным прогонам, расположенным с шагом 6 м. Прогоны приняты по серии 1.462-5 ПК-1800.

Конструктивная схема каркаса принята рамной в поперечном направлении и связевой в продольном. Крепление фермы к колонне шарнирное. Общая устойчивость здания обеспечивается поперечными рамами и вертикальными связями, устанавливаемыми по продольным рядам колонн при совместной работе с жесткими в горизонтальной плоскости дисками покрытия. Жесткость и геометрическая неизменяемость элементов покрытия обеспечиваются системой горизонтальных и вертикальных межферменных связей. Помимо каркаса с типовым расположением связей по покрытию, рассмотрены варианты с дополнительной вертикальной связевой фермой посередине пролета на всю длину здания.

При расчете учтены следующие нагрузки: собственный вес конструкций (учтен автоматически программным комплексом по сечениям элементов); вес конструкций кровли (0,45 кПа); снеговая нагрузка (III снеговой район). Для плоского покрытия с небольшим уклоном учтено только равномерное распределение снега на всем пролете. Нагрузка от веса кровли и снега передается на ферму в узлах в местах опирания прогонов.

Уровень ответственности здания повышенный. Расчетная модель здания принята в виде пространственной статически неопределимой системы с шестью степенями свободы. В схеме приложены расчетные значения нагрузок с учетом коэффициента надежности по ответственности $\gamma_n=1,1$. Расчет выполнен с использованием программного комплекса Lira Soft. Марка стали для всех элементов принята С345 по ГОСТ 27772–2015.

На рис. 1 показаны пространственные конечно-элементные модели для покрытия с шагом ферм 12 м со шпренгельными прогонами без и с дополнительной связевой фермой.

Сечения элементов покрытия определены предварительным расчетом и представлены в табл. 1.

Для выбора повреждаемых элементов фермы, исключаемых при расчете прогрессирующего обру-

шения, выполнялся статический расчет неповрежденной схемы. По результатам статического расчета были определены наиболее нагруженные элементы поясов стропильной фермы, исключение которых может вызвать обрушение фермы. Далее рассматривались два варианта повреждения:

- выход из строя элемента верхнего пояса фермы;
- выход из строя элемента нижнего пояса фермы.

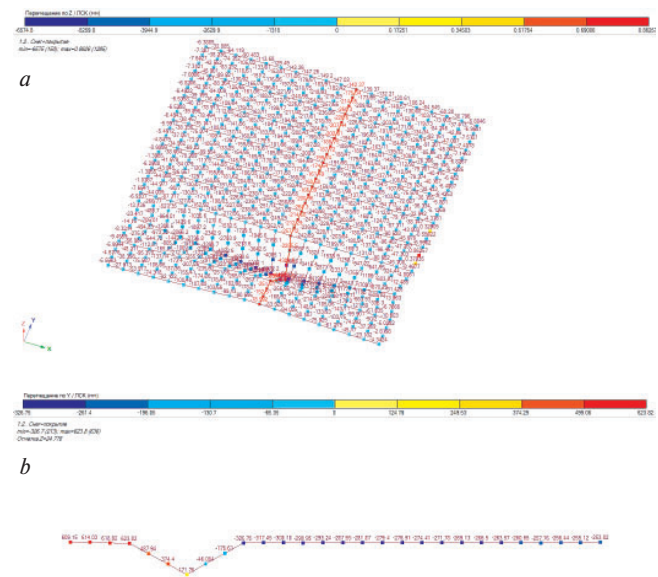


Рис. 2. Перемещения при повреждении верхнего пояса и отсутствии дополнительной связевой фермы, мм: а – перемещения по оси Z; б – перемещения по оси Y

Fig. 2. Displacements in case of damage to the upper belt and the absence of an additional truss, mm: a – movement along the Z axis; b – movement along the Y axis

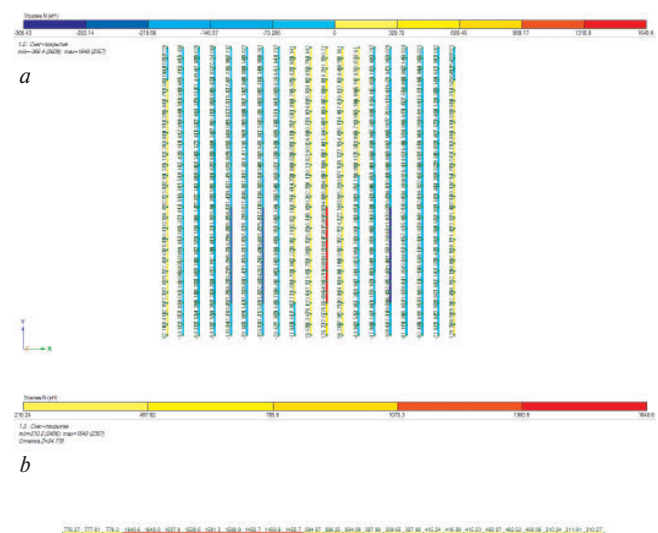


Рис. 3. Продольные усилия в прогонах при повреждении верхнего пояса и отсутствии дополнительной связевой фермы, кН: а – распределение продольных усилий в прогонах покрытия; б – продольные усилия в прогоне над поврежденной фермой

Fig. 3. Longitudinal forces in the purlins in case of damage to the upper belt and the absence of an additional truss, kH: a – distribution of longitudinal forces in the purlins; b – longitudinal forces in the purlin over the damaged truss

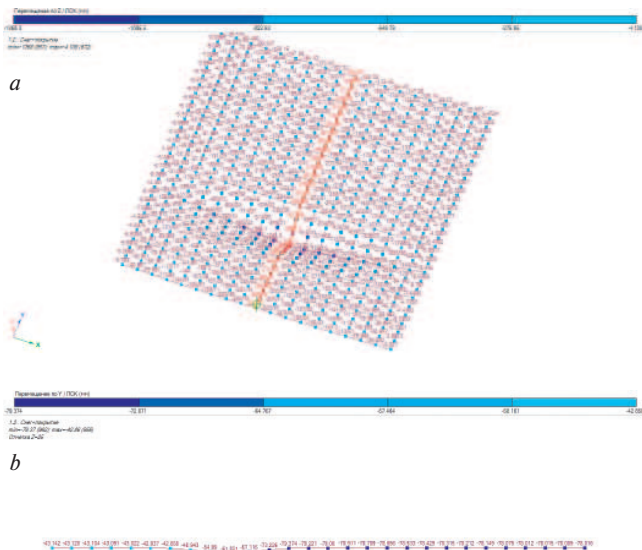


Рис. 4. Перемещения со шпренгельными прогонами при повреждении нижнего пояса и отсутствии дополнительной связевой фермы, мм: а – перемещения по оси Z; б – перемещения по оси Y
Fig. 4. Displacements in case of damage to the lower belt and the absence of an additional truss, mm: а – movement along the Z axis; б – movement along the Y axis

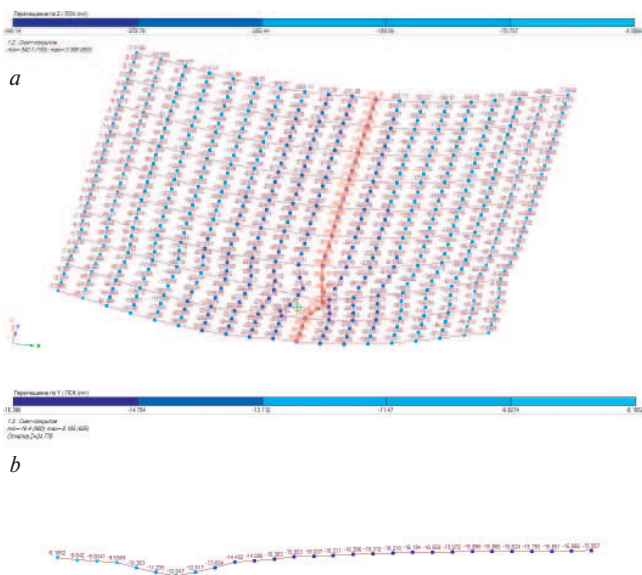


Рис. 6. Перемещения при повреждении верхнего пояса и наличии дополнительной связевой фермы, мм: а – перемещения по оси Z; б – перемещения по оси Y
Fig. 6. Displacements in case of damage to the upper belt with an additional truss, mm: а – movement along the Z axis; б – movement along the Y axis

Последующие расчеты с учетом локальных повреждений выполнялись в квазистатической постановке, но с учетом геометрической нелинейности работы конструкции. Все прикладываемые нагрузки умножались на коэффициент динамичности, рекомендуемый для покрытий пролетом 108 м в соответствии с методикой, изложенной в [21]. Значения коэффициентов динамичности для поврежденных и соседних ферм приведены в табл. 2.



Рис. 5. Продольные усилия в прогонах при повреждении нижнего пояса и отсутствии дополнительной связевой фермы, кН: а – распределение продольных усилий в прогонах покрытия; б – продольные усилия в прогоне над поврежденной фермой
Fig. 5. Longitudinal forces in the purlins in case of damage to the lower belt and the absence of an additional truss, kN: а – distribution of longitudinal forces in the purlins; б – longitudinal forces in the purlin over the damaged truss

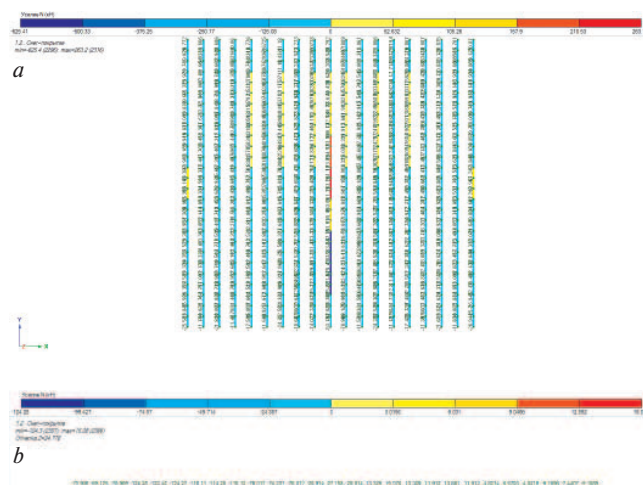


Рис. 7. Продольные усилия в прогонах при повреждении верхнего пояса и наличии дополнительной связевой фермы, кН: а – распределение продольных усилий в прогонах покрытия; б – продольные усилия в прогоне над поврежденной фермой
Fig. 7. Longitudinal forces in the purlins in case of damage to the upper belt and with an additional truss, kN: а – distribution of longitudinal forces in the purlins; б – longitudinal forces in the purlin over the damaged truss

Включение в работу прогонов как вант при повреждении элемента фермы рассматривалось с учетом нелинейной работы конструкций покрытия. Все элементы покрытия моделировались универсальным геометрически нелинейным стержнем, тип конечного элемента 310 КЭ.

Для каждого варианта покрытия были определены максимальные перемещения в узлах и усилия в элементах покрытия, а также выполнена проверка

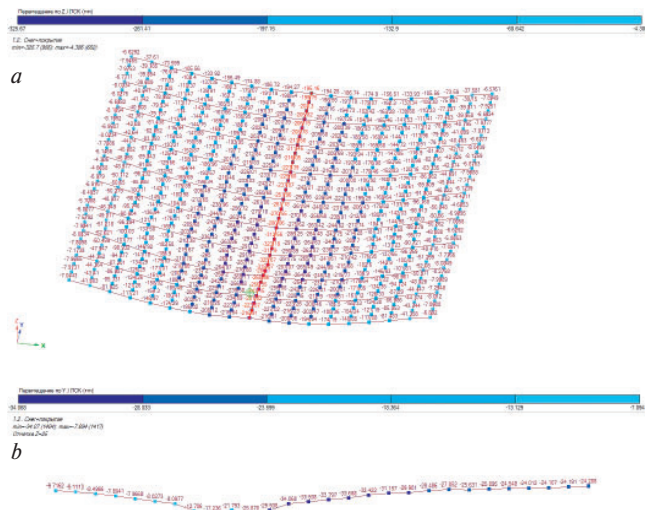


Рис. 8. Перемещения при повреждении нижнего пояса и наличии дополнительной связевой фермы, мм: *a* – перемещения по оси *Z*; *b* – перемещения по оси *Y*

Fig. 8. Displacements in case of damage to the lower belt with an additional truss, mm: *a* – movement along the *Z* axis; *b* – movement along the *Y* axis

элементов по первому предельному состоянию. Результаты расчетов позволили оценить эффективность предложенного конструктивного решения по предотвращению прогрессирующего обрушения покрытия.

Результаты исследования

Для всех рассмотренных вариантов без дополнительной продольной связевой фермы характерно появление больших прогибов в месте повреждения фермы как верхнего, так и нижнего пояса. На рис. 2 показаны вертикальные и горизонтальные в продольном направлении перемещения при повреждении верхнего пояса и отсутствии дополнительной связевой фермы. Стропильные фермы расположены вдоль оси *X*, прогоны – вдоль оси *Y*; красным цветом выделены прогоны, расположенные над местом повреждения.

При повреждении фермы прогоны начинают дополнительно работать на растяжение как ванты. Наибольшие растягивающие усилия возникают в прогоне, расположенном непосредственно в зоне повреждения фермы. На рис. 3 представлены продольные усилия в прогонах при повреждении верхнего пояса и отсутствии дополнительной связевой фермы.

На рис. 4 показаны вертикальные и горизонтальные в продольном направлении перемещения при повреждении нижнего пояса и отсутствии дополнительной связевой фермы. Характерно, что при повреждении нижнего пояса перемещения покрытия в

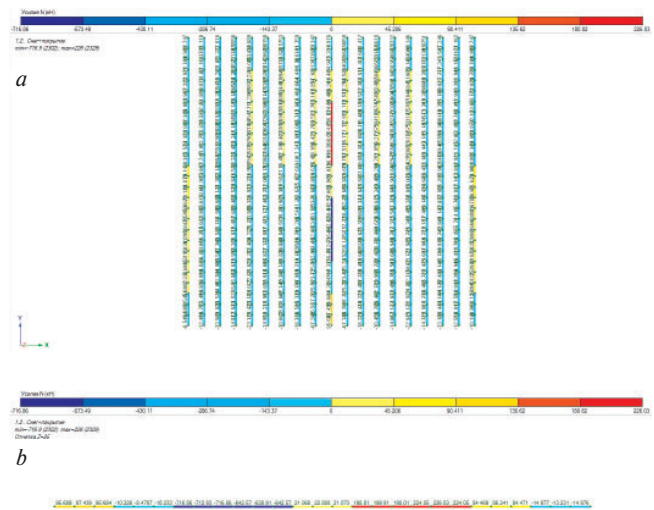


Рис. 9. Продольные усилия в прогонах при повреждении нижнего пояса и наличии дополнительной связевой фермы, кН: *a* – распределение продольных усилий в прогонах покрытия; *b* – продольные усилия в прогоне над поврежденной фермой

Fig. 9. Longitudinal forces in the purlins in case of damage to the lower belt and with an additional truss, kN: *a* – distribution of longitudinal forces in the purlins; *b* – longitudinal forces in the purlin over the damaged truss

месте повреждения заметно меньше для всех вариантов покрытия без дополнительной фермы.

На рис. 5 представлены продольные усилия в прогонах при повреждении нижнего пояса и отсутствии дополнительной связевой фермы.

Необходимо отметить, что наличие неповрежденного верхнего пояса позволяет включить в работу прогоны более равномерно и со значительно меньшими продольными усилиями. Так, максимальные продольные усилия в шпренгельном прогоне в месте повреждения верхнего пояса достигают 1649 кН, а при повреждении нижнего пояса всего 31 кН.

При наличии дополнительной продольной вертикальной связевой фермы создаются более благоприятные условия для работы всех элементов покрытия. Значительно уменьшаются вертикальные перемещения поврежденной фермы и продольные усилия в прогонах. Усилия перераспределяются с поврежденной фермы на соседние без включения в работу прогонов.

На рис. 6 показаны вертикальные и горизонтальные в продольном направлении перемещения при повреждении верхнего пояса и наличии дополнительной связевой фермы.

На рис. 7 представлены продольные усилия в прогонах при повреждении верхнего пояса и наличии дополнительной связевой фермы.

На рис. 8 показаны вертикальные и горизонтальные в продольном направлении перемещения при повреждении нижнего пояса и наличии дополнительной связевой фермы.

Таблица 3
Table 3

Результаты расчета рассмотренных
конструктивных вариантов покрытия
The results of the calculation of the considered
structural options for the coating

Место повреждения	Параметр	Без вертикальной фермы	С вертикальной фермой
Верхний пояс	w , мм	1964,4	260,96
	v , мм	623,82	16,4
	$N_{пр}$, кН	+1648,6	-124,28
	$N_{вп}$, кН	-10248	-6645,2
	$N_{нп}$, кН	+8149,7	+6185,1
Нижний пояс	w , мм	402,4	236,42
	v , мм	79,4	24,3
	$N_{пр}$, кН	+31,3	-716,9
	$N_{вп}$, кН	-7043,2	-6600
	$N_{нп}$, кН	+7896	+6645,1

На рис. 9 представлены продольные усилия в прогонах при повреждении верхнего пояса и наличии дополнительной связевой фермы.

В табл. 3 представлены результаты расчетов рассмотренных конструктивных вариантов при расчете устойчивости большепролетного покрытия к прогрессирующему обрушению при локальном повреждении ферм. В таблице приняты следующие обозначения: w – максимальные вертикальные перемещения в месте повреждения; v – максимальные горизонтальные перемещения в продольном направлении прогона; $N_{пр}$ – максимальные продольные усилия в прогоне над поврежденной фермой; $N_{вп}$ – максимальные продольные усилия в верхнем поясе фермы; $N_{нп}$ – максимальные продольные усилия в нижнем поясе фермы.

Для варианта покрытия со шпренгельными прогонами без дополнительной вертикальной фермы при повреждении верхнего пояса в прогонах над местом повреждения возникают значительные растягивающие усилия. Это позволяет сделать вывод, что прогон в данном случае работает как ванты. Однако возникающие продольные усилия значительно превышают несущую способность прогона. Кроме того, вертикальные перемещения конструкций покрытия при данном варианте повреждения составляют 6574,8 мм, что значительно превосходит предельно допустимый прогиб в соответствии с

СП 385.1325800.2018 п. 5.4 $f_u = l/30 = 3600$ мм. Усилия в элементах фермы также значительно превышают несущую способность заложенных сечений. При повреждении элемента нижнего пояса вертикальные перемещения остаются в пределах допустимых 1368,3 мм. Растягивающие усилия в прогонах над местом повреждения существенно снижаются. При установке дополнительной вертикальной связевой фермы вертикальные прогибы существенно уменьшаются. Кроме того, установка вертикальной фермы способствует более равномерному перераспределению усилий по покрытию в случае повреждения.

На основании полученных результатов численных расчетов можно сделать вывод, что наиболее неблагоприятным вариантом повреждения является выход из строя элемента сжатого пояса фермы. Включение в работу покрытия прогонов как вант возможно при существенном увеличении поперечного сечения прогонов или установке дополнительных связей по покрытию, позволяющих перераспределить усилия с поврежденной фермы на соседние.

Выводы

По результатам выполненных численных исследований различных вариантов покрытий сформулированы следующие выводы.

Изучена возможность включения в работу большепролетного покрытия прогонов как вант при повреждении одного из элементов фермы.

Наиболее неблагоприятным с точки зрения обеспечения несущей способности элементов покрытия является повреждение верхнего пояса фермы. В рассмотренном случае включение в работу покрытия прогонов как вант возможно при существенном увеличении поперечного сечения прогонов либо при установке дополнительных связей по покрытию, позволяющих перераспределить усилия с поврежденной фермы на соседние.

Для эффективного включения в работу прогонов требуется значительно увеличить их сечения, что не всегда рационально с точки зрения металлоемкости конструкции покрытия.

Установка дополнительной вертикальной связевой фермы ведет к существенному уменьшению вертикальных прогибов и позволяет более равномерно перераспределить усилия с поврежденной фермы по покрытию. Прогон в этом случае не включается в работу покрытия.

Список литературы

1. Ведяков И.И., Соловьев Д.В., Коваленко А.И. Вероятностный подход к оценке риска прогрессирующего обрушения // *Промышленное и гражданское строительство*.

References

1. Vedyakov I.I., Solovyev D.V., Kovalenko A.I. A probabilistic approach to evaluating the risk of progressive collapse. *Promyshlennoye i grazhdanskoye*

- данское строительство. 2021. № 10. С. 36–43. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.10.36-43
2. Туснина О.А. Выбор аварийных ситуаций при расчете на прогрессирующее обрушение промышленного здания // *Промышленное и гражданское строительство*. 2021. № 9. С. 60–65. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.09.60-65
 3. Тамразян А.Г. Концептуальные подходы к оценке живучести строительных конструкций, зданий и сооружений // *Железобетонные конструкции*. 2023. Т. 3. № 3. С. 62–74. DOI: 10.22227/2949-1622.2023.3.62-74
 4. Starossek U., Haberland M. Approaches to measures of structural robustness. *Structure and Infrastructure Engineering*. 2011. Vol. 7 (7–8), pp. 625–631. DOI: 10.1080/15732479.2010.501562
 5. Buitrago M., Bertolesi E., Calderón P.A., Adam J.M. Robustness of steel truss bridges: Laboratory testing of a full-scale 21-metre bridge span. *Structures*. 2021. Vol. 29, pp. 691–700. DOI: 10.1016/j.istruc.2020.12.005
 6. Lyu C.H., Gilbert B.P., Guan H., Underhill I.D., Gunalan S., Karampour H. Experimental study on the quasi-static progressive collapse response of post-and-beam mass timber buildings under corner column removal scenarios. *Engineering Structures*. 2021. Vol. 242. 112947. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.112497
 7. Федоров В.С., Меднов Е.А. Влияние исходного напряженно-деформированного состояния и уровня нагружения на возникающий динамический эффект при аварийном разрушении опоры в неразрезных стальных балках // *Строительство и реконструкция*. 2010. № 6. С. 48–52.
 8. Qiao-Ling Fu, Liang Tan, Bin Long and Shao-Bo Kang Numerical investigations of progressive collapse behavior of multi-storey reinforced concrete frames. *Buildings*. 2023. Vol. 13 (2). 533. DOI: 10.3390/buildings13020533
 9. Wang S., Cheng X., Li Y., Song X., Guo R., Zhang H., Liang Z. Rapid visual simulation of the progressive collapse of regular reinforced concrete frame structures based on machine learning and physics engine. *Engineering Structures*. Vol. 286. 116129. DOI: 10.1016/j.engstruct.2023.116129
 10. Qiao H., Xie X., Chen Y. Improvement of progressive collapse resistance for a steel frame system with beam-web opening. *Engineering structures*. Vol. 256. 113995. DOI: 10.1016/j.engstruct.2022.113995
 11. Szyniszewski S., Krauthammer T. Energy flow in progressive collapse of steel framed buildings. *Engineering Structures*. 2012. Vol. 42, pp. 142–153. DOI: 10.1016/j.engstruct.2012.04.014
- stroitel'stvo*. 2021. No. 10, pp. 36–43. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2021.10.36-43
2. Tushina O.A. The choice of emergency situations when calculating the progressive collapse of an industrial building. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2021. No. 9, pp. 60–65. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2021.09.60-65
 3. Tamrazyan A.G. Conceptual approaches to robustness assessment of building structures, buildings and facilities. *Zhelezobetonnye konstrukt-sii*. 2023. No. 3 (3), pp. 62–74. (In Russian). DOI: 10.22227/2949-1622.2023.3.62-74
 4. Starossek U., Haberland M. Approaches to measures of structural robustness. *Structure and Infrastructure Engineering*. 2011. Vol. 7 (7–8), pp. 625–631. DOI: 10.1080/15732479.2010.501562
 5. Buitrago M., Bertolesi E., Calderón P.A., Adam J.M. Robustness of steel truss bridges: Laboratory testing of a full-scale 21-metre bridge span. *Structures*. 2021. Vol. 29, pp. 691–700. DOI: 10.1016/j.istruc.2020.12.005
 6. Lyu C.H., Gilbert B.P., Guan H., Underhill I.D., Gunalan S., Karampour H. Experimental study on the quasi-static progressive collapse response of post-and-beam mass timber buildings under corner column removal scenarios. *Engineering Structures*. 2021. Vol. 242. 112947. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.112497
 7. Fedorov V.S., Mednov E.A. The influence of the initial stress-strain state and the loading level on the dynamic effect occurring in the case of emergency destruction of a support in continuous steel beams. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2010. No. 6, pp. 48–52. (In Russian).
 8. Qiao-Ling Fu, Liang Tan, Bin Long and Shao-Bo Kang Numerical investigations of progressive collapse behavior of multi-storey reinforced concrete frames. *Buildings*. 2023. Vol. 13 (2). 533. DOI: 10.3390/buildings13020533
 9. Wang S., Cheng X., Li Y., Song X., Guo R., Zhang H., Liang Z. Rapid visual simulation of the progressive collapse of regular reinforced concrete frame structures based on machine learning and physics engine. *Engineering Structures*. Vol. 286. 116129. DOI: 10.1016/j.engstruct.2023.116129
 10. Qiao H., Xie X., Chen Y. Improvement of progressive collapse resistance for a steel frame system with beam-web opening. *Engineering structures*. Vol. 256. 113995. DOI: 10.1016/j.engstruct.2022.113995
 11. Szyniszewski S., Krauthammer T. Energy flow in progressive collapse of steel framed buildings. *Engineering Structures*. 2012. Vol. 42, pp. 142–153. DOI: 10.1016/j.engstruct.2012.04.014

12. Ключева Н.В., Федоров В.С. К анализу живучести внезапно повреждаемых рамных систем // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2006. № 3 (205). С. 7–13.
13. Бухтиярова А.С., Колчунов В.И., Прасолов Н.О. Расчет обобщенного параметра живучести железобетонной рамно-стержневой конструктивной системы при внезапной потере устойчивости несущего элемента // *Строительство и реконструкция*. 2013. № 6 (50). С. 9–12.
14. Shoghijavan M., Starossek U. Developing a robustness index for parallel load-bearing systems. *Engineering Structures*. 2021. Vol. 244. 112742. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.112742
15. Tanvir Manzur, Mohammad Hasan Mahmood, Bayezid Baten, Md. Jidan Hasan, Md. Raquibul Hos-sain, Munaz Ahmed Noor and Nur Yazdani. Assessment of progressive collapse proneness of existing typical garment factory buildings in Bangladesh. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2020. Vol. 34 (5).
16. Колчунов В.И., Московцева В.С. Живучесть железобетонных каркасов многоэтажных зданий со сложноподпряженными элементами // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2022. Т. 18. № 3. С. 195–203. DOI: 10.22363/1815-5235-2022-18-3-195-203
17. Алексейцев А.В., Курченко Н.С. Обзор методов и результатов экспериментальных исследований стальных и сталебетонных конструкций при особых воздействиях // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2018. Т. 14. № 3. С. 205–215. DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-3-205-215
18. Серпик И.Н., Алексейцев А.В. Экспериментальные исследования несущей способности пространственных металлических рам // *Вестник МГСУ*. 2012. № 5. С. 40–44.
19. Арутюнян Г.А. Защищенность блоков покрытий промышленных зданий с поврежденными несущими конструкциями от прогрессирующего обрушения // *Вестник МГСУ*. 2015. № 9. С. 16–27.
20. Еремин К.И., Матвеевский С.А., Арутюнян Г.А. Методика экспериментальных исследований блоков покрытий промышленных зданий при аварийных воздействиях // *Вестник МГСУ*. 2015. № 12. С. 34–46.
21. Туснин А.Р., Бергер М.П. Коэффициенты динамичности для большепролетных ферм с локальными разрушениями // *Промышленное и гражданское строительство*. 2023. № 5. С. 17–24. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.05.17-24
12. Klueva N.V., Fedorov V.S. To the analysis of survivability of suddenly damaged frame systems. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii*. 2006. No. 3 (205), pp. 7–13.
13. Buhtiyarova A.S., Kolchunov V.I., Prasolov N.O. Calculation of the generalized parameter of survivability of a reinforced concrete frame-rod structural system in the event of a sudden loss of stability of a bearing element. *Stroitelstvo i reconstructcia*. 2013. No. 6 (50), pp. 9–12. (In Russian).
14. Shoghijavan M., Starossek U. Developing a robustness index for parallel load-bearing systems. *Engineering Structures*. 2021. Vol. 244. 112742. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.112742
15. Tanvir Manzur, Mohammad Hasan Mahmood, Bayezid Baten, Md. Jidan Hasan, Md. Raquibul Hos-sain, Munaz Ahmed Noor and Nur Yazdani. Assessment of progressive collapse proneness of existing typical garment factory buildings in Bangladesh. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2020. Vol. 34 (5).
16. Kolchunov V.I., Moskovtseva V.S. Survivability of reinforced concrete frames of multi-storey buildings with complex stress elements. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksii i sooruzhenii*. 2022. No. 18 (3), pp. 195–203. (In Russian). DOI: 10.22363/1815-5235-2022-18-3-195-203
17. Alekseytsev A.V., Kurchenko N.S. Review of methods and results of experimental investigations of steel and steel concrete structures under special impact. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksii i sooruzhenii*. 2018. No. 14 (3), pp. 205–215. (In Russian). DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-3-205-215
18. Serpik I.N., Alekseytsev A.V. Experimental study of the bearing capacity of spatial metal frames. *Vestnik MGSU*. 2012. No. 5, pp. 40–44. (In Russian).
19. Arutyunyan G.A. Protection of pavement blocks of industrial buildings with damaged load-bearing structures from progressive collapse. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 9, pp. 16–27. (In Russian).
20. Yeremin K.I., Matveyushkin S.A., Arutyunyan G.A. Methodology for experimental studies of coating blocks of industrial buildings under emergency impacts. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 12, pp. 34–46. (In Russian).
21. Tusnin A.R., Berger M.P. Dynamic coefficients for quasi-static analysis of large-span trusses with local failures. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2023, No. 5, pp. 17–24. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2023.05.17-24

УДК 624

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-32-36>

Т.А. МАЦЕЕВИЧ, д-р физ.-мат. наук (MatseevichTA@mgsu.ru),
Л.В. КИРЬЯНОВА, канд. физ.-мат. наук (KiryanovaLV@mgsu.ru),
В.А. СМИРНОВ, канд. техн. наук (VASmirnov@mgsu.ru),

П.С. ИВАНОВ, старший преподаватель кафедры Высшей математики (IvanovPS@mgsu.ru)

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Оптимизация параметров вязкоупругой модели элементов конструкций из композитных материалов на основе экспериментальных данных

По результатам проведенных испытаний изгибаемых балок, выполненных из различных вязкоупругих композитных материалов, подобраны оптимальные значения α -порядков дробной производной, входящей в дифференциальное уравнение реологической вязкоупругой модели. Подбор осуществлен с помощью трех характеристик отклонения. Предложен новый метод нахождения оптимальных значений параметров c и λ уравнения с дробной производной, позволяющие использовать это уравнение в качестве математической модели эксперимента. Все расчеты проведены с помощью специально написанной программы на языке Python. Показано, что полученные аналитические решения воздействия приложенной силы и отклика конструкции из различных композитных материалов дают удовлетворительную сходимость.

Ключевые слова: конструкции, композитные материалы, оператор дробного дифференцирования, математические модели, вязкоупругость.

Для цитирования: Мацеевич Т.А., Кирьянова Л.В., Смирнов В.А., Иванов П.С. Оптимизация параметров вязкоупругой модели элементов конструкций из композитных материалов на основе экспериментальных данных // *Жилищное строительство*. 2023. № 11. С. 32–36. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-32-36>

T.A. MATSEEVICH, Doctor of Sciences (Physico-mathematical) (MatseevichTA@mgsu.ru);
L.V. KIRYANOVA, Candidate of Sciences (Physico-mathematical) (KiryanovaLV@mgsu.ru);
V.A. SMIRNOV, Candidate of Sciences (Engineering) (VASmirnov@mgsu.ru),
P.S. IVANOV, Senior Lecturer, Department of Higher Mathematics (IvanovPS@mgsu.ru)

National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Optimization of Parameters of a Viscoelastic Model of Elements of Structures Made from Composite Materials Based on Experimental Data

Based on the results of the tests carried out on the bent beams made of various viscoelastic composite materials, the optimal values of the α -orders of the fractional derivative included in the differential equation of the rheological viscoelastic model were selected. The selection was carried out using three deviation characteristics. A new method is proposed for finding the optimal values of the parameters of an equation with a fractional derivative c and λ , which allow using this equation as a mathematical model of the experiment. All calculations were carried out using a specially written program in Python. It is shown that the obtained analytical solutions of the impact of the applied force and the response of a structure made of various composite materials give satisfactory convergence.

Keywords: construction, composite materials, fractional differentiation operator, mathematical models, viscoelasticity.

For citation: Matseevich T.A., Kiryanova L.V., Smirnov V.A., Ivanov P.S. Optimization of parameters of a viscoelastic model of elements of structures made from composite materials based on experimental data. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 11, pp. 32–36. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-32-36>

Вязкоупругие композитные материалы активно используются в различных областях строительства, в том числе при расчете железобетонных конструкций [1]. Например, рассчитывается динамическая устойчивость сжатого железобетонного элемента, выполняющего функцию вязкоупругого стержня [2]. Для построения математических моделей вязкоупругой модели элементов конструкций из композитных материалов в настоящее время применяют дифференциальные уравнения, содержащие дробную производ-

ную. Подробное изложение основных теоретических положений теории дробного исчисления и разнообразные примеры практического применения приведены в [3]. Применению дифференциальных уравнений с дробной производной при построении моделей физических процессов посвящены монографии [4–6]. Подробный обзор вязкоупругих моделей с дробной производной в их историческом развитии дан в [7].

Наряду с прямыми задачами – изучения свойств решений дифференциальных уравнений, содержа-

щих дробную производную, актуальной всегда является и обратная задача – определение того, какой вид уравнения является наилучшей математической моделью изучаемого процесса на основе экспериментальных данных. В частности, задаче подбора порядка дробной производной, входящей в дифференциальные уравнения, используемые в качестве реологических моделей, посвящены работы [8–13].

Материалы и методы

Проведены испытания на образцах-балочках $100 \times 40 \times 40$ мм, выполненных из различных композитных материалов:

- деревянная мука + полиуретановый клей (с разным процентным содержанием);
- полиуретановый клей (20% по массе) + комбинация (50/50) из мелкого и крупного щебня;
- полиуретановый клей + крупный щебень (с разным процентным содержанием);
- полиуретановый клей + мелкий щебень (с разным процентным содержанием).

Динамические характеристики материалов определяли по результатам экспериментального модального анализа, выполненного импульсным методом с неприсоединенным вибровозбудителем (ударным молотком). При каждом испытании отбирали образцы и устанавливали их на две свободные опоры, расположенные на расстоянии 80 мм друг от друга.

Испытания проводили по методике ГОСТ ИСО 7626-5-99. Возмущение создавали, возбуждая ударным молотком колебания балки (прикладывая пять последовательных импульсов в каждой точке расположения датчиков ускорений), шарнирно закрепленной на опорах. Регистрировали параметры входного воздействия: приложенной силы и отклика конструкции; ускорений в характерных точках (середина, четверть пролета), как показано на рис. 1 для одного из вариантов динамических испытаний.

Рассмотрим дифференциальное уравнение, содержащее оператор дробного порядка, применяемое в качестве модели вязкоупругости (Linear Fractionally Damped Oscillator). Уравнение такого вида используют в работах [12, 14–18] при моделировании деформационно-прочностных характеристик различных вязкоупругих материалов. Это уравнение второго порядка, содержащее дробную производную порядка ниже второго:

$$y''(t) + cD_{0+}^{\alpha}y(t) + \lambda y(t) = f(t); t \in [0; T]. \quad (1)$$

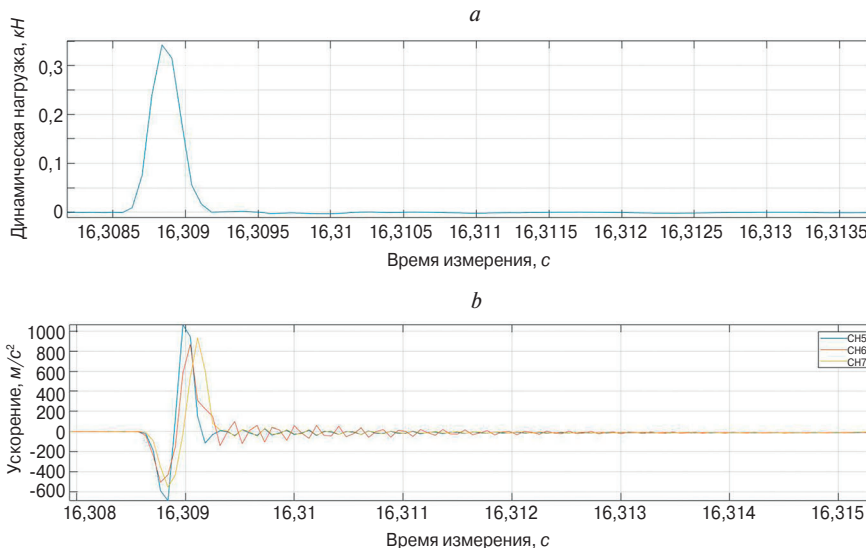


Рис. 1. Зависимость приложенной силы (а) и измеренного ускорения (б) испытуемого образца от времени

Fig. 1. Dependence of the applied force (a) and measured acceleration (b) of the test sample on time

Здесь $y(t)$ – перемещение фиксированной точки (вязкоупругого материала) в момент времени t ; $f(t)$ – функция, характеризующая внешнее воздействие; $D_{0+}^{\alpha}y(t)$ – оператор дробного дифференцирования Герасимова–Капуто порядка α : $c > 0$; $\lambda > 0$, $\alpha \in (0; 2)$; постоянные величины: c – модуль вязкости материала; λ – модуль жесткости материала; α – параметр вязкоупругости материала.

Производные (оператор дробного дифференцирования) Герасимова–Капуто [19] определяют следующим образом:

при $1 < \alpha < 2$

$$D_{0+}^{\alpha}y(t) = \frac{1}{\Gamma(2-\alpha)} \int_0^t (x-\tau)^{1-\alpha} y''(\tau) d\tau;$$

при $0 < \alpha < 1$

$$D_{0+}^{\alpha}y(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \int_0^t (x-\tau)^{-\alpha} y'(\tau) d\tau.$$

Здесь и далее Γ – гамма-функция Эйлера.

Зададим краевые условия:

$$y(0) = 0; y(T) = 0. \quad (2)$$

Прямая задача (1)–(2) состоит в отыскании решения $y(t)$; $t \in [0; T]$, удовлетворяющего уравнению (1) при известных параметрах c , λ , α , функции $f(t)$ и краевым условиям (2). Обратную задачу можно сформулировать различными способами.

Рассмотрим следующую формулировку. Если в результате эксперимента стали известны две функции – правая часть уравнения (1) – $f(t)$ и решение уравнения – $y(t)$, для которых выполнены условия (2), то необходимо определить оптимальное значение параметров уравнения c , λ , α , чтобы само уравнение

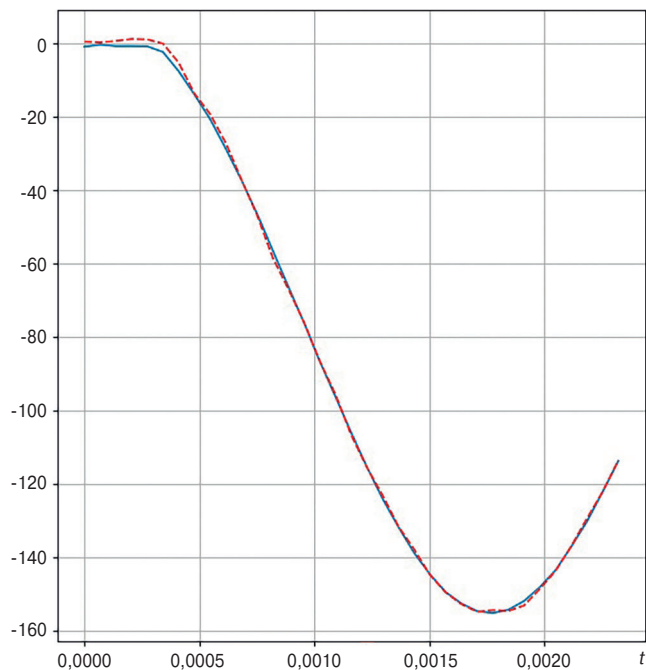


Рис. 2. Графики функций $f(t)$ и $g(t)$ для первого испытания
Fig. 2. Graphs of functions $f(t)$ and $g(t)$ for the first test

можно было рассматривать в качестве математической модели эксперимента.

Введем в рассмотрение функцию невязки:

$$Q(c, \lambda, \alpha) = \int_0^T (y''(t) + cD_{ot}^\alpha y(t) + \lambda y(t) - f(t))^2 dt.$$

Найдем точку минимума этой функции трех переменных. Сначала раскроем квадрат в выражении для функции $Q(c, \lambda, \alpha)$:

$$Q(c, \lambda, \alpha) = \int_0^T [D_{ot}^\alpha y(t)]^2 dt + 2c\lambda \int_0^T y(t) \cdot D_{ot}^\alpha y(t) dt + \lambda^2 \int_0^T [y(t)]^2 dt + 2c \int_0^T [y''(t) - f(t)] \cdot D_{ot}^\alpha y(t) dt + 2\lambda \int_0^T [y''(t) - f(t)] \cdot y(t) dt + \int_0^T [y''(t) - f(t)]^2 dt.$$

Далее введем следующие обозначения:

$$b_{11} = \int_0^T [D_{ot}^\alpha y(t)]^2 dt; \quad b_{12} = \int_0^T y(t) \cdot D_{ot}^\alpha y(t) dt;$$

$$b_{13} = \int_0^T [y''(t) - f(t)] \cdot D_{ot}^\alpha y(t) dt;$$

$$b_{22} = \int_0^T [y(t)]^2 dt; \quad b_{23} = \int_0^T [y''(t) - f(t)] \cdot y(t) dt;$$

$$b_{33} = \int_0^T [y''(t) - f(t)]^2 dt.$$

Отметим, что величины b_{11} , b_{12} , b_{13} зависят от α (порядка дробной производной), а величины b_{22} , b_{23} , b_{33} – не зависят.

С учетом введенных обозначений функция $Q(c, \lambda, \alpha)$ примет вид:

$$Q(c, \lambda, \alpha) = c^2 b_{11} + 2c\lambda b_{12} + 2cb_{13} + \lambda^2 b_{22} + 2\lambda b_{23} + b_{33}.$$

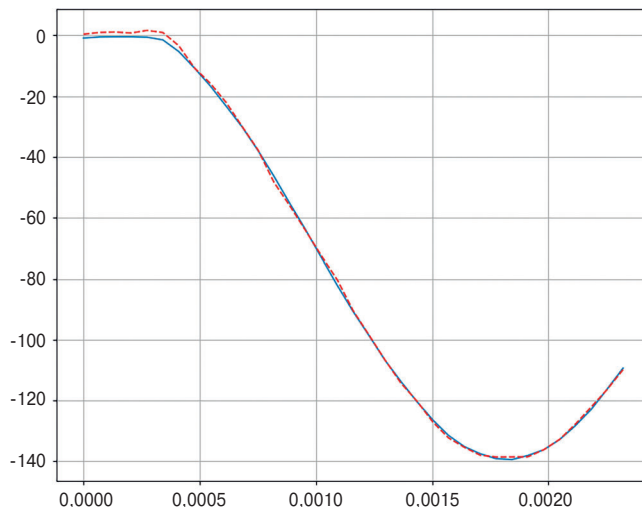


Рис. 3. Графики функций $f(t)$ и $g(t)$ для второго испытания
Fig. 3. Graphs of functions $f(t)$ and $g(t)$ for the second test

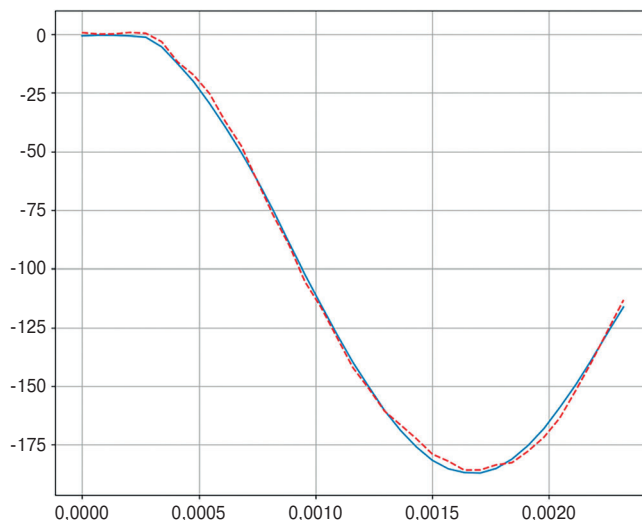


Рис. 4. Графики функций $f(t)$ и $g(t)$ для третьего испытания
Fig. 4. Graphs of functions $f(t)$ and $g(t)$ for the third test

Итак, функция $Q(c, \lambda, \alpha)$ является квадратичной относительно переменных c, λ . Для отыскания стационарной точки функции относительно этих переменных сначала найдем частные производные:

$$\frac{\partial Q}{\partial c} = 2cb_{11} + 2\lambda b_{12} + 2b_{13}; \quad \frac{\partial Q}{\partial \lambda} = 2cb_{12} + 2\lambda b_{22} + 2b_{23}.$$

Приравнявая частные производные нулю, получаем линейную относительно c, λ систему:

$$\begin{cases} cb_{11} + \lambda b_{12} = -b_{13} \\ cb_{12} + \lambda b_{22} = -b_{23}. \end{cases}$$

Решение системы:

$$c = \frac{\Delta_c}{\Delta}; \quad \lambda = \frac{\Delta_\lambda}{\Delta}. \quad (3)$$

Здесь использовано решение по формулам Крамера с определителями:

$$\Delta = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{12} & b_{22} \end{vmatrix}; \Delta_c = \begin{vmatrix} -b_{13} & b_{12} \\ -b_{23} & b_{22} \end{vmatrix}; \Delta_\lambda = \begin{vmatrix} b_{11} & -b_{13} \\ b_{12} & -b_{23} \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Каждый из определителей зависит от порядка дробной производной α . Поэтому получена формула для целого семейства точек, среди которых можно найти ту, в которой достигается минимум функции Q .

Результаты

Для реализации указанного подхода к решению обратной задачи были использованы следующие разностные схемы, как и в [20], при вычислении значений дробной производной. Если разбить отрезок $[0; T]$ на N равных частей:

$$t_0 = 0; t_k = k \cdot h; k = 0; 1; \dots; N; h = \frac{T}{N},$$

то эмпирическое значение дробной производной при $t = t_j$ равно:

при $\alpha \in (1; 2)$:

$$D_{\text{от}}^\alpha Y = \frac{h^{2-\alpha}}{\Gamma(3-\alpha)} \sum_{k=1}^j \frac{y''(t_k) - y''(t_{k-1})}{2} \cdot [(n-k+1)^{2-\alpha} - (n-k)^{2-\alpha}];$$

при $\alpha \in (0; 1)$:

$$D_{\text{от}}^\alpha Y = \frac{1}{h^\alpha \Gamma(2-\alpha)} \sum_{k=1}^j [y(t_k) - y(t_{k-1})] \cdot [(n-k+1)^{1-\alpha} - (n-k)^{1-\alpha}].$$

В качестве исходных данных использованы значения ускорения Y_j'' (м/с²) в фиксированной точке образца в последовательные моменты времени t_j (частота дискретизации 14648 Гц) и приложенная в начальный момент времени нагрузка F_j (Н), т. е. массив: $\{(t_j; Y_j''; F_j)\}_{j=1;35}$ размера 3 на 35 и методом численного интегрирования были рассчитаны эмпирические значения перемещения точки материала Y_j в каждый рассматриваемый момент времени t_j .

Первым этапом были найдены значения параметров c и λ для каждого значения параметра α из интервала $\alpha \in (0; 2)$ с шагом $\Delta\alpha = 0,01$.

Вторым этапом были вычислены три характеристики:

Значения оптимальных параметров уравнения с дробной производной и характеристик отклонения для трех испытаний
Values of optimal parameters of the fractional derivative equation and deviation characteristics for three tests

Значение параметров	$c_{\text{опт}}$	$\lambda_{\text{опт}}$	$\alpha_{\text{опт}}$	σ^2	A	$E, \%$
Испытание 1	80,48	22608655,64	1,39	0,047	0,0017	0,81
Испытание 2	41,79	23935154,79	1,48	0,048	0,0018	0,956
Испытание 3	30,56	20641795,82	1,44	0,109	1,768	1,842

Среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma^2 = \sum_{j=1}^{35} h(Y_j'' + cD_{\text{от}}^\alpha Y + \lambda Y_j - F_j)^2.$$

Абсолютное отклонение:

$$A = \sum_{j=1}^{35} h|Y_j'' + cD_{\text{от}}^\alpha Y + \lambda Y_j - F_j|.$$

Относительное отклонение в процентах:

$$E = \frac{\sum_{j=1}^{35} h|Y_j'' + cD_{\text{от}}^\alpha Y + \lambda Y_j - F_j|}{\sum_{j=1}^{35} F_j}.$$

Третьим этапом выбиралось такое значение порядка дробной производной, при котором достигался минимум, по возможности одновременно на трех указанных характеристиках. Во всех приведенных далее примерах это оказалось возможным. Полученные результаты представлены в таблице.

Все расчеты были проведены с помощью специально написанной программы на языке Python. На рис. 2–4 визуализированы произведенные расчеты с помощью Python. Изображены две функции: сплошной линией изображена заданная функция $f(t)$ (внешнее воздействие на образец) и пунктирной линией изображена функция $g(t)$, найденная по результатам решения обратной задачи:

$$g(t) = y''(t) + c_{\text{опт}} D_{\text{от}}^{\alpha_{\text{опт}}} y(t) + \lambda_{\text{опт}} y(t). \quad (5)$$

Выводы

Проведены испытания на изгибаемых балках, выполненных из различных композитных материалов.

На основе полученных экспериментальных данных подобраны оптимальные значения α -порядков дробной производной, входящей в дифференциальное уравнение реологической вязкоупругой модели. Подбор осуществлен с помощью трех характеристик отклонения.

Предложен новый метод нахождения оптимальных значений параметров c и λ уравнения с дробной производной, позволяющие использовать его в качестве математической модели эксперимента. Все расчеты проведены с помощью специально написанной программы на языке Python. Полученные аналитические решения воздействия приложенной силы и отклика конструкции из различных композитных материалов дают удовлетворительную сходимость.

Список литературы / References

1. Тамразян А.Г., Хетагуров А.Т., Есяян С.Г. Расчет стареющих вязкоупругих тел моделированием их реологических характеристик // *Сейсмостойкое*

- строительство. *Безопасность сооружений*. 2002. № 2. С. 34–37.
1. Tamrazyan A.G., Khetagurov A.T., Esayan S.G. Calculation of aging viscoelastic bodies by modeling their rheological characteristics. *Seismostoitkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii*. 2002. No. 2, pp. 34–37. (In Russian).
 2. Тамразян А.Г. Динамическая устойчивость сжатого железобетонного элемента как вязкоупругого стержня // *Вестник МГСУ*. 2011. № 1–2. С. 193–196.
 2. Tamrazyan A.G. Dynamik stability of the compressed reinforced concrete element as viscoelastic bar. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 1–2, pp. 193–196. (In Russian).
 3. Handbook of Fractional Calculus with Applications. *De Gruyter. Series ed. Tenreiro Machado J.A.* 2019. Vol. 1–8.
 4. Тарасов В.Е. Модели теоретической физики с интегродифференцированием дробного порядка. М.; Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. 568 с.
 4. Tarasov V.E. Modeli teoreticheskoi fiziki s integro-differentsirovaniem drobnogo poryadka [Models of theoretical physics with fractional order integro-differentiation]. M. Izhevsk: Institute of Computer Science. 2010. 568 p.
 5. Atanacković T.M., Pilipović S., Stanković B., Zorica D. Fractional Calculus with Applications in Mechanics: Wave Propagation, Impact and Variational Principles. London: Wiley. 2014. 406 p.
 6. Sandev T., Tomovski Z., Fractional Equations and Models: Theory and Applications. Berlin: Springer. 2019. 363 p.
 7. Shitikova M.V., Krusser A.I. Models of viscoelastic materials: A review on historical development and formulation. *Advanced Structured Materials*. 2022. Vol. 175. pp. 285–326. DOI: 10.1007/978-3-031-04548-6_14
 8. Shabani M., Jahani K., Di Paola M., Sadeghi M.H. Frequency domain identification of the fractional Kelvin-Voigt's parameters for viscoelastic materials. *Mechanics of Materials*. 2019. Vol. 137. 103099. DOI: 10.1016/j.mechmat.2019.103099
 9. Lagos-Varas M., Movilla-Quesada D., Arenas J.P., Raposeiras A.C., Castro-Fresno D., Calzada-Pérez M.A., Vega-Zamanillo A., Maturana J. Study of the mechanical behavior of asphalt mixtures using fractional rheology to model their viscoelasticity. *Const. Build. Mat.* 2019. Vol. 200, pp. 124–134. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.12.073
 10. Wang Y., Harris J.M. Seismic attenuation models: multiple and fractional generalizations. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*. 2020, pp. 2754–2758. DOI: 10.1190/segam2020-3421172.1
 11. Popov I.I., Shitikova M.V., Levchenko A.V., Zhukov A.D. Experimental identification of the fractional parameter of the fractional derivative standard linear solid model for fiber-reinforced rubber concrete. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*. 2023. DOI: 10.1080/15376494.2023.2191600
 12. Ерохин С.В., Алероев Т.С. Параметрическая идентификация порядка дробной производной в модели Бегли–Торвика // *Математическое моделирование*. 2018. Т. 30. № 7. С. 93–102. DOI: 10.1134/S2070048219020030
 12. Erokhin S.V., Aleroev T.S. Parametric identification of the order of a fractional derivative in the Begley–Torvik model. *Math. Model.* 2018. Vol. 30. No. 7, pp. 93–102. (In Russian). DOI: 10.1134/S2070048219020030
 13. Xu Y., Guo Y.-Q., Huang X.-H., Dong Y.-R., Hu Z.-W., Kim J. Experimental and theoretical investigation of viscoelastic damper by applying fractional derivative method and internal variable theory. *Buildings*. 2023. Vol. 13 (1). 239. DOI: 10.3390/buildings13010239
 14. Bagley R.L., Torvi, P.J. On the fractional calculus model of viscoelastic behavior. *J. Rheol.* 1986. Vol. 30, pp. 133–155. DOI: 10.1122/1.549887
 15. Caputo M. Vibrations of an infinite viscoelastic layer with a dissipative memory. *Journal of the Acoustical Society*. 1974. Vol. 56, pp. 897–904. DOI: 10.1121/1.1903344
 16. Ingman D., Suzdalnitsky J. Control of damping oscillations by fractional differential operator with time-dependent order. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2004. No. 193. Vol. 52, pp. 5585–5595. DOI: 10.1016/j.cma.2004.06.029
 17. Naber M. Linear fractionally damped oscillator. *International Journal of Differential Equations*. 2010. Vol. 2010. 197020. DOI: 10.1155/2010/197020
 18. Kiryanova L.V., Matseevich T. Sturm-Liouville problem with mixed boundary conditions for a differential equation with a fractional derivative and its application in viscoelasticity models. *Axioms*. 2023. Vol. 12. No. 8. P. 779. DOI: 10.3390/axioms12080779
 19. Podlubny I. Fractional differential equations. An introduction to fractional derivatives, fractional differential equations, to methods of their solution and some of their applications. London: Academic Press. 1999. 340 p.
 20. Кирьянова Л.В. Разностная схема для неоднородной модели Бегли–Торвика // *Вестник Академии наук Чеченской Республики*. 2020. № 1. Т. 48. С. 14–18. DOI: 10.25744/vestnik.2020.48.1.002
 20. Kiryanova L.V. Difference scheme for the inhomogeneous Begley-Torvik model. *Vestnik of the Academy of Sciences of the Chechen Republic*. 2020. No. 1. Vol. 48, pp. 14–18. (In Russian). DOI: 10.25744/vestnik.2020.48.1.002

УДК 624.154

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-37-43>

А.З. ТЕР-МАРТИРОСЯН, д-р техн. наук, профессор кафедры Механики грунтов и геотехники (gic-mgsu@mail.ru), В.В. СИДОРОВ, канд. техн. наук, доцент кафедры МГиГ НИУ МГСУ, старший научный сотрудник НОЦ «Геотехника им. З.Г. Тер-Мартirosяна» (vitsid@mail.ru), А.С. АЛМАКАЕВА, младший научный сотрудник НОЦ «Геотехника им. З.Г. Тер-Мартirosяна» (totilas96@mail.ru)

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Графоаналитический метод расчета осадки сваи в многослойном массиве с учетом отрыва и проскальзывания сваи по грунту

Предложено графоаналитическое решение задачи о взаимодействии одиночной сваи с трехслойным грунтовым основанием для определения осадки с учетом возможности относительного смещения сваи по грунту. Предлагаемый метод подразумевает определение компонент напряженно-деформированного состояния грунта на основании упругого аналитического решения и введение критериев прочности по боковой поверхности и по низу сваи для учета нелинейной работы грунта. После исчерпания несущей способности на некотором участке сваи происходит выключение этого участка из последующей работы, при этом предполагается, что свая может перемещаться и проскальзывать по грунту, а дальнейшая прикладываемая нагрузка будет перераспределяться на другие участки сваи, где резерв несущей способности грунта еще не был исчерпан. Для верификации предлагаемого графоаналитического решения в работе выполнен сравнительный анализ с численным методом, выполненным в упругопластической постановке в геотехническом программном комплексе Plaxis 2d. По результатам выполненных расчетов построены графики зависимости осадок от нагрузок, сделаны выводы о возможности применения графоаналитического метода при учете нескольких слоев грунтов с различными физико-механическими свойствами и предложены перспективы дальнейшего развития и совершенствования графоаналитического метода.

Ключевые слова: свая, взаимодействие сваи с грунтом, отрыв сваи, проскальзывание сваи, численное решение, графоаналитическое решение, касательные напряжения, осадка сваи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках реализации научного проекта по гранту РФФ № 23-29-00798 на проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований по теме «Взаимодействие одиночной сваи с грунтовым массивом с учетом их относительного смещения».

Для цитирования: Тер-Мартirosян А.З., Сидоров В.В., Алмакаева А.С. Графоаналитический метод расчета осадки сваи в многослойном массиве с учетом отрыва и проскальзывания сваи по грунту // *Жилищное строительство*. 2023. № 11. С. 37–43. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-37-43>

A.Z. TER-MARTIROSYAN, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Soil Mechanics and Geotechnics (gic-mgsu@mail.ru), V.V. SIDOROV, Candidate of Sciences (Engineering), Docent of the Department MGIG NIU MGSU, Research Center "Geotechnics named after Z.G. Ter-Martirosyan", A.S. ALMAKAEVA, Junior Researcher of Research Center "Geotechnics named after Z.G. Ter-Martirosyan" (totilas96@mail.ru) National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation)

Graphic-Analytical Method for Calculating the Settlement of a Pile in a Multilayer Array, Taking into Account the Detachment and Slipping of the Pile Along the Ground

A graph-analytical solution to the problem of interaction of a single pile with a three-layer soil base is proposed to determine the settlement, taking into account the possibility of relative displacement of the pile by the soil. The proposed method involves the determination of the components of the stress-strain state of the soil on the basis of the elastic analytical solution and the introduction of strength criteria along the lateral surface and on the bottom of the pile to account for the nonlinear operation of the soil. After exhaustion of bearing capacity in a certain section of the pile, this section is switched off from further work, it is assumed that the pile can move and slip on the soil, and further applied load will be redistributed to other sections of the pile, where the reserve of bearing capacity of the soil has not yet been exhausted. In order to verify the proposed graph-analytical solution, a comparative analysis with the numerical method performed in the elastic-plastic formulation in the geotechnical software package Plaxis 2d was performed. Based on the results of the performed calculations, graphs of the dependence of settlements on loads were plotted, conclusions were drawn about the possibility of using the graph-analytical method when considering several layers of soils with different physical and mechanical properties, and prospects for further development and improvement of the graph-analytical method were proposed.

Keywords: pile, pile-soil interaction, pile detachment, pile slippage, numerical solution, graph-analytical solution, shear stresses, pile settlement.

The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation as part of the implementation of a scientific project under the Russian Science Foundation grant No. 23-29-00798 for fundamental scientific research and exploratory scientific research on the topic "Interaction of a single pile with a soil mass, taking into account their relative displacement".

For citation: Ter-Martirosyan A.Z., Sidorov V.V., Almakaeva A.S. Graphic-analytical method for calculating the settlement of a pile in a multilayer array, taking into account the detachment and slipping of the pile along the ground. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 11, pp. 37–43. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-37-43>

Основными задачами при проектировании свайных фундаментов являются задачи по определению несущей способности и осадки свай. Для их определения необходимо оценить напряженно-деформированное состояние (НДС) грунта вокруг свай. Однако на него оказывает влияние большое количество факторов, начиная от свойств грунтов и заканчивая технологией устройства свай. При этом одним из важнейших факторов, который стоит учитывать при проектировании, является характер распределения нагрузки по длине свай. При приложении нагрузки на сваю первой в работу включается боковая поверхность, и лишь небольшая часть нагрузки воспринимается грунтом под нижним концом свай. При росте нагрузок увеличиваются зоны, где происходит постепенное истощение несущей способности грунта вдоль боковой поверхности свай, что приводит к перераспределению нагрузок на другие участки свай, где остался резерв несущей способности, до тех пор пока не произойдет срыв свай [1]. Описанный механизм распределения нагрузки подтверждается натурными экспериментами: величина распределяемой нагрузки уменьшается к низу свай, и на ее пяту приходится не более 30% от прикладываемой на оголовки свай нагрузки, т. е. большую часть берет на себя боковая поверхность [2].

Экспериментальные исследования показывают, что, как правило, сваи проектируются с большим запасом. Осадки свай, которые были определены на основании действующей нормативной документации по проектированию свайных фундаментов, превышают фактические на 30–50% [3], что приводит к удорожанию строительства. Однако даже использование численных методов определения осадки свай зачастую приводит к завышению осадок свайных фундаментов [4, 5].

Одним из интересных и перспективных методов для расчета осадки свай является графоаналитический метод, который позволяет не только учесть механизм распределения прикладываемых на сваю нагрузок, но и нелинейное деформирование грунтов за счет введения критериев прочности. Впервые он был описан и апробирован в двух диссертационных работах. П.В. Струниным [6] была рассмотрена работа грунтоцементной сваи в однослойном грунтовом массиве, более подробно графоаналитический метод исследован в работе В.В. Сидорова [7] на примере одиночной длинной барреты конечной жесткости. Сравнение графиков «нагрузка–осадка», полученных на основании графоаналитического и численного решений, показало хорошую сходимость, однако стоит отметить, что в обоих исследованиях не учитывалась прочность грунта под пятой свай, что можно считать большим допущением, так как это дает свае возмож-

ность воспринимать большую нагрузку, не доходя до срыва. Кроме того, после истощения несущей способности на некотором участке боковой поверхности сваи он не выключался из работы, а продолжал воспринимать нагрузку. В работах [8, 9] рассмотрена аналитическая задача о взаимодействии одиночной сваи с неоднородным массивом грунта, где под пятой сваи вводился критерий прочности.

На основании вышеизложенного цель данной работы – дальнейшее развитие и усовершенствование графоаналитического метода. Для этого предлагается решение задачи о взаимодействии одиночной сваи с многослойным грунтовым массивом, позволяющее учесть нелинейную работу грунта по боковой поверхности и под пятой свай, а также возможность ее отрыва и проскальзывания после достижения предельной прочности грунта, прилегающего к боковой поверхности сваи. Кроме того, перспективой развития графоаналитического метода также является применение его другими авторами для расчета осадок свай [10–12], что актуально для дальнейшего развития.

Материалы и методы

Для расчета осадки одиночной сваи в многослойном массиве, обладающем нелинейными свойствами, предлагается графоаналитический метод, который состоит из двух частей: аналитической (упругой) и графической. Основная идея метода заключается в том, что по достижении предельной прочности грунта по боковой поверхности сваи участок, который достиг предела, выключается из работы, а дальнейшая прикладываемая нагрузка перераспределяется по свае. Под выключением из работы подразумевается, что на данном участке произошло разрушение грунта и возможен неограниченный рост пластических деформаций, что дает свае возможность смещаться относительно грунта. Кроме того, критерий прочности вводится не только по боку, но и по низу свай, что дает возможность довести ее до полной потери несущей способности и срыва.

В аналитической части метода решается система из нескольких уравнений, которые позволяют определить неизвестные компоненты НДС грунтового массива вокруг свай: касательные напряжения по боковой поверхности свай, возникающие за счет действия сил трения, и вертикальное напряжение, возникающее под пятой свай.

Для описания пластического деформирования применяется графическая часть метода. Она заключается в том, что строятся две эпюры касательных напряжений вдоль боковой поверхности свай. Первая эпюра – это мобилизованная (действующая) эпюра касательных напряжений, полученная на основе аналитических уравнений; вторая эпюра – предельная (ресурсная)

эпюра, которая строится на основе выбранного критерия прочности грунта. При наложении эпюр друг на друга возникают характерные участки, где наблюдается исчерпание несущей способности, т. е. где мобилизованная эпюра превышает предельную и, наоборот, где предельная эпюра больше мобилизованной, что говорит об оставшемся неисчерпанном резерве несущей способности грунта. При увеличении нагрузки площадь боковой поверхности сваи, где происходит исчерпание несущей способности, увеличивается, нагрузка, превысившая предел прочности, перераспределяется по боку и по низу до тех пор, пока не будет полностью исчерпана несущая способность.

Рассмотрим более подробно аналитическое решение задачи об осадке одиночной сваи, взаимодействующей с трехслойным основанием в осесимметричной постановке. При приложении нагрузки N на оголовок сваи возникают силы трения вдоль боковой поверхности сваи T_1, T_2 и T_3 , а также отпор грунта R под пятой сваи. Начало координат расположено в уровне пяты сваи с вертикально направленной вверх осью z и горизонтально направленной осью r . Радиус сваи обозначен как a , радиус ячейки – b . Итерационным методом была подобрана такая ширина ячейки, чтобы на боковых границах выполнялось условие равенства осадки нулю, т. е. при $r=b$ осадка грунта $S=0$. В результате радиус ячейки составил $20a$.

На рис. 1 представлена расчетная схема задачи с указанием действующих сил на сваю и с указанием возникающих напряжений от действия прикладываемой нагрузки N .

Таким образом, неизвестными компонентами НДС в задаче являются: реактивное напряжение σ_0

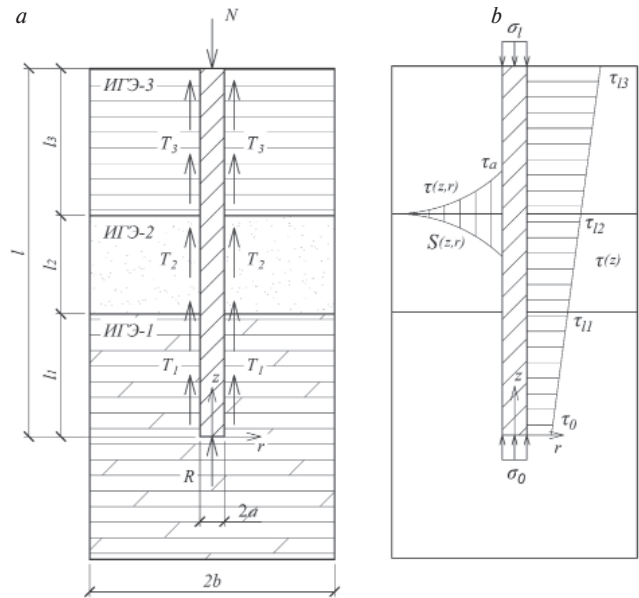


Рис. 1. Расчетная схема аналитической задачи: а – с указанием действующих сил; б – с указанием действующих напряжений
Fig. 1. Calculation diagram of the analytical problem: а – indicating the acting forces; б – indicating the acting stresses

под пятой сваи и касательные напряжения $\tau_0, \tau_{11}, \tau_{12}$ и τ_{13} вдоль боковой поверхности сваи. Для определения касательных напряжений по глубине сваи принят линейный «трапециевидный» закон распределения касательных напряжений, который имеет вид для нижнего слоя грунта длиной l_1 , среднего слоя длиной l_2 и верхнего слоя длиной l_3 соответственно:

$$\tau(z) = \tau_0 + \frac{\tau_{11} - \tau_0}{l_1} \cdot z;$$

$$\tau(z) = \tau_{11} + \frac{\tau_{12} - \tau_{11}}{l_2} \cdot (z - l_1);$$

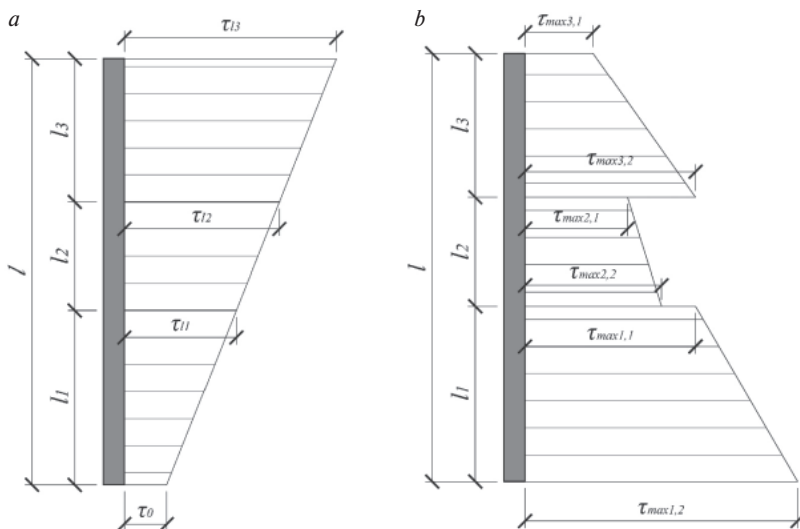


Рис. 2. Характерные эпюры: а – мобилизованных касательных напряжений; б – предельных касательных напряжений

Fig. 2. Typical diagrams: а – mobilized shear stresses; б – limiting shear stresses

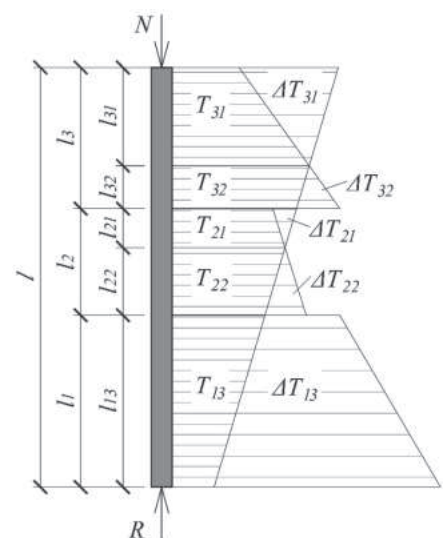


Рис. 3. Расчетная схема задачи для определения осадки одиночной сваи графоаналитическим методом

Fig. 3. Calculation diagram of the problem for determining the settlement of a single pile using the graphic-analytical method

$$\tau(z) = \tau_{l2} + \frac{\tau_{l3} - \tau_{l2}}{l_3} \cdot (z - l_2 - l_1),$$

$$S_{сван}(0) = \frac{\sigma_0 \cdot \pi \cdot a \cdot (1 - \nu_{гр1}) \cdot K}{4G_{гр1}},$$

где τ_0 – значение касательного напряжения в уровне пяты сваи; τ_{l1} – значение касательного напряжения на границе нижнего и среднего слоев грунта; τ_{l2} – значение касательного напряжения на границе среднего и верхнего слоев грунта; τ_{l3} – значение касательного напряжения в уровне оголовка сваи.

Приняв допущение, что свая работает как круглый жесткий штамп на некоторой глубине, осадку под пятой можно определить по формуле [13]:

где σ_0 – вертикальные напряжения, действующие под пятой сваи; a – радиус сваи; $\nu_{гр1}$ – коэффициент Пуассона грунта под пятой сваи; $G_{гр1}$ – модуль сдвига грунта под пятой сваи; K – коэффициент, зависящий от глубины приложения нагрузки на штамп.

Таким образом, для определения пяти неизвестных компонент НДС используем систему уравнений, состоящую из 1-го уравнения равновесия и четырех уравнений равенства осадок грунта и сваи в уровне ее пяты, оголовка и на границах слоев грунта:

$$\left\{ \begin{array}{l} \pi \cdot a^2 \cdot \sigma_l = \pi \cdot a^2 \cdot \sigma_0 + \pi \cdot a \cdot l_1 \cdot (\tau_0 + \tau_{l1}) + \pi \cdot a \cdot l_2 \cdot (\tau_{l1} + \tau_{l2}) + \pi \cdot a \cdot l_3 \cdot (\tau_{l2} + \tau_{l3}) \\ \frac{\sigma_0 \cdot \pi \cdot a \cdot (1 - \nu_{гр1}) \cdot K}{4G_{гр1}} = \frac{\tau_0 \cdot a}{G_{гр1}} \cdot \ln\left(\frac{b}{a}\right) \\ \frac{2 \cdot \tau_0 \cdot l_1^2 + \tau_{l1} \cdot l_1^2}{3 \cdot E_{св} \cdot a} + \frac{\sigma_0 \cdot l_1 \cdot \beta_c}{E_{св}} + \frac{\sigma_0 \cdot \pi \cdot a \cdot (1 - \nu_{гр1}) \cdot K}{4G_{гр1}} = \frac{\tau_{l1} \cdot a}{G_{гр1}} \cdot \ln\left(\frac{b}{a}\right) \\ S_{бок1} + \frac{\tau_{l1} \cdot (l_1 + l_2)^2}{E_{св} \cdot a} + \frac{(\tau_{l2} - \tau_{l1}) \cdot \left(\frac{(l_1 + l_2)^3}{3} - l_1 \cdot (l_1 + l_2)^2\right)}{E_{св} \cdot a \cdot l_2} + \frac{\sigma_0 \cdot (l_1 + l_2) \cdot \beta_c}{E_{св}} + \frac{\sigma_0 \cdot \pi \cdot a \cdot (1 - \nu_{гр1}) \cdot K}{4G_{гр1}} = \frac{\tau_{l2} \cdot a}{G_{гр2}} \cdot \ln\left(\frac{b}{a}\right) \\ S_{бок1} + S_{бок2} + \frac{\tau_{l2} \cdot l^2}{E_{св} \cdot a} + \frac{(\tau_{l3} - \tau_{l2}) \cdot \left(\frac{l^3}{3} - l_2 \cdot l^2 - l_1 \cdot l^2\right)}{E_{св} \cdot a \cdot l_3} + \frac{\sigma_0 \cdot l \cdot \beta_c}{E_{св}} + \frac{\sigma_0 \cdot \pi \cdot a \cdot (1 - \nu_{гр1}) \cdot K}{4G_{гр1}} = \frac{\tau_{l3} \cdot a}{G_{гр3}} \cdot \ln\left(\frac{b}{a}\right), \end{array} \right.$$

где σ_l – вертикальные напряжения, действующие на оголовке сваи от действующей нагрузки; b – радиус ячейки; β_c – коэффициент невозможности бокового расширения материала сваи; $E_{св}$ – модуль упругости сваи; l – длина сваи; $S_{бок1}$ – осадка нижнего слоя грунта толщиной l_1 по боковой поверхности сваи; $S_{бок2}$ – осадка среднего слоя грунта толщиной l_2 по боковой поверхности сваи.

Осадку одиночной сваи в трехслойном грунтовом массиве с учетом линейных свойств грунтов будет определяться как сумма осадки грунта под пятой сваи, осадки за счет сжатия ствола сваи и осадки грунта по боковой поверхности сваи по формуле:

$$S_{el} = S_{бок1} + S_{бок2} + S_{бок3} + S_{сж} + S_0.$$

Осадку нижнего слоя грунта толщиной l_1 по боковой поверхности сваи определяется по формуле:

$$S_{бок1} = \frac{2 \cdot \tau_0 \cdot l_1^2 + \tau_{l1} \cdot l_1^2}{3 \cdot E_{св} \cdot a}.$$

Осадку среднего слоя грунта толщиной l_2 по боковой поверхности сваи определяется по формуле:

$$S_{бок2} = \frac{\tau_{l1} \cdot (l_1 + l_2)^2}{E_{св} \cdot a} + \frac{(\tau_{l2} - \tau_{l1}) \cdot \left(\frac{(l_1 + l_2)^3}{3} - l_1 \cdot (l_1 + l_2)^2\right)}{E_{св} \cdot a \cdot l_2}.$$

Осадку верхнего слоя грунта толщиной l_3 по боковой поверхности сваи определяется по формуле:

$$S_{бок3} = \frac{\tau_{l2} \cdot l^2}{E_{св} \cdot a} + \frac{(\tau_{l3} - \tau_{l2}) \cdot \left(\frac{l^3}{3} - l_2 \cdot l^2 - l_1 \cdot l^2\right)}{E_{св} \cdot a \cdot l_3}.$$

Рассмотрим графическую часть решения задачи об осадке одиночной сваи, взаимодействующей с трехслойным основанием. Мобилизованная эпюра касательных напряжений строится по касательным напряжениям, полученным на основании аналитической части метода. Предельная эпюра касательных напряжений определяется на основе критерия прочности Кулона–Мора.

Характерные эпюры мобилизованных касательных напряжений и предельных касательных напряжений представлены на рис. 2.

Наложение эпюр мобилизованных и предельных касательных напряжений приводит к возникновению двух основных участков: где эпюра мобилизованных касательных напряжений превышает эпюру предельных касательных напряжений и наоборот. Величина нагрузки, которая превышает предел прочности грунта на участке сваи длиной l_{n1} , обозначается ΔT_{n1} ; резерв несущей способности на участке длиной l_{n2} обозначается ΔT_{n2} . Распределение нагрузки ΔT_{n1} между боковой поверхностью сваи и пятой выполняется в соотношении, которое получено на основании аналитического решения. На рис. 3 представлена рас-

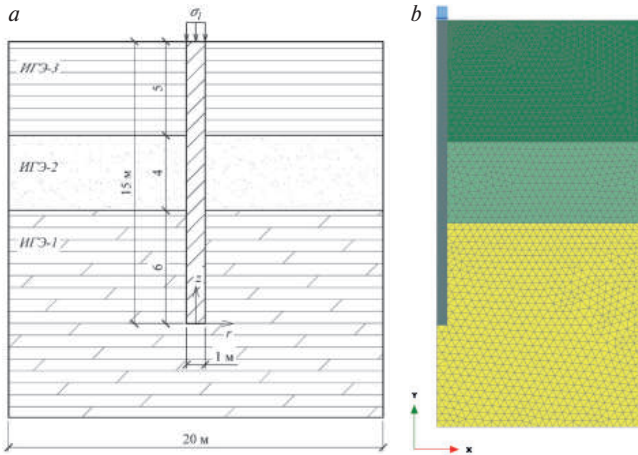


Рис. 4. Расчетные схемы: а – аналитической задачи; б – численной задачи

Fig. 4. Calculation schemes: а – analytical problem; б – numerical problem

четная схема графоаналитического метода определения осадки сваи для трехслойного массива грунта.

Нелинейная осадка грунта под нижним концом сваи определяется по формуле:

$$S_{pl} = S_{el} \cdot \frac{P_{cr}}{P_{cr} - P_0},$$

где S_{el} – упругая составляющая осадки; P_{cr} – предельная (критическая) нагрузка; P_0 – действующая нагрузка на сваю.

Упругая составляющая осадки S_{el} определяется на основании аналитической части решения. Предельная нагрузка P^* определяется по формуле, предложенной Бринчем Хансеном [14].

Для оценки точности предлагаемого графоаналитического решения выполнено сравнение получаемых результатов с численным методом решения в геотехническом программном комплексе Plaxis 2d в осесимметричной постановке. Для описания поведения грунтов использована модель Мора–Кулона. Длина сваи принята равной $l=15$ м, радиус сваи $a=0,5$ м, радиус модели составил $b=10$ м; таким образом, при численном решении осадка грунта S при $r=b$ равна нулю аналогично аналитической постановке задачи. Поперечные сечения аналитической и численной моделей представлены на рис. 4 соответственно.

Результаты

Так как значительное влияние на сходимость графоаналитического решения с численным, а также на величину осадки оказывает распределение нагрузки по длине сваи, в графоаналитическом методе нагрузка распределялась в зависимости от жесткости прилегающих к свае слоев грунта, полученных из аналитического решения. Кроме того, при приложении нагрузки на сваю первыми участками по боковой поверхности сваи, где произойдет исчерпание несущей

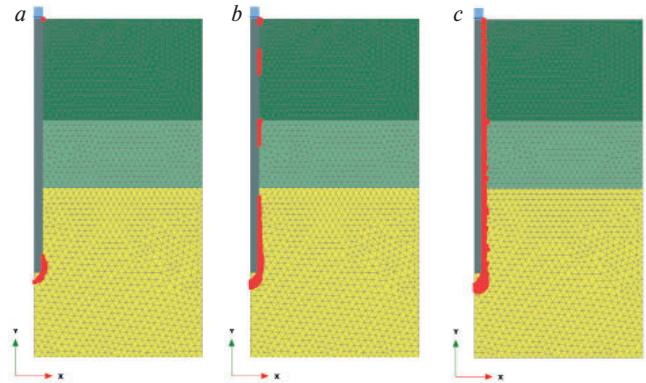


Рис. 5. Характер возникновения и роста пластических зон грунта на контакте со сваей при нагрузке: а – 200 кН; б – 1200 кН; с – 2200 кН

Fig. 5. Nature of the emergence and growth of plastic zones of soil at the contact with the pile: а – 200 kN; б – 1200 kN; с – 2200 kN

способности и проскальзывание сваи по грунту, являются оголовки сваи и зоны слабого грунта. В данной работе слабым слоем грунта является средний слой ИГЭ-2, представленный супесью. На рис. 5 показаны характер появления и распространения зон пластического течения грунта при росте вертикальной нагрузки на сваю, которые в целом подтверждают принятые допущения и предпосылки для решения задачи графоаналитическим методом. Сначала пластические зоны возникают в зоне оголовка и пяты (а), затем в слабом среднем слое (б), а далее пластические зоны постепенно растут, пока по всей длине сваи не произойдет полное исчерпание несущей способности грунта и срыв сваи (с).

На рис. 6 представлена расчетная схема задачи для расчета осадки сваи графоаналитическим методом на этапе приложения нагрузки, равной 2200 кН. Исчерпание несущей способности грунта происходит на двух участках: в верхнем слое грунта (ΔT_{31}) длиной 3,05 м и в среднем слое грунта (ΔT_{21}) длиной 1,97 м. Суммарная избыточная нагрузка $N_{доп}$ распределяется между пятой и участками боковой поверхности сваи, где остался резерв несущей способности. По результатам аналитического решения доля нагрузки, приходящаяся на пяту сваи, составила 0,13, а на боковую поверхность – 0,87, что согла-

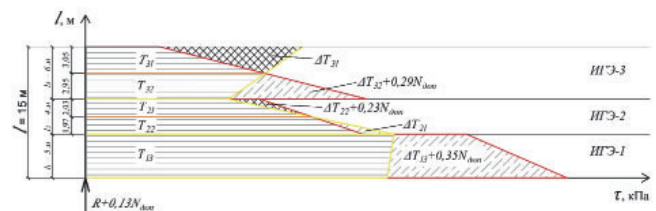


Рис. 6. Схема решения задачи графоаналитическим методом при нагрузке 2200 кН

Fig. 6. Scheme for solving the problem using the graphic-analytical method at a load of 2200 kN

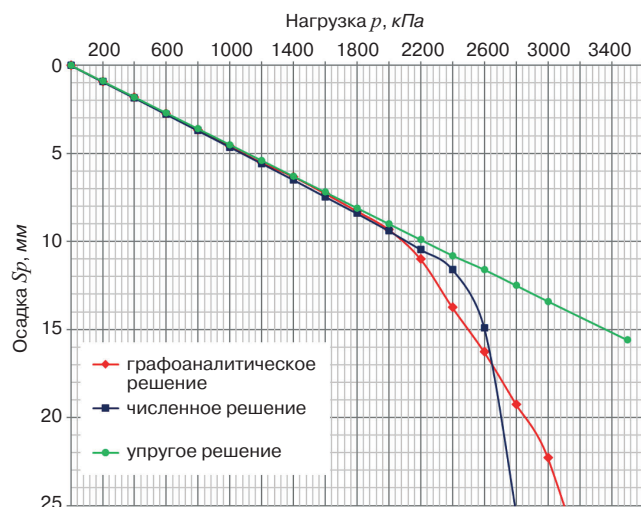


Рис. 7. Графики зависимости осадки от нагрузки одиночной сваи, взаимодействующей с трехслойным основанием

Fig. 7. Graphs of the dependence of settlement on the load of a single pile interacting with a three-layer base

судется с данными экспериментальных исследований свай. При этом в верхнем слое грунта (ИГЭ-3) доля нагрузки составляет 0,29, в среднем слабом слое (ИГЭ-2) – 0,23 и в нижнем слое (ИГЭ-1) – 0,35, т. е. чем ниже жесткость грунта, тем меньше нагрузки приходится на этот участок.

По результатам выполненных расчетов графоаналитическим и численным методами были построены графики зависимости осадки от нагрузки с учетом нелинейных свойств грунтов, а также график зависимости осадки от нагрузки, полученный аналитическим методом в упругой постановке. Полученные результаты, представленные на рис. 7, показывают хорошую сходимость, однако при приближении к предельному состоянию наблюдается расхождение графоаналитического и численного методов, что может быть связано с отсутствием скачков на мобилизованной эпюре касательных напряжений, которые могут повлиять на характер и величину участков, выходящих из работы из-за исчерпания несущей способности.

Выводы

1. Предложено развитие графоаналитического метода определения осадки одиночной сваи в

Список литературы

1. Кургузов К.В., Фоменко И.К., Сироткина О.Н. Оценка несущей способности свай. Методы расчета и проблематика // *Известия ТПУ*. 2019. № 10. С. 7–25. DOI: 10.18799/24131830/2019/10/2294
2. Ishihara K. Recent advances in pile testing and diaphragm wall construction in Japan // *Geotechnical Engineering*. 2010. Vol. 41, pp. 97–122.

многослойном грунтовом массиве, обладающем нелинейными свойствами. Метод предполагает выключение из дальнейшей работы сваи участков, где произошло исчерпание несущей способности, зависящей от выбранного критерия прочности грунта, и перераспределение нагрузки, которая не может далее восприниматься этими участками, на другие, где резерв несущей способности не был исчерпан, а также на пята сваи. Кроме того, предполагается, что после исчерпания несущей способности возможен неограниченный рост пластических деформаций, что дает свае возможность смещаться относительно грунта.

2. Одним из факторов, оказывающих наибольшее влияние на результаты и их сходимость с численным методом, является распределение нагрузки по длине сваи. Это соотношение нагрузок принималось на основании аналитического решения, при этом полученное соотношение нагрузки между пятой и боковой поверхностью сваи хорошо согласуется с экспериментальными данными, а распределение нагрузки по боковой поверхности зависит от жесткости прилегающего к свае грунта. Чем выше жесткость, тем большая нагрузка приходится на данный слой грунта.

3. Сравнение графиков зависимости осадки от нагрузки, полученных графоаналитическим и численным методами, показало хорошую сходимость полученных результатов, однако при приближении к предельному состоянию наблюдается расхождение графиков, что может быть связано с отсутствием скачков на мобилизованной эпюре касательных напряжений, которые могут повлиять на характер и величину участков, выходящих из работы из-за исчерпания несущей способности.

4. Для дальнейшего развития графоаналитического метода и повышения точности результатов планируется рассмотреть «скачкообразную» эпюру мобилизованных касательных напряжений аналогично предельной эпюре, а также рассмотреть варианты задач с различным количеством слоев, разными диаметрами и длинами свай, что позволит дать рекомендации о применимости графоаналитического метода в различных условиях.

References

1. Kurguzov K.V., Fomenko I.K., Sirotkina O.N. Assessment of bearing capacity of piles. Calculation methods and problems. *Izvestiya TPU*. 2019. No. 10, pp. 7–25. (In Russian). DOI: 10.18799/24131830/2019/10/2294
2. Ishihara, K. Recent advances in pile testing and diaphragm wall construction in Japan. *Geotechnical Engineering*. 2010. Vol. 41, pp. 97–122.

3. Кравцов В.Н. Исследование предельных состояний по несущей способности и деформациям глинистых оснований коротких готовых (забивных) свай малого поперечного сечения при их вдавлении и выдергивании // *Строительство. Прикладные науки. Строительство и архитектура*. 2021. № 8. С. 65–74. <https://journals.psu.by/constructions/article/view/725>
4. Полищук А.И., Самарин Д.Г., Филиппович А.А. Оценка несущей способности свай в глинистых грунтах с помощью ПК PLAXIS 3D FOUNDATION // *Вестник ТГАСУ*. 2013. № 3. С. 351–359.
5. Готман А.Л., Гавриков М.Д. Исследование особенностей работы вертикально нагруженных длинномерных буронабивных свай и их расчет // *Construction and Geotechnics*. 2021. Т. 12. № 3. С. 72–83. DOI: 10.15593/2224-9826/2021.3.08
6. Тер-Мартirosян З.Г., Сидоров В.В., Струнин П.В. Теоретические основы расчета фундаментов глубокого заложения – свай и баррет // *Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура*. 2014. № 2. С. 190–206.
7. Тер-Мартirosян З.Г., Сидоров В.В., Струнин П.В. Расчет напряженно-деформированного состояния одиночной сжимаемой барреты и сваи при взаимодействии с массивом грунта // *Жилищное строительство*. 2013. № 9. С. 18–21.
8. Тер-Мартirosян З.Г., Нгуен Занг Нам. Взаимодействие длинных свай с двухслойным упруго-ползучим основанием // *Вестник гражданских инженеров СПбГАСУ*. 2007. № 1. С. 52–55.
9. Тер-Мартirosян З.Г., Нгуен Занг Нам. Взаимодействие свай большой длины с неоднородным массивом с учетом нелинейных и реологических свойств грунтов // *Вестник МГСУ*. 2008. № 2. С. 3–14.
10. Мирсаяпов И.Т. Осадка продавливания плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении // *Известия КГАСУ*. 2020. № 4. С. 6–14.
11. Мирсаяпов И.Т. Несущая способность плитно-свайных фундаментов с учетом перераспределения усилий между сваями при циклическом нагружении // *Известия КГАСУ*. 2021. № 2. С. 5–12.
12. Соколов Н.С. Технология увеличения несущей способности основания // *Строительные материалы*. 2019. № 6. С. 67–71. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-67-71>
13. Дорошкевич Н.М., Знаменский В.В., Кудинов В.И. Инженерные методы расчета свайных фундаментов при различных схемах их нагружения // *Вестник МГСУ*. 2006. № 1. С. 119–132.
14. Hansen J.B. Revised and extended formula for bearing capacity // *Bulletin 28, Danish Geotechnical Institute*. Copenhagen. 1970. pp. 5–11.
3. Kravtsov V.N. Investigation of limit states of bearing capacity and deformations of clay foundations of short precast (driven) piles of small cross-section when they are pushed in and pulled out. *Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2021. No. 8, pp. 65–74. (In Russian). <https://journals.psu.by/constructions/article/view/725>
4. Polishchuk A.I., Samarin D.G., Filippovich A.A. Evaluation of the bearing capacity of piles in clayey soils using the programme PLAXIS 3D FOUNDATION. *Vestnik TGASU*. 2013. No. 3, pp. 351–359. (In Russian).
5. Gotman A.L., Gavrikov M.D. Investigation of the peculiarities of vertically loaded long bored piles and their calculation. *Construction and Geotechnics*. 2021. Vol. 12. No. 3, pp. 72–83. (In Russian). DOI: 10.15593/2224-9826/2021.3.08
6. Ter-Martirosyan Z.G., Sidorov V.V., Strunin P.V. Theoretical basis for the calculation of deep foundations – piles and barrettes. *Vestnik PNIPIU. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2014. No. 2, pp. 190–206. (In Russian).
7. Ter-Martirosyan Z.G., Sidorov V.V., Strunin P.V. Calculation of the stress-strain state of a single compressible barrette and pile at interaction with the soil mass. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 9, pp. 18–21 (In Russian).
8. Ter-Martirosyan Z.G., Nguen Zang Nam. Interaction of long piles with a two-layer elastic-sliding foundation. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov SPbGASU*. 2007. No. 1, pp. 52–55. (In Russian).
9. Ter-Martirosyan Z.G., Nguen Zang Nam. Interaction of long-length piles with inhomogeneous mass taking into account nonlinear and rheological properties of soils. *Vestnik MGSU*. 2008. No. 2, pp. 3–14. (In Russian).
10. Mirsayapov I.T. Push-through settlement of slab-pile foundation under cyclic loading. *Izvestiya KGASU*. 2020. No. 4, pp. 6–14. (In Russian).
11. Mirsayapov I.T. Bearing capacity of slab-and-pile foundations taking into account redistribution of forces between piles under cyclic loading. *Izvestiya KGASU*. 2021. No. 2, pp. 5–12. (In Russian).
12. Sokolov N.S. Technology for increasing the bearing capacity of the base. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 6, pp. 67–71. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-67-71>
13. Doroshkevich N.M., Znamenskii V.V., Kudinov V.I. Engineering methods for calculating pile foundations under different loading schemes. *Vestnik MGSU*. 2006. No. 1, pp. 119–132. (In Russian).
14. Hansen J.B. Revised and extended formula for bearing capacity. *Danish Geotechnical Institute*. Copenhagen. 1970. Bull. 28, pp. 5–11.

УДК 624

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-44-48>

М.Ю. ПАРАМОНОВ, аспирант (dozor97-19@mail.ru),
Ю.Г. ЖЕГЛОВА, канд. техн. наук (JeglovaYUG@mgsu.ru)

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Моделирование организационно-технологических процессов на этапе эксплуатации объекта капитального строительства

На основе анализа актуальной ситуации в цифровизации процессов, протекающих при взаимодействии с объектом капитального строительства посредством технологий информационного моделирования, выделены основные системы, необходимые для реализации идеи цифрового двойника, такие как: информационная модель, автоматизация и диспетчеризация, управление инфраструктурой задания и др. Рассмотрен вопрос сквозного прохождения машинопонимаемой информации об объекте капитального строительства на всех уровнях взаимодействия с ним. Выделен ряд атрибутивных параметров, которые напрямую или косвенно влияют на решения по эксплуатации объекта капитального строительства. Представлена тестовая версия функциональной системы, позволяющей оценить необходимость проведения мероприятий обслуживания и текущего ремонта в процессе эксплуатации объекта капитального строительства, основанная на ряде обозначенных атрибутивных данных. В дальнейшем эта система позволит сократить временные, трудовые и финансовые издержки при эксплуатации объекта капитального строительства.

Ключевые слова: эксплуатация, цифровой двойник, автоматизация управления, интеллектуальные системы, предиктивные системы, машинопонимаемая информация.

Для цитирования: Парамонов М.Ю., Жеглова Ю.Г. Моделирование организационно-технологических процессов на этапе эксплуатации объекта капитального строительства // *Жилищное строительство*. 2023. № 11. С. 44–48. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-44-48>

M.Yu. PARAMONOV, Graduate Student (dozor97-19@mail.ru); Yu.G. ZHEGLOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (JeglovaYUG@mgsu.ru)
National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Modeling of Organizational and Technological Processes at the Stage of Operation of a Capital Construction Facility

Based on an analysis of the current situation in the digitalization of processes occurring during interaction with a capital construction project through information modeling technologies, the main systems necessary to implement the idea of a digital twin are identified, such as: information model, automation and dispatch, task infrastructure management, etc. The issue of end-to-end transmission of machine-understandable information about a capital construction project at all levels of interaction with it is considered. A number of attribute parameters have been identified that directly or indirectly influence decisions on the operation of a capital construction project. A test version of a functional system is presented that makes it possible to assess the need for maintenance and routine repairs during the operation of a capital construction facility, based on a number of designated attribute data. In the future, this system will reduce time, labor and financial costs during the operation of the capital construction facility.

Keywords: operation, digital twin, control automation, intelligent systems, predictive systems, machine-readable information.

For citation: Paramonov M.Yu., Zheglova Yu.G. Modeling of organizational and technological processes at the stage of operation of a capital construction facility. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 11, pp. 44–48. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-44-48>

В настоящее время вопрос функционирования современных и гибких систем эксплуатации объектов капитального строительства стоит наиболее остро. Высокая стоимость строительных материалов, дефицит квалифицированных сотрудников, высокая необходимость в новом строительстве – лишь некоторые мультипликаторы спроса. Также важно отметить высокую значимость строительной отрасли в экономике государства. Строительный сектор является ос-

новным мультипликатором в производстве услуг и материалов. В связи с этим необходимо сокращать издержки и оптимизировать существующие процессы, теряющие актуальность из-за старых технологий, низкой цифровой культуры и неоптимального распределения ресурсов.

В то же время единый подход к автоматизации эксплуатации объектов капитального строительства, их типизация и каталогизация привносят такие

нововведения как: измеримость различных технологических и экономических параметров, предсказуемость возникновения различных ситуаций повышения уровня безопасности, снижение влияния человеческого фактора, интеграция со сторонними информационными системами, снижение временных издержек на обслуживание объекта капитального строительства. Моделирование организационно-технологической системы на этапе эксплуатации объекта капитального строительства требует более детальной проработки методов.

Известно, что в строительной отрасли высокие издержки на этапе внедрения технологий [1]. Данные Росстата подтверждают, что рентабельность строительных компаний незначительна (около 4%), из-за чего опасения о нецелесообразной трате средств на цифровую трансформацию кажутся вполне оправданными. Высока важность сквозного прохождения информации начиная с этапа проектирования [1].

Интеграция информационных моделей BIM и интернета вещей IoT задействована в решении такой проблемы, как объединение данных [2]. У системы IoT основной упор направлен на сбор данных, используемых на целевых объектах, где задействованы датчики и устройства. Сюда же относится комбинирование данных, полученных из разных источников, для дополнительного мониторинга и передачи.

Несмотря на многофункциональность и инновационность этих процессов, эффективное использование BIM и IoT представляет собой непростую задачу. Этот процесс требует значительных объемов данных и сопряжен с возникновением ошибок.

Существует ряд проблем во внедрении технологий информационного моделирования [3]: отсутствие стандартов проектирования, строительства, эксплуатации с использованием BIM; слабая организация взаимодействия с сущностями между сотрудниками и компаниями; отсутствует формат трехмерной модели, который можно было бы передавать между различными информационными системами; наиболее остро стоит вопрос подготовки специалистов, легко взаимодействующих с технологиями BIM; для обработки большого количества информации необходимо высокопроизводительное оборудование.

В [4] выявлены основные позиции концепции «Умный город», а именно оптимизация управления городским имуществом, интеграция различных информационных систем развития коммуникационных технологий, снижение влияния человеческого фактора. Внедрение интеллектуальных систем позволяет повысить уровень комфортности проживания, удобство пользования городской инфраструктурой,

снизить издержки, как финансовые, так и ресурсные на администрирование системы, увеличить производительность [5]. Возможно появление недостатков из-за большого объема информации и участников, вовлеченных в процесс.

Актуальным вопросом является цифровой двойник [6], сущность которого определяется как меняющийся цифровой профиль, содержащий информацию по прошлым и нынешним актуальным задачам, что сокращает перечень возможных рисков, возникающих при работе с проектом. Однако преимуществ здесь больше, чем недостатков.

Благодаря примененным технологиям информационного моделирования при обследовании объектов капитального строительства можно подробно наполнить 3D-модель необходимыми атрибутивными данными. Информацию об объекте в целом и о конструктивных элементах в частности можно получить в реальном времени, во время проведения обследований [7].

Для того чтобы данные были достоверными, модель нуждается в регулярной актуализации и редактировании, т. е. внесении новой информации. По мере того как сооружение претерпевает изменения на протяжении всего жизненного цикла благодаря своим возможностям, в систему информационных моделей можно вносить данные об обнаруженных дефектах и другие, влияющие на реализацию проектов. Есть возможность проводить операции анализа по несущим способностям конструкций и техническому состоянию.

Автоматизированное проектирование и информационное моделирование очень важны [8]. Информационное моделирование представляет собой модернизированный подход к процессам проектирования зданий на протяжении всего жизненного цикла проекта строительства.

При изучении возможностей, которые открылись благодаря внедрению цифровых трансформаций, вводится понятие BIM-технологий, а также раскрываются их отличительные черты, например [9]: BIM-технологии не подразумевают сбор информации для долгосрочного периода, а также изменение информационной модели; BIM-технологии оказывают значительную помощь в предоставлении данных по состояниям всех экосистем и влиянию пользователей на эти системы; без вмешательства технологий цифрового двойника BIM-технологии не имели бы таких возможностей, как упрощение и усовершенствование работы.

Для того чтобы строительная отрасль находилась в состоянии развития, необходимо внедрять технологии новых стандартов и решений усовершенствовать существующие процессы [10].



Рис. 1. Уровни развития технологий к цифровому двойнику
Fig. 1. Levels of technology development towards a digital twin

Для улучшения качества систем управления компании ориентируются на улучшение и увеличение скорости распространения цифровых моделей. По стадиям структурной модели управления строительным бизнесом можно выделить *архитектурные, технологические и экономические*.

Исследование возможных методов уменьшения затрат показывает необходимость изучить динамику затрат при помощи экономико-математической модели [11]. Основой для нее являются состав и продолжительность работ, расходы на строительных площадках. Благодаря экономико-математической модели есть возможность найти вариант с минимальными затратами, где выбирается наилучший результат. Учитывая сложность и комплексность данного варианта, выполнить это довольно трудоемко даже с использованием специальных программ. Для этого можно произвести оптимизацию экономико-математической модели. Самой важной функциональной зависимостью считается зависимость продолжительности строительства от общего объема ресурсов труда.

Таким образом, моделирование организационно-технологических процессов на этапе эксплуатации объекта капитального строительства является актуальной и важной задачей. На основе проведенного анализа в работе выделен ряд атрибутов, напрямую или косвенно влияющих на жизненный цикл постройки, с целью определения значимости этих атрибутов и составления математической модели, позволяющей оценить в процентном отношении потребность в проведении определенных мероприятий применительно к данному объекту капитального строительства, например таких, как реставрация, реконструкция и др.

Материалы и методы

Ключевой точкой цифрового развития строительной отрасли является сквозное, свободноехождение информации на всех этапах строительной деятельности. Создание методологии и алгоритмов, с



Рис. 2. Системы, составляющие цифровой двойник
Fig. 2. Systems that make up the digital twin

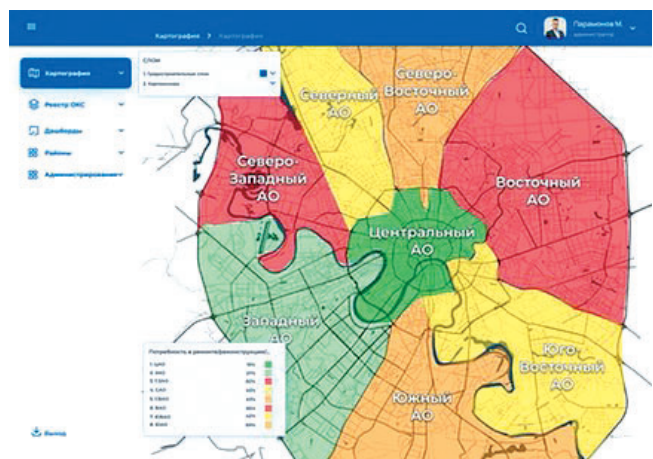


Рис. 3. Потребность в решениях по эксплуатации административных округов
Fig. 3. The need for solutions for the operation of Administrative districts

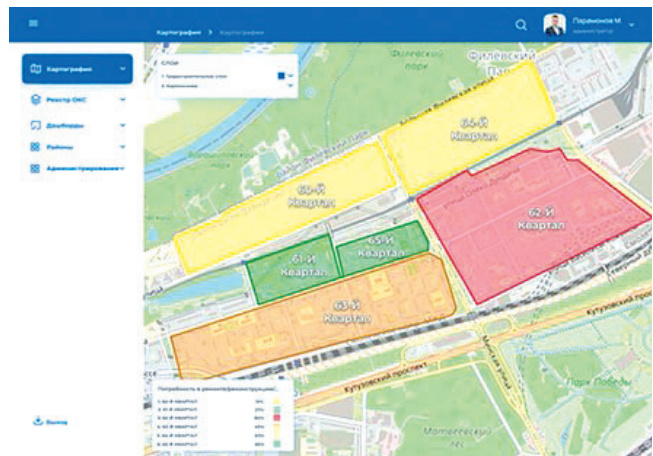


Рис. 4. Потребность в решениях по эксплуатации районов
Fig. 4. The need for solutions for the operation of areas

помощью которых будут передаваться не отдельные файлы, а машиночитаемая информация, с реальных объектов капитального строительства до лиц, принимающих управленческие решения без вмешательства извне (рис. 1).

Применение технологий информационного моделирования на этапах проектирования, строительномонтажные работы (СМР) и эксплуатация позволяют

**Атрибуты, оказывающие влияние на эксплуатацию
объекта капитального строительства**
**Attributes that influence the need for the operation
of a capital construction object**

Код	Наименование группы атрибутов
k1	Энергоэффективность
k2	Аварийность
k3	Доступность материалов
k4	Материалы
k5	Показания датчиков
k6	Количественные параметры
k7	Здания архитектурного наследия
k8	Здания критической инфраструктуры
k9	Временные параметры

обеспечить создание цифрового двойника объекта капитального строительства (ОКС), представляющего собой цифровую копию физических активов, процессов, людей, мест, систем и устройств, которые могут использоваться для отслеживания динамики физического состояния здания или сооружения в режиме реального времени.

На рис. 2 для реализации эксплуатации цифрового двойника предусматривается наличие следующих основных систем:

1. *Информационная модель здания*, которая включает в себя актуальную цифровую информационную модель (3D) и исчерпывающий перечень документов, сведений и материалов.

2. *Автоматизация и диспетчеризация здания*, включающая автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУТП или BMS), автоматический контроль и умные контроллеры.

3. *Управление инфраструктурой здания*, необходимое для оперативной осведомленности, краткосрочного и долгосрочного планирования и управления нагрузкой и предиктивного анализа.

С целью реализации цифровых двойников на этапе эксплуатации проводятся следующие мероприятия:

– на основании информационной модели здания, подготовленной на этапах проектирования и строительства, производится настройка и пусконаладка АСУТП, системы управления инфраструктурой здания и информационной модели здания;

– разработка порядка взаимодействия всего задействованного персонала при эксплуатации здания;

– отслеживание работы в режиме реального времени всего установленного в зданиях оборудования и оптимизация затрат на эксплуатацию и содержание.

На всех этапах эксплуатации (3D-модель, автоматизация и диспетчеризация, а также управление инфраструктурой) используются атрибутивные данные.

Для того чтобы производить процесс эксплуатации максимально эффективно, в работе предлагается смоделировать процесс принятия решений о необходимости определенных действий.

На основании опроса специалистов по эксплуатации зданий с использованием технологии цифрового двойника, изучения нормативно-правовой документации и литературы был проведен анализ многоквартирного жилого дома с целью определить группу параметров, которые учитываются эксплуатирующими организациями.

В рамках исследования был проведен анализ и выделены атрибуты, которые позволяют оценить необходимость проведения мероприятий обслуживания и текущего ремонта в процессе эксплуатации объекта капитального строительства. Выделенные атрибуты были объединены в укрупненные группы, предложенная классификация укрупненных групп атрибутов представлена в таблице.

В качестве примера будущей функционирующей системы была создана демонстрационная версия с тестовыми значениями атрибутов (рис. 3, 4).

Заключение

Проведен анализ современных тенденций в развитии взаимодействия с цифровым двойником объекта капитального строительства, а также процессов предиктивной аналитики, протекающих на этапе эксплуатации. Обозначены необходимые составляющие для построения цифрового двойника.

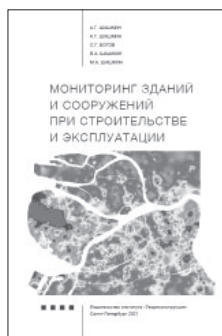
Выделены и классифицированы атрибуты, влияющие на эксплуатацию объекта капитального строительства и предложена демонстрационная версия будущей системы оценки и мониторинга объекта капитального строительства на этапе эксплуатации.

Список литературы / References

1. Maulshree Singh, Evert Fuenmayor, Eoin Patrick Hinchy, Yuansong Qiao, Niall Murray, Declan Devine. Digital twin: origin to future. *Applied System Innovation*. 2021. Vol. 4. No. 36, pp. 1–19. DOI: 10.3390/asi4020036
2. Xiongwei Huang, Yongping Liu, Lizhen Huang, Erling Onstein, Christoph Merschbrock. BIM and IoT data fusion: The data process model perspective. *Automation in Construction*. 2023. No. 149, pp. 1–18. DOI: 10.1016/j.autcon.2023.104792
3. Грушковский П.А., Ситков Р.А., Щельников В.Н. Перспективы развития информационного моделирования в ходе строительства и эксплуатации зданий и сооружений // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2020. № 8. С. 207–211.

3. Grushkovskii P.A., Sitkov R.A., Shchel'nikov V.N. Prospects for the development of information modeling during the construction and operation of buildings and structures. *Izvestiya of the Tula State endowment university. Technical science*. 2020. No. 8. pp. 207–211. (In Russian).
4. Amy Kim, Yos Sunitiyoso, Lysandra Amanta Medal. Understanding facility management decision making for energy efficiency efforts for buildings at a higher education institution. *Energy and Buildings*. 2019. Vol. 4. No. 199, pp. 197–215. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.06.044
5. Куприяновский В.П., Климов А.А., Воропаев Ю.Н., Покусаев О.Н., Добрынин А.П., Понкин И.В., Лысогорский А.А. Цифровые двойники на базе развития технологий BIM, связанные онтологиями, 5G, IoT и смешанной реальностью для использования в инфраструктурных проектах и IFRABIM. *International Journal of Open Information Technologies*. 2020. Vol. 8. No. 3, pp. 55–74.
5. Kupriyanovskii V.P., Klimov A.A., Voropaev Yu.N., Pokusaev O.N., Dobrynin A.P., Ponkin I.V., Lysogorskii A.A. Digital twins based on the development of BIM technologies linked by ontologies, 5G, IoT and mixed reality for use in infrastructure projects and IFRABIM. *International Journal of Open Information Technologies*. 2020. Vol. 8. No. 3. pp. 55–74. (In Russian).
6. Mengnan Liu, Shuiliang Fang, Huiyue Dong, Cunzhi Xu. Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications. *Journal of Manufacturing Systems*. 2020. No. 58, pp. 1–16. DOI: 10.1016/j.jmsy.2020.06.017
7. Ali GhaffarianHoseini, Tongrui Zhang, Okechukwu Nwadigo, Amirhosein GhaffarianHoseini, Nicola Naismith, John Tookey, Kaamran Raahemifar. Application of nD BIM Integrated Knowledge-based Building Management System (BIM-IKBMS) for inspecting post-construction energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. No. 72, pp. 935–949. DOI: 10.1016/j.rser.2016.12.061
8. Dalibor Bartonek. Automatic creation of 3D documentation in CAD/BIM based on topology. *Mathematics*. 2023. Vol. 17. No. 11, pp. 1–22. DOI: 10.3390/math11173758
9. David Jones, Chris Snider, Aydin Nassehi, Jason Yon, Ben Hicks. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 2020. No. 29, pp. 36–52. DOI: 10.1016/j.cirpj.2020.02.002
10. Fei Tao, He Zhang, Ang Liu, A.Y.C. Nee. Digital Twin in Industry: State-of-the-Art. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2019. Vol. 15. No. 4, pp. 2405–2415. DOI: 10.1109/TII.2018.2873186
11. Velichkin V.Z., Petrochenko M.V., Ptukhina I.S., Gorodishenina A.Yu. Methodology for optimizing the costs of construction companies in the implementation of a common technology for the construction of an object. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2022. Vol. 12. No. 1, pp. 20–27. DOI: 10.21285/2227-2917-2022-1-20-27

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА



МОНИТОРИНГ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Авторы: А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин, С.Г. Богов, В.А. Шашкин, М.А. Шашкин
(практическое руководство под редакцией д.г.-м.н. Шашкина А.Г.)
Санкт-Петербург: Георекострукция, 2021. 640 с.

В монографии раскрывается содержание мониторинга механической безопасности при новом строительстве, реконструкции и эксплуатации зданий и сооружений. Показывается значение мониторинга не только как средства контроля за сохранностью городской застройки, но и как профилактического средства, позволяющего своевременно обнаружить и диагностировать негативные тенденции и принять адекватные меры по нормализации технического состояния сооружения. Отмечается необходимость построения мониторинга как интерактивного процесса, базирующегося на компьютерной модели взаимодействия сооружения и основания. Это позволяет корректно интерпретировать результаты мониторинга, а также выполнять обратные расчеты для совершенствования исходных расчетных схем и физических моделей материалов и грунтов.

По вопросам приобретения обращайтесь: E-mail: georeconstruction@gmail.com WWW: geo-bookstore.ru



Учебное пособие «Промышленное и гражданское строительство. Введение в профессию»

Авторы: Грызлов В.С., Ворожбянов В.Н., Гендлина Ю.Б., Залипаева О.А., Каптюшина А.Г.,
Медведева Н.В., Петровская А.А., Поварова О.А., Чорная Т.Н.
Научный редактор – д-р техн. наук, проф. В.С. Грызлов
Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 276 с.

Дана общая характеристика профессии строитель. Приведены сведения из истории развития строительной отрасли. Предложено краткое описание видов строительной продукции, особенностей проектирования строительных объектов, технологии и порядка организации возведения зданий и сооружений; раскрыты вопросы менеджмента в строительстве. Подчеркнута важность строительной науки и цифровизации строительной деятельности. Отдельная глава посвящена особенностям организации инженерно-строительного обучения. Для студентов бакалавриата, начавших обучение по направлению «Строительство». Может быть использовано для профориентационной работы с выпускниками школ.

По вопросам приобретения обращайтесь в издательство «Инфра-Инженерия»

УДК 624

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-49-53>

А.О. РЫБАКОВА, ст. преподаватель (ryibakovaao@mgsu.ru),
Д.А. ПЕТРОВ, студент (daniil.a.petrov2003@gmail.com)

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Анализ автоматизации системы управления доступом на строительной площадке

Развитие инструментов цифровизации в строительной отрасли происходит одновременно в различных процессах и задачах. Использование данных, полученных автоматически, обеспечивает новые возможности для анализа и поиска новых инструментов работы. Применение данных системы контроля и управления доступом формирует основу для анализа и исследования на строительной площадке, что позволяет разработать новые инструменты и способы для работы и принятия решений. Целью данного исследования является выявление способов повышения эффективности труда на основе анализа данных системы управления доступом на строительной площадке. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить несколько задач: получить и подготовить данные системы контроля и управления доступом для обработки, выполнить экспорт данных в систему управления базами данных, разработать соответствующие программные запросы к базе данных, выполнить анализ данных и сформулировать выводы. Реализация данного исследования выполнена на основе анализа практических данных и инструментов системы управления базой данных. В результате будет представлен прототип системы контроля посещаемости сотрудников на строительной площадке. После внедрения данной системы заинтересованные лица могут отслеживать статистику и сокращать затраты организации. В итоге формируется возможность для принятия наиболее рациональных управленческих и организационных решений, а также определения дальнейших перспектив работы в компании.

Ключевые слова: система контроля и управления доступом, системы управления базами данных, строительная площадка, управление строительством, SQL, Python, цифровизация строительства.

Для цитирования: Рыбакова А.О., Петров Д.А. Анализ автоматизации системы управления доступом на строительной площадке // *Жилищное строительство*. 2023. № 11. С. 49–53.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-49-53>

A.O. RYBAKOVA, Senior Lecturer (ryibakovaao@mgsu.ru), P.A. PETROV, Student (daniil.a.petrov2003@gmail.com)
National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Analysis of Automation of the Access Control System at the Construction Site

The development of digitalization tools in the construction industry takes place simultaneously in various processes and tasks. The use of data obtained automatically provides new opportunities for analysis and search for new work tools. The use of access control and management system data forms the basis for analysis and research on the construction site, which makes it possible to develop the new tools and methods for work and decision-making. The purpose of this study is to identify ways to improve labor efficiency based on the analysis of data from the access control system at the construction site. To achieve this goal, it is necessary to perform several tasks: to obtain and prepare the data of the access control and management system for processing, to export data to the database management system, to develop appropriate program queries to the database, to perform data analysis and formulate conclusions. The implementation of this study was carried out on the basis of analysis of practical data and tools of a database management system. As a result, a prototype of a system for monitoring employee attendance at the construction site will be presented. After implementing this system, stakeholders can track statistics and reduce the organization's costs. As a result, an opportunity is formed for making the most rational management and organizational decisions, as well as determining future prospects for working in the company.

Keywords: access control and management system, database management systems, construction site, construction management, SQL, Python, digitalization of construction.

For citation: Rybakova A.O., Petrov D.A. Analysis of automation of the access control system at the construction site. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 11, pp. 49–53. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-49-53>

Жизненный цикл любого объекта строительства включает в себя множество разноплановых процессов и задач, решение которых в руках большого количества специалистов различного профиля [1]. С повышением уровня цифровизации в России появляются новые инструменты для решения задач строительства и проектирования, в результате чего формируются

новые направления для исследований и эффективности работы [2]. Одновременно развивается использование ранее существующих цифровых инструментов для ключевых процессов строительства.

Большой объем внутренних процессов формирует большие объемы данных, анализ которых позволяет сделать соответствующие выводы о выполненной

работе, скорректировать вектор деятельности и принять более рациональные решения. В зависимости от масштаба проекта анализ данных может оказать различное влияние, так как большие объемы работы обеспечат большое количество данных [3–4].

Привлечение значительного количества специалистов различного профиля для решения задач строительства влечет за собой необходимость управления персоналом на высоком уровне. Появляется необходимость мониторинга и контроля рабочего времени, занятости и эффективности выполнения установленных объемов работы. С развитием автоматизированных систем контроля и управления доступом (СКУД) на предприятиях и площадках появился новый инструмент, позволяющий решить ряд задач управления персоналом. Однако без соответствующей программной реализации наличия большого количества данных, полученных на основе данных работы СКУД, повысить эффективность выполнения работ невозможно [5–7].

Таким образом, целесообразно изучение данных системы СКУД, полученных на основе данных доступа на строительную площадку конкретного объекта, с целью принятия наиболее рациональных решений. *Целью работы* является выявление способов повышения эффективности труда на основе анализа данных системы управления доступом на строительной площадке. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить несколько задач: получить и подготовить данные СКУД для обработки, выполнить экспорт данных в систему управления базами данных, разработать соответствующие программные запросы к базе данных, выполнить анализ данных и сформулировать выводы.

Материалы и методы

1. Сбор и обработка информации для анализа

Для начала важно представить данные в формате, адаптированном для обработки. Интересующая информация включает в себя данные действий персонала, а также их последствия [8]. Соответственно, все данные формируются на основе системы СКУД, что обеспечивает возможность дальнейших действий и манипуляций данными. Концептуально сбор и обработка информации в рассматриваемом случае представлены на рис. 1.

В качестве объекта исследования будут рассмотрены данные, полученные со строительной площадки объекта «Строительство атомной станции Эль-Дабаа в Египте в г. Эль-Дабаа мощностью 4800 МВт». Интересующие данные формируются следующим образом: сотрудник прикладывает пропуск к считывателю, система фиксирует информацию: фамилию, имя, отчество, дату и время прихода и ухода (рис. 2).

Фиксация данных производилась в течение 30 дней. Таким образом, формирование данных происходит следующим образом.

1. Полученные из системы СКУД данные аккумулируются в один файл Excel, расположенный на файловом сервере.

2. После фиксации на сервере данные отправляются в информационную систему для автоматического составления отчета в виде графика на основе полученных данных. Данный процесс контролируется Администратором отчетов, который следит за целостностью и исправностью всей работы системы.

3. Итоговый отчет поступает в Модуль отчетов, являющийся частью линейки цифровых продуктов MULTI-D IMS Госкорпорации «Росатом». Состав и информация, содержащаяся в отчете, могут различаться в зависимости от требований заказчика.

II. Представление данных

Автоматическая обработка данных с дальнейшим анализом возможна при условии представления информации в соответствующем для языка запросов виде. Универсальным инструментом в данном случае является система управления данными Microsoft Access – реляционная система управления базами данных (СУБД) [9–10].

Microsoft Access – это прикладная программа Windows, позволяющая использовать все возможности динамического обмена данными, связей и внесения объектов. Использование Access в рамках данной задачи обеспечит представление данной программы в требуемом виде, что в итоге позволит применять язык запросов [11].

Таким образом, Excel-файл с данными системы СКУД за выбранный период экспортируется в Access и происходит представление таблицы (рис. 2) в виде базы данных с установленными полями, которые соответствуют названиям данных.

Для более эффективной и быстрой обработки запроса полей first_name, second_name и last_name был создан общий индекс ФИО (рис. 3). Данное объединение необходимо, так как в рассмотренных запросах будет ссылка на три ячейки одновременно.

III. Формирование запросов

SQL (Structured Query Language) – это язык запросов для работы с базами данных, структурированных особым образом. Задача SQL – составлять запросы так, чтобы найти среди большого объема информации ту, что нужна для конкретных целей, сортировать ее, структурировать и представлять в наиболее простом и понятном виде. SQL-запрос – это набор команд для работы с табличными базами данных.

С помощью SQL-запроса появляется возможность получения требуемой информации согласно требова-


```

Код для построения графика для Запроса 1:
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
# Исходные данные
days = [«01.08», «02.08», «03.08», «04.08», «05.08»,
«06.08», «07.08», «08.08», «09.08», «10.08»]
total_hours = [436.9, 453.8, 524.9, 74.5, 94.7, 510.4,
444, 491.7, 515.2, 30.5]
total_hours_plan = [392, 416, 472, 72, 88, 448, 416,
440, 464, 32]
total_employees = [49, 52, 59, 9, 11, 56, 52, 55, 58, 4]
# Создаем массив позиций для столбцов
x = np.arange(len(days))
# Ширина столбцов
width = 0.3
# Создаем график
fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 7))
# Первый столбец (Total Hours)
rects1 = ax.bar(x - width/2, total_hours, width,
label='Total Hours', color='blue')
rects2 = ax.bar(x + width/2, total_hours_plan, width,
label='Total Hours Plan', color='orange')

```

```

ax.set_xlabel('Day')
ax.set_ylabel('Total Hours')
ax.set_title('Отчет о выработке часов(Август
2023)')
ax.set_xticks(x)
ax.set_xticklabels(days)
ax.legend()
# Второй столбец (Total Employees)
for i, rect in enumerate(rects1):
    ax.text(rect.get_x() + rect.get_width() / 2, rect.get_
height(), str(total_employees[i]),
ha='center', va='bottom', color='black',
fontweight='bold')
# Добавляем количество total_employees в легенду
ax.legend(handles=[rects1[0], rects2[0], plt.Line2D([],
[], color='black', marker='o', label='Total Employees')],
labels=['Total Hours', 'Total Hours Plan', 'Total
Employees'])
# Отображаем график

```

Таблица 1
Table 1

Результаты Запроса 1
Query 1 results

day	total hours	total hours plan	total employees
01.08	436,9	392	49
02.08	453,8	416	52
03.08	524,9	472	59
04.08	74,5	72	9
05.08	94,7	88	11
06.08	510,4	448	56
07.08	444	416	52
08.08	491,7	440	55
09.08	515,2	464	58
10.08	30,5	32	4

Результаты

В результате реализации рассмотренных запросов была получена информация, приведенная в табл. 1 и 2.

По итогу графического представления результатов первого запроса на основе Python можно сделать вывод, что фактическая выработка часов (синий столбец) превышает плановую выработку (оранжевый столбец). Над синими столбцами указано фактическое количество сотрудников, работающих в этот день (рис. 4).

Стоит отметить, что в исходной таблице присутствуют сотрудники, у которых отсутствует информация о выходе в определенные дни, и они в итоговый отчет не включены.

В Запросе 2 подсчет количества отработанных часов ведется по каждому сотруднику в отдельности.

Таблица 2
Table 2

Результаты Запроса 2
Query 2 results

second_name	first_name	last_name	total hours	deviation	week_hour_plan
Evdokimova	Kristina	Gennadevna	8,8	-71,2	80
Gracheva	Svetlana	Valentinovna	8,8	-71,2	80
Soloveva	Elena	Petrovna	8,8	-71,2	80
Shibalov	Artem	Aleksandrovich	18	-62	80
Lopukhina	Iuliia	Vladimirovna	18,1	-61,9	80
Martynova	Ekaterina	Alekseevna	18,3	-61,7	80
Pavlov	Kirill	Viktorovich	18,6	-61,4	80
Goriachev	Vasilii	Mikhailovich	18,8	-61,2	80
Petrova	Elizaveta	Eduardovna	19,8	-60,2	80
Baizhanova	Anna	Nikolaevna	26,7	-53,3	80
Troianova	Natalia	Iurevna	26,7	-53,3	80
Kapitonova	Olga	Vladimirovna	27,1	-52,9	80
Pudikov	Pavel	Aleksandrovich	27,2	-52,8	80

Следовательно, на графике отображается фамилия каждого сотрудника и общее количество его рабочих часов (рис. 5).

После получения всех данных и отчетов из общего количества часов вычитается константа 80 (плановая выработка часов за 10 дней, обозначена оранжевой линией, рис. 5) и формируется отклонение (deviation), которое показывает, сколько часов сотрудник недоделал или, наоборот, переработал. На основе полученной информации работодатель может сделать вывод, к каким работникам применять дисциплинарные взыскания, а кого, наоборот, поощрять.

На основе полученных данных можно сделать выводы о наилучшей и наихудшей эффективности сотрудника, группы, подразделения, о взаимосвязи рабочего времени и конкретном дне недели, об общей дисциплине сотрудников. В результате формируется возможность для принятия наиболее рациональных управленческих и организационных решений, а также определения дальнейших перспектив работы в компании.

Заключение и обсуждение

Таким образом, разработан инструмент системы мониторинга на строительной площадке для анализа эффективности работы сотрудников в течение заданного времени. С помощью данного функционала появляется дополнительная автоматизированная система контроля труда на основе данных системы СКУД и программных средств цифровизации. Данный инструмент может быть применен на других объектах строительства с функционирующей системой СКУД на строительной площадке.

В результате был создан прототип системы контроля посещаемости сотрудников на строительной площадке. После внедрения данной системы заинтересованные лица могут отслеживать статистику и сокращать затраты организации. В перспективе развития разработки – полная автоматизация процесса сбора и обработки информации СКУД, а также формирования отчета в виде графика на основе этих данных; автоматическое формирование отчета в виде графика, а также формирование единой системы контроля на строительных объектах.

Направления для дальнейшего развития в рамках рассмотренной темы включают в себя одновременно несколько составляющих: организация строительства, системы контроля и управления доступом, а также инструменты цифровизации. Интеграция вышеперечисленных систем обеспечит теоретическую и практическую основу для поиска способов повышения эффективности труда на основе анализа данных системы управления доступом на строительной площадке.

Список литературы / References

1. Ahmadisheykhsarmast S., Aminbakhsh S., Sonmez R., Uysal F. A transformative solution for construction safety: Blockchain-based system for accident information management. *Journal of Industrial Information Integration*. 2023. Vol. 35. 100491. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2023.100491>
2. Zhu Z., Ning S. Corporate digital transformation and strategic investments of construction industry in China. *Heliyon*. 2023. Vol. 9. Iss. 7. 2023. e17879. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17879>
3. Braun K., Kropp C. Building a better world? Competing promises, visions, and imaginaries-in-the-making of the digitalization of architecture and construction. *Futures*. 2023. Vol. 154. 103262. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2023.103262>
4. Xiao J., Zhang W., Zhong R.Y. Blockchain-enabled cyber-physical system for construction site management: A pilot implementation. *Advanced Engineering Informatics*. 2023. Vol. 57. 102102. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102102>
5. Сагидова М.Л. Современные системы контроля и управления доступом // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2022. № 9–1.
5. Sagidova M.L. Modern control and access management systems. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2022. No. 9–1. (In Russian).
6. Liu K., Wang C., Zhou X. Decentralizing access control system for data sharing in smart grid. *High-Confidence Computing*. 2023. Vol. 3. Iss. 2. 2023. 100113. <https://doi.org/10.1016/j.hcc.2023.100113>
7. Barrera-Animas A.Y., Davila Delgado J.M. Generating real-world-like labelled synthetic datasets for construction site applications. *Automation in Construction*. 2023. Vol. 151. 104850. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104850>
8. Wang Y., Liu J., He X., Wang B. Design and realization of rock salt gas storage database management system based on SQL Server. *Petroleum*. 2018. Vol. 4. Iss. 4, pp. 466–472. <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2017.10.001>
9. Link S., Koehler H., Gandhi A., Hartmann S., Thalheim B. Cardinality constraints and functional dependencies in SQL: Taming data redundancy in logical database design. *Information Systems*. 2023. Vol. 115. 102208. <https://doi.org/10.1016/j.is.2023.102208>
10. Pal A., Lin J.J., Hsieh S.H., Golparvar-Fard M. Automated vision-based construction progress monitoring in built environment through digital twin. *Developments in the Built Environment*. 2023. Vol. 16. 100247. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100247>
11. Жук М.М. SQL: от традиционных баз данных к большим данным // *Точная наука*. 2022. № 136. С. 4–8.
11. Zhuk M.M. SQL: from traditional databases to big data. *Tochnaya nauka*. 2022. No. 136, pp. 4–8. (In Russian).

УДК 711.4

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-54-60>

П. Ю. ВОРОБЬЕВ, преподаватель (VorobevPYU@mgsu.ru)

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Линейная фильтрация шума в облаке точек, полученном фотограмметрическими методами

В геодезических изысканиях при использовании современных методов сбора геопространственных данных важным этапом является обеспечение достаточной точности, а также уменьшение возможных ошибок в получаемых данных. В задачах фотограмметрической обработки при создании облаков точек отмечается высокая степень подверженности получаемых данных «шуму» – появлению паразитных точек, чье положение в пространстве не соответствует реальной геометрии исследуемого объекта. Это происходит из-за технических особенностей применяемого оборудования, алгоритмов обработки и сжатия изображений, алгоритмов фотограмметрической обработки изображений, а также из-за особенностей снимаемой сцены. Данная проблема особенно актуальна при применении фотограмметрических методов для получения данных по результатам фотосъемки объектов с монотонным цветом поверхности без ярко выраженной текстуры, в том числе в зимнее время года при высокой степени заснеженности, когда затруднен поиск связующих точек и сопоставление изображений. Автором рассмотрена возможность применения фильтров на основе статистических параметров распределения шума в облаке точек для уменьшения шума полученных данных на примере фотограмметрической съемки образцов с различной степенью непрозрачности текстуры. Установлено, что статистическое распределение шума в указанных условиях съемки для проанализированных выборок в общем случае не соответствует единому виду статистического распределения с предсказуемыми параметрами. Показано применение фильтра Калмана к полученным данным, определены его качественные характеристики, а также сделана количественная оценка эффекта его применения.

Ключевые слова: фотограмметрия, цифровая реконструкция, строительство, статистический анализ, облака точек, цифровой шум, цифровые изыскания.

Для цитирования: Воробьев П. Ю. Линейная фильтрация шума в облаке точек, полученном фотограмметрическими методами // *Жилищное строительство*. 2023. № 11. С. 54–60.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-54-60>

P. Yu. VOROBIEV, Teacher, Junior Researcher (VorobevPYU@mgsu.ru)

National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Linear Noise Filtering in a Point Cloud Obtained by Photogrammetric Methods

In geodetic surveys, when using modern methods of collecting geospatial data, an important stage is to ensure sufficient accuracy, as well as reduce possible errors in the obtained data. In photogrammetric processing tasks when creating point clouds, there is a high degree of susceptibility of the resulting data to “noise” - the appearance of spurious points whose position in space does not correspond to the real geometry of the object under study. This occurs due to the technical features of the equipment used, image processing and compression algorithms, photogrammetric image processing algorithms, as well as due to the features of the scene being filmed. This problem is especially relevant when using photogrammetric methods to obtain data from the results of photographing objects with a monotonous surface color without a pronounced texture, including in the winter season with a high degree of snow cover, when it is difficult to find connecting points and compare images. The author considers the possibility of using filters based on statistical parameters of noise distribution in a point cloud to reduce the noise of the obtained data using the example of photogrammetric shooting of samples with varying degrees of texture opacity. It is shown that the statistical distribution of noise under the specified shooting conditions for the analyzed samples in the general case does not correspond to a single type of statistical distribution with predictable parameters. The use of the Kalman filter to the obtained data is shown, its qualitative characteristics of application are determined, and a quantitative assessment of the effect of its application is made.

Keywords: photogrammetry, digital reconstruction, construction, statistical analysis, point clouds, digital noise, digital surveying.

For citation: Vorobiev P. Yu. Linear noise filtering in a point cloud obtained by photogrammetric methods. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 11, pp. 54–60. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-54-60>

Современное строительство и эксплуатация зданий, сооружений и территорий ставят задачи по реализации определения и мониторинга геометрических параметров объектов строительства на всех этапах жизненного цикла [1, 2]. При этом большая протяженность и площадь инфраструктуры и ее постоянное расширение требуют применения методов

мониторинга, позволяющих собирать и обрабатывать значительные объемы данных с высокой степенью автоматизации [3]. С учетом этого все большей популярностью пользуется инструмент получения пространственных данных с использованием фотограмметрических методов, в том числе с применением беспилотных авиационных систем [3–6].

При данном подходе с применением цифровых фотокамер (чаще всего расположенных в составе беспилотных авиационных систем), а также технологии спутниковой навигации (GNSS) выполняется фото-съемка объекта с заданными параметрами ориентации камер. Одновременно ведется запись данных о положении камеры в пространстве в привязке к заданной системе координат. На следующем этапе полученные снимки и данные об их ориентации и положении в пространстве обрабатываются в специализированном программном обеспечении с использованием фотограмметрических алгоритмов, что позволяет получать облака точек – набор данных о положении характерных точек объекта в пространстве [7].

Характерной особенностью данного метода является относительно невысокая точность получаемых данных. При проведении съемки площадных или протяженных объектов точность определения координат контрольных знаков находится в пределах 1–10 см (в зависимости от условий съемки и обработки). При этом для объектов с малым градиентом высот часто ошибки определения координат контрольных знаков по оси Z (ось высот) больше, чем по осям X, Y [8, 9].

Данный эффект связан с несколькими факторами: технические и алгоритмические ограничения по определению ориентации и положения камер в пространстве; наличие шумов и искажений на фотографиях, особенности снимаемой сцены.

Главным «симптомом» данного эффекта является появление в облаке точек большого количества шумов. В данном случае шум – это паразитные точки, для которых положение в пространстве определено с большой ошибкой и не соответствует реальным геометрическим параметрам исследуемого объекта.

Как отмечается в практике применения фотограмметрических методов, одним из наиболее влияющих факторов на наличие и количественные показатели шума в результатах фотограмметрической съемки является слабовыраженная текстура снимаемых поверхностей, когда поверхность не имеет характерных выраженных визуальных ориентиров, что приводит к ошибкам поиска и репроекции точек в облаке точек в данной области и, как следствие, к увеличению шума [10]. Демонстрация данного эффекта представлена на рис. 1, где в одной заданной локальной области снимаемого объекта отобраны два набора данных точек с различной степенью детализации текстуры и прочими равными параметрами.

Как видим, качественный и количественный анализ показывает, что в области с более выраженной текстурой (справа) количество шумов меньше, чем в области с менее выраженной текстурой (слева).

Вместе с тем применение алгоритмов фильтрации облака точек может в значительной степени снизить

количество шума в результатах измерений, повысить качество данных [11–14]. Однако на сегодняшний момент отсутствует достаточное количество исследований, обосновывающих использование различных подходов к фильтрации данных в облаках точек, не определены четкие критерии и границы применимости различных методов [14, 15].

Автором определена цель исследования как определение возможности применения фильтров на основе статистических параметров распределения шума в облаке точек для уменьшения шума полученных данных при применении фотограмметрических методов в сценариях съемки сцен с различной степенью выраженности (непрозрачности) текстурной поверхности.

Используемые материалы и методы исследований

Для проведения исследования был подготовлен набор тестовых образцов в виде листов размерами А3 с нанесенной методами плоской печати текстурой с различной степенью выраженности (непрозрачности) – от 0 до 100% с шагом в 10% (всего 11 образцов); образцы изображены на рис. 2.

Для создания текстуры использованы четыре вида регулярных текстурированных блоков, которые были смещены друг относительно друга с шагом, непропорциональным периоду их повторяемости. Таким образом для каждой области исследуемых образцов была получена уникальная текстурная поверхность. Также на образцы были нанесены специализированные графические метки с 12-битным кодированием для дальнейшего помещения результатов съемки в единую локальную систему координат.

Для всех образцов выполнена съемка в специальной установке, обеспечивавшей точную повторяемость траектории движения камеры и мест выполнения каждого отдельного снимка. Было обеспечено постоянство

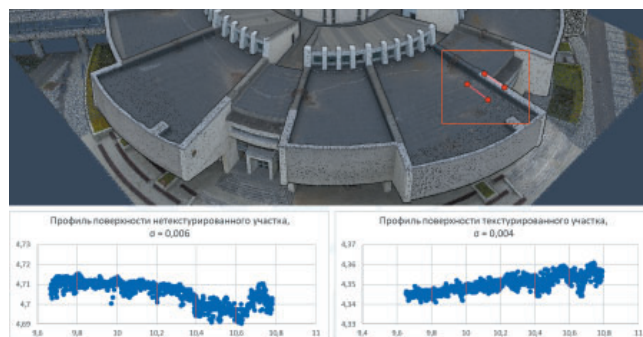


Рис. 1. Демонстрация локального участка облака точек (сверху), а также выборки точек в области с более выраженной текстурой (справа) и области с менее выраженной текстурой (слева): σ – стандартная ошибка для выбранного набора данных

Fig. 1. Demonstration of a local section of the point cloud (from above), as well as samples of points in an area with a more pronounced texture (on the right) and an area with a less pronounced texture (on the left): σ – standard error for the selected data set

высоты съемки, освещения, параметров съемки (светочувствительность матрицы, скорость срабатывания затвора, величина раскрытия диафрагмы, цветовой баланс). Таким образом, единственным изменяемым параметром в ходе эксперимента являлась непрозрачность текстурной поверхности образцов.

По результатам съемки для каждого образца была получена серия из 32 фотографий, для которых продольное перекрытие составило ~60%, поперечное перекрытие составило ~70%.

Фотограмметрическая обработка снимков и получение облаков точек осуществлялись с использованием ПО Agisoft Metashape. В ходе обработки снимков уточнены позиции и параметры ориентирования снимков в пространстве, получены плотные облака точек в соответствии с рекомендациями производителя программного обеспечения (Руководство пользователя Agisoft Metashape (дата обращения 27.09.2023) https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_7_ru.pdf). При этом для образца со степенью непрозрачности текстуры 0% не удалось восстановление облака точек, соответствующего реальным параметрам исследуемого образца: позиции камеры были определены с ошибкой из-за невозможности поиска алгоритмом достаточного количества связующих точек на фотографиях. В связи с этим данный образец был исключен из дальнейшего исследования.

После получения облаков точек выбраны две зоны для формирования выборки точек для дальнейшего исследования и определения вида статистического распределения:

1. Зона, в которой для каждой точки в указанной зоне определено ее положение на основе сопоставления не более двух фотографий (рис. 3, а).

2. Зона, в которой для каждой точки в указанной зоне определено ее положение на основе сопоставления не более четырех фотографий (рис. 3, б).

По результатам отбора выборок точек (всего 20 наборов данных) для каждого набора данных была подобрана интерполирующая кривая на основе метода наименьших квадратов. Применялась полиномиальная функция со степенью от 2 до 6 на основе оценки коэффициента детерминации R^2 .

Для оценки шума в данных выборках на основе полученных интерполирующих кривых получена разница между реальным положением точки в облаке точек и значением интерполирующей кривой для соответствующей точки вектора данных – шум:

$$Z_{nk} = Z_k - Z_{ik}, \quad (1)$$

где Z_{nk} – значение отклонения между определенным фотограмметрическими методами положением точки Z_k и соответствующим значением интерполирующей кривой Z_{ik} .

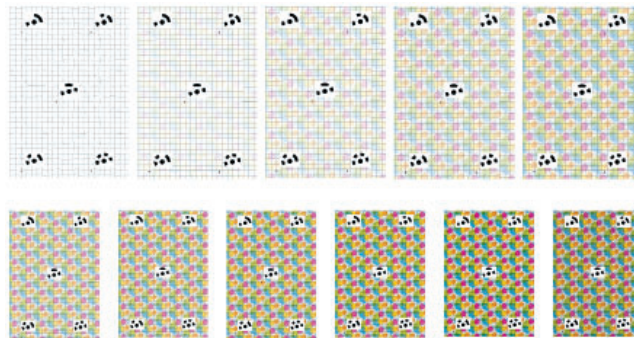


Рис. 2. Образцы: верхний ряд (слева направо) с прозрачностью текстуры 0–40%; нижний ряд (слева направо) с прозрачностью текстуры 50–100%

Fig. 2. Samples: top row from left to right with texture transparency 0–40%; bottom row from left to right with texture transparency 50–100%

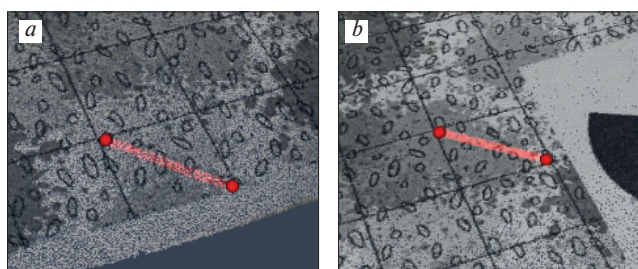


Рис. 3. Демонстрация зон выборок точек: а – зона с низкой достоверностью точек; б – зона с высокой достоверностью точек

Fig. 3. Demonstration of point sampling zones: а – zone with low reliability of points; б – zone with high reliability of points

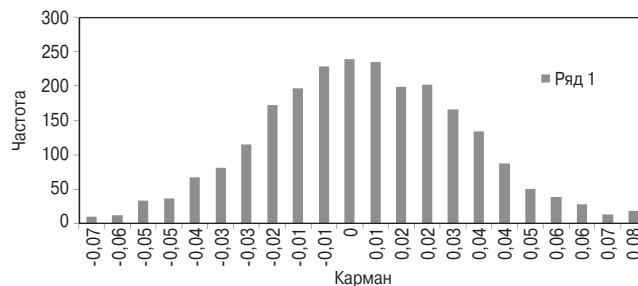


Рис. 4. Гистограмма распределения шума для зоны низкой достоверности образца с непрозрачностью текстуры 40%

Fig. 4. Histogram of noise distribution for a low-confidence zone of a sample with a texture opacity of 40%

Полученный массив для каждого набора данных обработан методами описательной статистики, получены данные: среднее, стандартная ошибка, медиана, мода, стандартное отклонение, дисперсия выборки, эксцесс, асимметричность; были построены гистограммы. После этого к каждому набору данных был применен фильтр Калмана в численной реализации.

При этом в упрощенной численной реализации, когда состояние системы представлено всего одной переменной, данный фильтр имеет два глобальных параметра, которые могут быть подобраны для необходимой степени фильтрации в каждом конкретном случае: R – ошибка измерения может быть определена испытанием измерительных приборов и определением погрешности их измерения (ожидаемая ошибка,

ковариация шума измерения); Q – мера дисперсии процесса (ковариация шума процесса). И тогда обшая его реализация может быть описана в два этапа.

1. Предсказание:

$$\begin{aligned} \hat{x}_k^- &= F\hat{x}_{k-1} + Bu_{k-1}; \\ P_k^- &= FP_{k-1}F + Q, \end{aligned} \quad (2)$$

где \hat{x}_k^- – предсказание состояния системы на текущем шаге; F – матрица перехода между состояниями; \hat{x}_{k-1} – состояние системы на прошлом шаге; B – матрица применения управляющего воздействия; u_{k-1} – управляющее воздействие на предыдущем шаге; P_k^- – предсказание ошибки; P_{k-1} – ошибка на предыдущем шаге.

2. Корректировка:

$$\begin{aligned} K_k &= \frac{P_k^- H}{HP_k^- H + R}; \\ \hat{x}_k &= \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-); \\ P_k &= (1 - K_k H)P_k^-, \end{aligned} \quad (3)$$

где K_k – усиление Калмана; H – матрица измерений; z_k – измерение на текущем шаге; P_k – ошибка ковариации на текущем шаге.

Результаты исследований

Визуальный анализ полученных гистограмм статистических распределений показал близость характера распределений к нормальному распределению. Пример полученной гистограммы для зоны низкой достоверности образца с непрозрачностью текстуры 40% представлен на рис. 4.

Однако для более точной оценки возможности описания всех наборов данных единым характером были проанализированы наиболее показательные параметры, используемые для оценки схожести статистических распределений полученных наборов данных, – коэффициент эксцесса, а также коэффициент асимметрии.

Была построена зависимость коэффициента эксцесса от степени непрозрачности текстуры. Указанная зависимость для зоны с низкой достоверностью

Результаты сравнения полученных фактических и теоретических распределений
Results of comparison of the obtained actual and theoretical distributions

Величина непрозрачности текстуры	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Значение критической области распределения $\chi^2_{кр}$ (зона низкой достоверности)	32,67	36,42	30,14	32,67	21,03	47,4	40,11	40,11	38,89	47,4
Полученное значение χ^2 (зона низкой достоверности)	227,69	145,17	429,5	90,58	116,95	94,11	68,47	107,8	72,29	45,07
Полученное теоретическое распределение в виде нормального распределения соответствует фактическим данным (зона низкой достоверности)	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
Значение критической области распределения $\chi^2_{кр}$ (зона высокой достоверности)	51	49,8	49,8	52,19	51	53,38	58,12	56,94	59,30	61,66
Полученное значение χ^2 (зона высокой достоверности)	20,5	80,5	35,6	29,79	22,78	36,77	78,85	37,76	132,74	448,25
Полученное теоретическое распределение в виде нормального распределения соответствует фактическим данным (зона высокой достоверности)	Да	Нет	Да	Да	Да	Да	Нет	Да	Нет	Нет

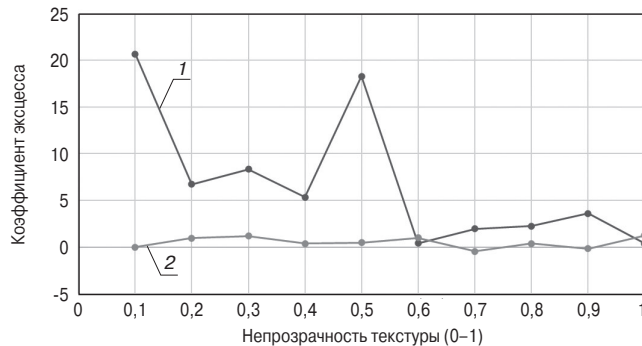


Рис. 5. Коэффициент эксцесса для выборок точек из зоны с низкой достоверностью (НД), зоны с высокой достоверностью (ВД) и непрозрачностью текстуры от 10 до 100%: 1 – эксцесс НД; 2 – эксцесс ВД

Fig. 5. Kurtosis coefficient for point samples from a low-confidence (LC) zone, a high-confidence (HC) zone and texture opacity from 10% to 100%: 1 – excess LC; 2 – excess HC

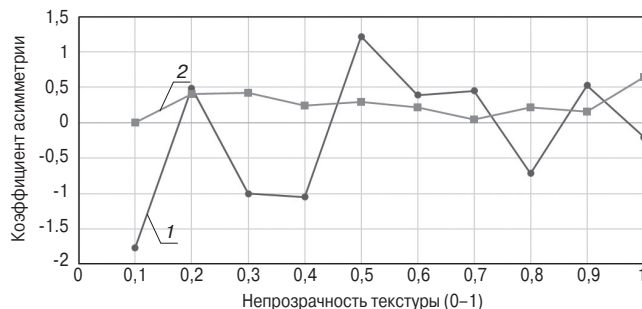


Рис. 6. Коэффициент асимметрии для выборок точек из зоны с низкой достоверностью и зоны с высокой достоверностью и непрозрачностью текстуры от 10 до 100%: 1 – асимметричность НД; 2 – асимметричность ВД

Fig. 6. Asymmetry coefficient for point samples from a low-confidence zone and a high-confidence zone and texture opacity from 10% to 100%: 1 – asymmetry of LC; 2 – asymmetry of HC

(НД) и зоны с высокой достоверностью (ВД) представлена на рис. 5.

Также была построена зависимость коэффициента асимметрии от степени непрозрачности текстуры. Указанная зависимость для зоны с низкой достоверностью и зоны с высокой достоверностью представлена на рис. 6.

Как видно из представленных материалов, для зоны с низкой достоверностью характерны большие

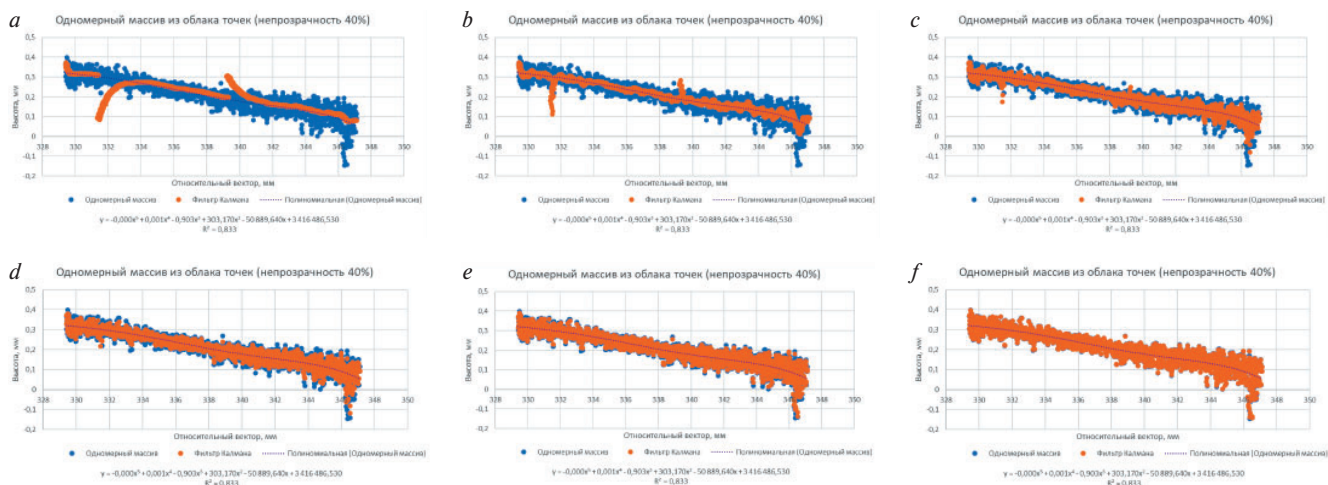


Рис. 7. Демонстрация работы фильтра Калмана на выборке данных при варьировании Q : $a - R=1, Q=0,01$; $b - R=1, Q=0,1$; $c - R=1, Q=0,5$; $d - R=1, Q=1$; $e - R=1, Q=2$; $f - R=1, Q=5$

Fig. 7. Demonstration of the operation of the Kalman filter on a sample of data with varying Q : $a - R=1, Q=0.01$; $b - R=1, Q=0.1$; $c - R=1, Q=0.5$; $d - R=1, Q=1$; $e - R=1, Q=2$; $f - R=1, Q=5$

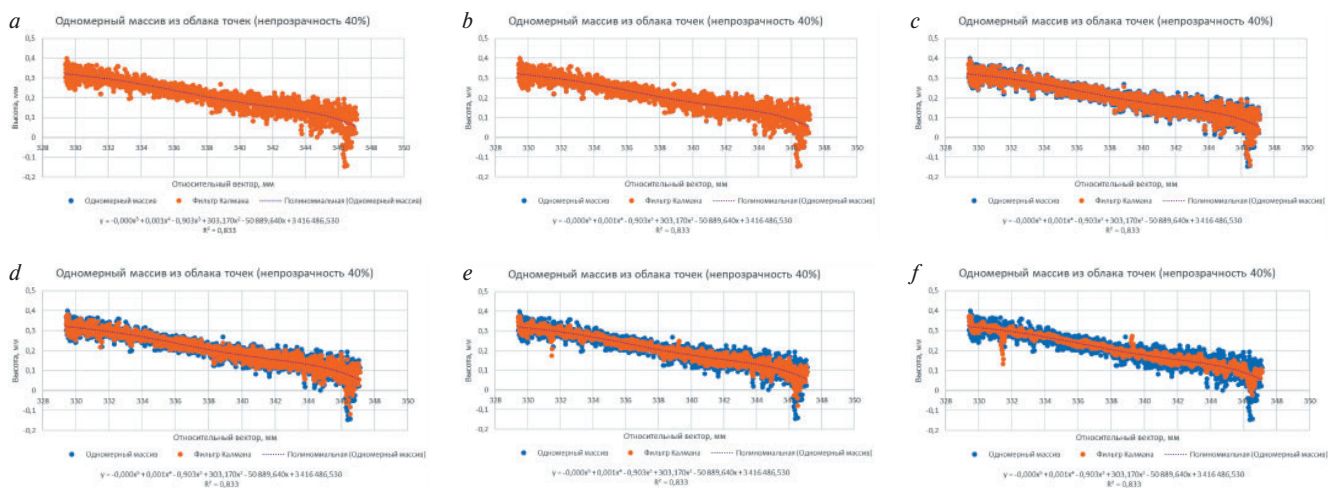


Рис. 8. Демонстрация работы фильтра Калмана на выборке данных при варьировании R : $a - Q=1, R=0,01$; $b - Q=1, R=0,1$; $c - Q=1, R=0,5$; $d - Q=1, R=1$; $e - Q=1, R=2$; $f - Q=1, R=5$

Fig. 8. Demonstration of the operation of the Kalman filter on a sample of data with varying R : $a - Q=1, R=0.01$; $b - Q=1, R=0.1$; $c - Q=1, R=0.5$; $d - Q=1, R=1$; $e - Q=1, R=2$; $f - Q=1, R=5$

значения коэффициента эксцесса в сравнении с зоной с высокой достоверностью (в среднем до 108 раз больше), при этом отсутствует ярко выраженная зависимость коэффициента эксцесса от степени непрозрачности текстуры. Также для зоны с низкой достоверностью изменения коэффициента эксцесса в зависимости от непрозрачности текстуры имеют широкий диапазон от 0,37 до 20,69.

В то же время для зоны низкой достоверности характерна высокая степень асимметрии с разнознаковым коэффициентом асимметрии и большими отличиями указанного коэффициента в пределах варьирования непрозрачности текстуры: от -1,76 до 1,22. При этом также отсутствует ярко выраженная зависимость коэффициента асимметрии от степени непрозрачности текстуры.

Эти наблюдения позволяют сделать вывод о том, что для зоны с невысокой степенью достоверности

статистическое распределение имеет различный характер для разных наборов данных, что делает, в свою очередь, невозможным использование одной модели фильтрации и предсказание необходимых параметров фильтрации на основе статистических параметров распределения шума в указанной области.

Вместе с тем для зоны с высокой достоверностью характерна меньшая разница по модулю для указанных коэффициентов (коэффициент эксцесса лежит в пределах от -0,45 до 1,23, а коэффициент асимметрии в пределах от -0,0009 до 0,65).

Это говорит о лучшей предсказуемости статистического распределения шума в указанных областях с высокой достоверностью, однако в реальной практике необходимость оценки зон применения различных типов фильтрации и применения алгоритмов, основанных на нескольких типах фильтрации, приведет к значительному росту необходимой вычислитель-

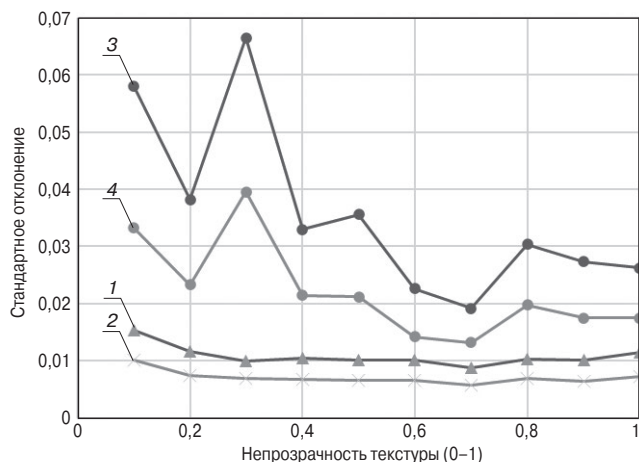


Рис. 9. Стандартное отклонение для выборок данных и выборок данных с применением фильтра Калмана: 1 – стандартное отклонение (высокая достоверность); 2 – стандартное отклонение Калман (высокая достоверность); 3 – стандартное отклонение (низкая достоверность); 4 – стандартное отклонение Калман (низкая достоверность)

Fig. 9. Standard deviation for data samples and data samples using the Kalman filter: 1 – standard deviation (high confidence); 2 – Kalman standard deviation (high confidence); 3 – standard deviation (low confidence); 4 – Kalman standard deviation (low confidence)

ной мощности, поэтому применение такого подхода должно быть обосновано сформулированными и оцениваемыми требованиями к наборам данных.

Для демонстрации выводов о невозможности описания распределений в виде статистического распределения с одним характером (нормальное распределение) для каждого из набора данных на основе определенных параметров распределения построено нормальное распределение и сделан анализ соответствия двух полученных распределений на основе критерия согласия Пирсона (критерий согласия χ^2). Результаты анализа (с принятой вероятностью критерия 0,05) представлены в таблице.

Для случаев, когда применение фильтров, основанных на параметрах статистических распределений, необоснованно, представляется возможным применение линейных фильтров для дискретных распределений, когда степень «сглаживания» в зоне фильтрации зависит только от значений окружающих точек, а также от глобальных выбранных параметров фильтра.

Одним из самых популярных линейных фильтров цифровых сигналов является фильтр Калмана, который достаточно прост в алгоритмической реализации, при этом реализует алгоритм фильтрации, учитывая шум в данных от сенсоров и предыдущую информацию о состоянии системы.

При реализации указанного алгоритма значение R (ковариация шума измерения) может быть оценено путем оценки стандартного отклонения в выборке, в то же время определение значения Q (ковариация шума процесса) более сложно. В любом случае без

установленного критерия оптимальности применения указанного фильтра оба параметра могут быть подобраны для обеспечения требуемого уровня фильтрации.

При этом определение критериев оптимальности применения фильтра Калмана можно ярко продемонстрировать путем вариации указанных двух параметров на примере одного набора данных. Используем выборку, соответствующую зоне с низкой степенью достоверности и непрозрачностью текстуры 40%, применим к ней фильтр Калмана, при этом пусть $R=1$; Q изменяем в промежутке от 0,01 до 5 (рис. 7).

Как видим, приближение параметра Q к нулю приводит к образованию артефактов в некоторых зонах, когда происходит системная ошибка вычисляемых координат фильтрованного массива. В данных местах артефактов имеется существенное отклонение как от ожидаемой величины точки, так и от фактически измеренной.

При этом при увеличении параметра Q происходит уменьшение влияния артефактов, однако уменьшается степень фильтрации и при $Q \rightarrow \infty$ эффект влияния фильтра минимален.

Проведем подобную вариацию параметра R . Пусть $Q=1$, R меняется в промежутке от 0,01 до 5 (рис. 8).

Как видим, при увеличении параметра R происходит образование артефактов в некоторых зонах, когда происходит системная ошибка вычисляемых координат фильтрованного массива. В данных местах артефактов имеется существенное отклонение как от ожидаемой величины точки, так и от фактически измеренной.

При этом при уменьшении параметра R происходит уменьшение влияния артефактов, однако уменьшается степень фильтрации и при $R \rightarrow 0$ эффект влияния фильтра минимален.

В общем же случае, приняв параметры $Q=0,25$, $R=0,5$, получим следующие зависимости стандартного отклонения для выборок при варьировании непрозрачности от 0 до 100% (рис. 9).

Как видим, применение фильтра Калмана позволило снизить величину стандартного отклонения в среднем в 1,59 раза для зоны низкой достоверности и в 1,53 раза для зоны высокой достоверности.

Выводы

В общем случае при низкой степени достоверности определения точек в пространстве фотограмметрическими методами характер распределения шума имеет непредсказуемые параметры и не соответствует одному (или сочетанию нескольких определенных) статистическому распределению. Вместе с тем при росте достоверности характер распределения шума имеет более предсказуемые параметры и в общем

случае описывается или приближается к нормальному распределению. Это позволяет сделать вывод о том, что при формулировании точных критериев применимости способов фильтрации на основе статистических параметров их применение может быть в достаточной степени эффективным. Определение качественных и количественных эффектов от применения подобных способов фильтрации имеет исследовательский и практический смысл, в том числе для разработки алгоритмов фильтрации облаков точек для задач фотограмметрической съемки объектов строительства, а также протяженных и площадных объектов и территорий.

Применение фильтра Калмана помогает в значительной степени снизить количество шума в облаке точек, но при этом его эффективность сильно зависит от сформулированных критериев оптимальности его применения. Таким образом, представляется перспективным направлением исследования определение указанных критериев оптимальности, в том числе с целью реализации алгоритма автоматизированной фильтрации шума в облаке точек.

Список литературы / References

1. Rinke N., Gösseln I., Kochkine V., Schweitzer V., Berkahn V., Berner F., Kutterer H., Neumann I., Schwieger V. Simulating quality assurance and efficiency analysis between construction management and engineering geodesy. *Automation in Construction*. 2017. Vol. 76, pp. 24–35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.01.009>
2. Halder S., Afsari K., Chiou E., Patrick R., Hamed K.A. Construction inspection & monitoring with quadruped robots in future human-robot teaming: A preliminary study. *Journal of Building Engineering*. 2023. Vol. 65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105814>
3. Jeelani I., Gheisari M. Safety challenges of UAV integration in construction: Conceptual analysis and future research roadmap. *Safety Science*. 2021. Vol. 144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105473>
4. Kiriak N. Development and implementation of technical decision for digital support of construction using photogrammetry methods. *Nuclear Engineering and Design*. 2021. Vol. 381. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2021.111366>
5. Huang R., Xu Y., Hoegner L., Stilla U. Semantics-aided 3D change detection on construction sites using UAV-based photogrammetric point clouds. *Automation in Construction*. 2022. Vol. 134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104057>
6. Han Y., Feng D., Wu W., Yu X., Wu G., Liu J.. Geometric shape measurement and its application in bridge construction based on UAV and terrestrial laser scanner. *Automation in Construction*. 2023. Vol. 151. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104880>
7. Ye N., Zhu H., Wei M., Zhang L. Accurate and dense point cloud generation for industrial Measurement via target-free photogrammetry. *Optics and Lasers in Engineering*. 2021. Vol. 140. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2020.106521>
8. Daponte P., Luca De Vito, Mazzilli G., Picariello F., Rapuano S. A height measurement uncertainty model for archaeological surveys by aerial photogrammetry. *Measurement*. 2017. Vol. 98, pp. 192–198. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.11.033>
9. Mukhlisin M., Hany Windri Astuti, Kusumawardani R., Eni Dwi Wardihani, Bambang Supriyo. Rapid and low cost ground displacement mapping using UAV photogrammetry. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2023. Vol. 130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2023.103367>
10. Remzi Eker. Comparative use of PPK-integrated close-range terrestrial photogrammetry and a handheld mobile laser scanner in the measurement of forest road surface deformation. *Measurement*. 2023. Vol. 206. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112322>
11. Jinxi Wang, Jincen Jiang, Xuequan Lu, Meili Wang. Rethinking point cloud filtering: a non-local position based approach. *Computer-Aided Design*. 2022. Vol. 144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2021.103162>
12. Nannan Qin, Weikai Tan, Lingfei Ma, Dedong Zhang, Haiyan Guan, Jonathan Li. Deep learning for filtering the ground from ALS point clouds: A dataset, evaluations and issues. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2023. Vol. 202, pp. 246–261. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.06.005>
13. Chuanfa Chen, Jiaojiao Guo, Yanyan Li, Lianzhong Xu. Segmentation-based hierarchical interpolation filter using both geometric and radiometric features for LiDAR point clouds over complex scenarios. *Measurement*. 2023. Vol. 211. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.112668>
14. Dening Lu, Xuequan Lu, Yangxing Sun, Jun Wang. Deep feature-preserving normal estimation for point cloud filtering. *Computer-Aided Design*. 2020. Vol. 125. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2020.102860>
15. Zhou Wu, Yan Zeng, Dongsheng Li, Jiepeng Liu, Liang Feng. High-volume point cloud data simplification based on decomposed graph filtering. *Automation in Construction*. 2021. Vol. 129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103815>

УДК 69.059

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-61-64>

С.И. ЕВТУШЕНКО, д-р техн. наук, профессор, почетный работник высшего образования РФ,
советник РААСН (evtushenkosi@mgsu.ru),
М.Г. ФЕТТЕР, аспирант (f3tter@ya.ru),
М.А. КУЧУМОВ, аспирант (m.kuchumov.1996@mail.ru)

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Новый датчик на основе электрохимического преобразователя

Описан новый датчик, который относится к измерительной технике, предназначен для преобразования динамических механических величин, в том числе вибрационного и ударного ускорения, сейсмических смещений, в электрический сигнал и может быть использован в различных отраслях, в частности в строительной, а также сейсмических измерениях, экспериментальных исследованиях. Прибор обеспечивает повышенную точность в измерении динамически изменяющихся характеристик строительных несущих конструкций в целях обеспечения безопасности их эксплуатации.

Ключевые слова: электрохимический датчик, динамические напряжения, техническая эксплуатация зданий и сооружений, мониторинг состояния строительных несущих конструкций, патент.

Для цитирования: Евтушенко С.И., Феттер М.Г., Кучумов М.А. Новый датчик на основе электрохимического преобразователя // *Жилищное строительство*. 2023. № 11. С. 61–64.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-61-64>

S.I. EVTUSHENKO, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Honorary Worker of Higher Education of the Russian Federation,
Advisor of RAACS (evtushenkosi@mgsu.ru),
M.G. FETTER, Postgraduate (f3tter@ya.ru), M.A. KUCHUMOV, Postgraduate (m.kuchumov.1996@mail.ru)
National Research Moscow State University of Civil Engineering (26 Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation)

A New Sensor Based on an Electrochemical Converter

A new sensor that relates to measuring technology, is designed to convert dynamic mechanical quantities, including vibration and shock acceleration, seismic, displacement, into an electrical signal and can be used in various industries, in particular in construction, seismic measurements, experimental research is described. The device provides increased accuracy in measuring the dynamically changing characteristics of building load-bearing structures in order to ensure the safety of their operation.

Keywords: electrochemical sensor, dynamic stresses, technical operation of buildings and structures, monitoring of the condition of building load-bearing structures, patent

For citation: Evtushenko S.I., Fetter M.G., Kuchumov M.A. A new sensor based on an electrochemical converter. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 11, pp. 61–64. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-61-64>

Состояние строительных конструкций зданий и сооружений напрямую связано с условиями эксплуатации, качеством строительства и проектирования. Воздействие агрессивных технологических сред, природных и климатических явлений, эксплуатационных нагрузок напрямую влияет на изменение эксплуатационных свойств, в том числе несущей способности, а также на снижение их остаточного ресурса [1, 2]. Особую роль играют динамические напряжения, ударные и вибрационные воздействия, эффект от которых может накапливаться. Эта проблема актуальна для инфраструктурных сооружений, таких как примыкающие к железнодорожным путям здания и сооружения, мосты, теплотрассы и др. Динамиче-

ские воздействия также в разной степени влияют на величину неравномерных деформаций грунтов оснований и на дефекты в несущих конструкциях зданий, что увеличивает риск возникновения аварийных ситуаций, представляющих угрозу жизни и здоровью людей. Своевременному выявлению подобных угроз способствует система мониторинга воздействий на строительные конструкции. Многолетние наблюдения показывают, что внедрение комплексного автоматизированного мониторинга при эксплуатации зданий и сооружений необходимо в автоматическом режиме на всем протяжении эксплуатации объекта [3, 4].

Вопрос усовершенствования методик мониторинга технического состояния зданий и сооружений зани-

мает одно из первых мест в системе комплексной безопасности функционирования строительных объектов, и немаловажным аспектом развития в данном направлении является совершенствование инструментальной базы. Таким образом, улучшение характеристик измерительных устройств, определяющих динамические воздействия, способствует повышению безопасности использования зданий и сооружений, а также повышению эффективности их эксплуатации.

Для определения воздействия динамически изменяющихся величин на строительные конструкции на сегодня применяются тензометрические, индукционные, магнитные датчики. Использование датчиков при мониторинге обеспечивает раннее обнаружение опасных дефектов, что в итоге позволяет вовремя производить ремонтные или восстановительные работы [5–6]. Электрохимические датчики обеспечивают прямое преобразование механических величин в электрические сигналы. Тензометрические датчики, используемые для мониторинга вибраций и деформаций строительных конструкций, могут выходить из строя за счет разрушения клеевого слоя. Выбор между электрохимическими и тензометрическими датчиками зависит от конкретных потребностей проекта, от условий среды и эксплуатации конструкций и продолжительности мониторинга. Комбинация использования обоих типов датчиков в ряде случаев может обеспечить наилучшие результаты в мониторинге строительных конструкций, позволяя компенсировать ограничения каждого типа. В статье описан ход разработки нового прототипа электрохимического датчика, обеспечивающего повышенную точность в измерении динамически изменяющихся величин [7–10].

Методы исследований. Электрохимические датчики функционируют на основе трансформации физической величины в электрический сигнал. Эти датчики измеряют такие параметры, как деформация, уровень вибрации, сжатие, растяжение и давление. Примером такого датчика может служить датчик напряжений в грунте (рис. 1) [3].

В качестве прототипа принят датчик механических величин, состоящий из цилиндрического стального корпуса с жестким дном, защищающего внутренние конструктивные элементы от попадания влаги и частиц грунта, электрохимической ячейки и рабочей крышки, представляющей собой стальную пластину.

Внутри электрохимической ячейки из электроизоляционного материала (акрила) жестко заземлены по контуру две круглые упругие металлические мембраны, выполняющие роль электродов, к которым припаяны контакты, выведенные за корпус датчика. Мембраны расположены параллельно друг другу, а на их внутренние поверхности нанесены – на величине

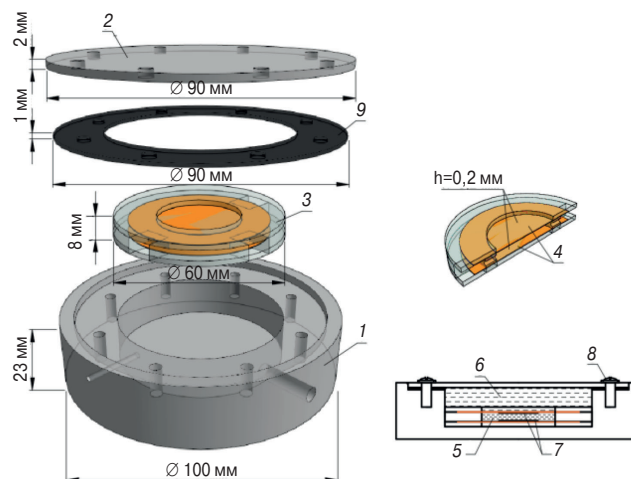


Рис. 1. Схема устройства датчика напряжений в грунте: 1 – корпус; 2 – рабочая крышка; 3 – электрохимическая ячейка; 4 – упругие металлические мембраны; 5 – электролит; 6 – гидравлическая жидкость; 7 – электроизоляционное покрытие; 8 – винт; 9 – резиновая прокладка

Fig. 1. Diagram of the stress sensor in the ground: 1 – body; 2 – working cover; 3 – electrochemical cell; 4 – elastic metal membranes; 5 – electrolyte; 6 – hydraulic fluid; 7 – electrical insulating coating; 8 – screw; 9 – rubber gasket

ну половины их радиуса – круглые эластичные электроизоляционные покрытия из резины. Наличие защитного покрытия в таком исполнении продиктовано характеристикой возникающего в мембранах изгибающего момента при их деформации под нагрузкой.

Пространство между упругими металлическими мембранами заполнено раствором электролита. Между верхней упругой металлической мембраной электрохимической ячейки и рабочей крышкой датчика находится гидравлическая деаэрированная жидкость, передающая механические деформации от исследуемой среды.

Недостатками такого датчика являются: затруднение достижения миниатюризации датчика, вызванное необходимостью иметь большую ширину упругой пластины, к которой крепятся корпуса электрохимических ячеек; снижение надежности работы датчика, вызванное увеличением риска утечки электролита из двух электрохимических ячеек в связи со сложной конфигурацией приклеенных корпусов и возможностью их внешнего механического повреждения; снижение достоверности измерений, вызванное возможным отличием электрохимических процессов на деформируемых поверхностях электродов и поверхностях токосъемных электродов электрохимических ячеек.

Результаты исследований. В результате работы сформулирована суть изобретения и его основные конструктивные особенности.

На рис. 2 показан общий вид датчика. Датчик механических величин состоит из чувствительного элемента консольного типа в виде Г-образной

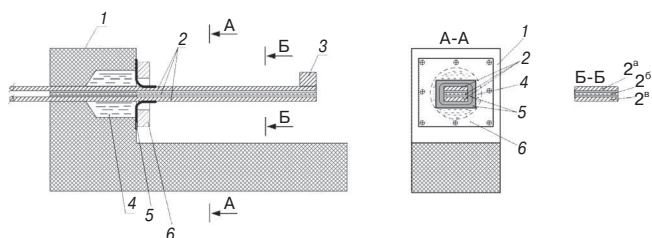


Рис. 2. Конструкция нового датчика
Fig. 2. New sensor design

опоры 1, упругой пластины 2, инерционного элемента 3, электролита 4, разделительной мембраны 5 и защитной крышки 6. Опора 1 выполнена из электроизоляционного материала, упругая пластина 2 состоит из герметично скрепленных между собой трех слоев материалов: средний 2^b слой из электроизоляционного, 2^a , 2^b – металлических; инерционный элемент 3 закреплен на свободном конце пластины 2, а другой конец жестко заделан в толстое дно стакана, образованного при сверлении глухого отверстия в вертикальной стенке Г-образной опоры 1; стакан полностью заполнен электролитом 4, к его внешнему краю по контуру и части пластины 2 приклеена разделительная мембрана 5 из упругого электроизоляционного материала и прикреплена защитная крышка 6. Токосъемный узел и схема крепления инерционного элемента 3 на пластине 2 на рис. 2 не показаны.

Датчик работает следующим образом. При воздействии на него вибрации, сейсмических колебаний, сотрясений и пр. они воспринимаются упругой пластиной 2 с инерционным элементом 3, при этом

Список литературы

1. Крахмальний Т.А., Евтушенко С.И. Дефекты и повреждения металлических подкрановых балок производственных зданий // *Строительство и архитектура*. 2021. Т. 9. Вып. 3 (32). С. 11–15. DOI: 10.29039/2308-0191-2021-9-3-11-15
2. Евтушенко С.И., Крахмальная М.П., Крахмальний Т.А. К вопросу об остаточном ресурсе длительно эксплуатируемых мостов через водопроводящие каналы // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2014. № 35 (54). С. 166–170.
3. Евтушенко С.И., Адамцевич Л.А., Кучумов М.А., Железнов Е.М. Определение динамических напряжений в строительных объектах железнодорожной инфраструктуры // *Строительство и архитектура*. 2022. Т. 10. № 1. С. 16–20. DOI: 10.29039/2308-0191-2021-10-1-16-20
4. Евтушенко С.И., Кучумов М.А. Датчик линейных перемещений для мониторинга инженер-

верхняя и нижняя металлические поверхности упругой пластины 2 попеременно растягиваются и сжимаются. Зоны механических напряжений, возникающие при изгибах пластины 2 и находящиеся в контакте с электролитом 4, образуют деформируемые электроды общей электрохимической ячейки.

Известно, что если при деформации электрода, находящегося в контакте с электролитом, изменяется его площадь, то возникает «эффект упругого заряжения». При этом, если заряд электрода поддерживается постоянным, например путем введения демпфирующего сопротивления в цепь электрода, то меняется потенциал самого электрода (Гохштейн А.Я. Поверхностное натяжение твердых тел и адсорбция. М.: Наука, 1976. 400 с.).

В таком датчике изменение площади переменного деформируемых электродов близки по величине, но противоположны по знаку за период колебаний пластины 2, поэтому потенциал каждого электрода 2^a , 2^b будет периодически увеличиваться или уменьшаться.

Выводы

Предлагаемая конструкция датчика позволяет решить задачу миниатюризации датчика, повышения его надежности, а также точности измерений. Данная конструкционная схема в перспективе позволяет повысить качество инструментальных исследований, мониторинга строительных конструкций зданий и сооружений и повысить эффективность их эксплуатации.

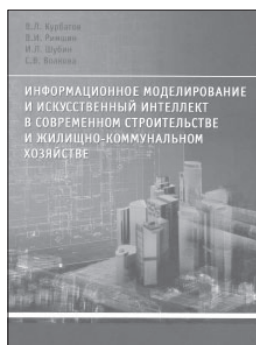
References

1. Krakhmalny T.A., Yevtushenko S.I. Defects and damages of metal crane beams of industrial buildings. *Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2021. Vol. 9. Iss. 3 (32), pp. 11–15. (In Russian). DOI: 10.29039/2308-0191-2021-9-3-11-15
2. Yevtushenko S.I., Krakhmalnaya M.P., Krakhmalny T.A. On the question of the residual resource of long-operated bridges through water supply channels. *Vestnik of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture*. 2014. No. 35 (54), pp. 166–170. (In Russian).
3. Yevtushenko S.I., Adamtsevich L.A., Kuchumov M.A., Zheleznov E.M. Determination of dynamic stresses in construction objects of railway infrastructure. *Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2022. Vol. 10. No. 1, pp. 16–20. (In Russian). DOI: 10.29039/2308-0191-2021-10-1-16-20
4. Yevtushenko S.I., Kuchumov M.A. Linear displacement sensor for monitoring engineering structures of buildings and structures. *Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2023. Vol. 11. No. 1, p. 23. (In Russian). DOI: 10.29039/2308-0191-2022-11-1-23-23

- ных конструкций зданий и сооружений // *Строительство и архитектура*. 2023. Т. 11. № 1. С. 23. DOI 10.29039/2308-0191-2022-11-1-23-23
5. Евтушенко С.И., Адамцевич Л.А., Кучумов М.А., Железнов Е.М. Автоматизированная система мониторинга динамических параметров напряженно-деформированного состояния // *Информационные ресурсы России*. 2022. № 2 (186). С. 27–35. DOI: 10.52815/0204-3653_2022_02186_27
 6. Евтушенко С.И., Кучумов М.А. Система мониторинга трещин строительных конструкций. *Современное оборудование, методы инструментального обследования и усиления зданий и сооружений: Сборник науч. статей по материалам Междунар. научно-практ. конф.* Краснодар: КубГАУ, 2019. С. 7–12.
 7. Патент РФ 2657550. *Месдоза для измерения напряжения в грунтах*. Евтушенко С.И., Фирсов В.В., Скибин Е.Г., Кучумов М.А. Заявл. 31.07.2017. Оpubл. 14.06.2018. Бюл. № 17.
 8. Патент РФ 2788310. *Автономный датчик давления*. Евтушенко С.И., Адамцевич Л.А., Кучумов М.А., Железнов Е.М. Заявл. 12.04.2022. Оpubл. 17.01.2023. Бюл. № 2.
 9. Патент РФ 2786382. *Преобразователь давления*. Евтушенко С.И., Крахмальный Т.А., Лепихова В.А., Ляшенко Н.В., Скибин Е.Г. Заявл. 14.12.2021. Оpubл. 20.12.2022. Бюл. № 35.
 10. Патент РФ 2725203. *Датчик механических величин*. Евтушенко С.И., Фирсов В.В., Скибин Е.Г., Крахмальный Т.А. Заявл. 30.07.2018. Оpubл. 30.06.2020. Бюл. № 19.
 5. Yevtushenko S.I., Adamtsevich L.A., Kuchumov M.A., Zheleznov E.M. Automated monitoring system of dynamic parameters of the stress-strain state. *Informatsionnye resursy Rossii*. 2022. No. 2 (186), pp. 27–35. (In Russian). DOI: 10.52815/0204-3653_2022_02186_27
 6. Yevtushenko S.I., Kuchumov M.A. Crack monitoring system of building structures. Modern equipment, methods of instrumental inspection and reinforcement of buildings and structures. *Collection of scientific articles on mater. International Scientific and Practical Conference*. Krasnodar: KubGAU. 2019, pp. 7–12. (In Russian).
 7. Patent RF 2657550. *Mesdoza dlya izmereniya napryazheniya v gruntakh* [Mesdose for measuring stress in soils]. Yevtushenko S.I., Firsov V.V., Skibin E.G., Kuchumov M.A. Declared 31.07.2017. Publ. 14.06.2018. Byul. No. 17. (In Russian).
 8. Patent RF 2788310. *Avtonomnyi datchik davleniya* [Autonomous pressure sensor]. Yevtushenko S.I., Adamtsevich L.A., Kuchumov M.A., Zheleznov E.M. Declared 12.04.2022. Publ. 17.01.2023. Byul. No. 2. (In Russian).
 9. Patent RF 2786382. *Preobrazovatel' davleniya* [Pressure converter]. Yevtushenko S.I., Krakhmalny T.A., Lepikhova V.A., Lyashenko N.V., Skibin E.G. Declared 12.14.2021. Publ. 20.12.2022. Byul. No. 35. (In Russian).
 10. Patent RF 2725203. *Datchik mekhanicheskikh velichin* [Sensor of mechanical quantities]. Yevtushenko S.I., Firsov V.V., Skibin E.G., Starch T.A. Declared 30.07.2018. Publ. 30.06.2020. Byul. No. 19. (In Russian).

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Информационное моделирование и искусственный интеллект в современном строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве



Авторы: В.Л. Курбатов, В.И. Римшин, И.Л. Шубин, С.В. Волкова.

Под общ. ред. членов-корреспондентов Российской академии архитектуры и строительных наук, заслуженных строителей Российской Федерации И.Л. Шубина, В.И. Римшина

Издательство АСВ. Москва. 2023. 420 с.

Изложены принципы информационного моделирования в строительстве. Освещены современные технологии информационного моделирования, описана уже действующая и дополнительно необходимая нормативная правовая база, определяющая порядок разработки и применения информационной модели на территории Российской Федерации. Рассмотрены основные этапы и состав мероприятий при разработке проектной документации с применением информационного моделирования.

Предназначено для бакалавров, магистров и преподавателей вузов, обучающихся по Федеральному государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования, а также для работников предприятий строительства и жилищно-коммунального комплекса.

Рекомендовано Российской академией архитектуры и строительных наук в качестве учебного пособия для студентов образовательных организаций высшего образования, обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 «Строительство» (уровень бакалавриата) и 08.04.01 «Строительство» (магистратуры).

УДК 697.8

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-65-69>

И.А. ЧЕРНЫЙ, магистрант (kron_975@mail.ru),
А.И. КАРАКОЗОВА, канд. техн. наук (karioca@mail.ru)

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Применение активной аэродинамики для избежания резонансного вихревого возбуждения дымовых труб

При воздействии ветра на конструкцию поток периодически срывается с определенной частотой, побуждая усилии в поперечном направлении ориентации ветра. При совпадении частоты собственных колебаний конструкции и частоты срыва вихрей возникает явление резонансного вихревого возбуждения. В статье анализируются существующие методы избежания данного опасного явления применительно к такому классу конструкций, как вытяжные и дымовые трубы. Предлагается новый метод, названный авторами методом активной аэродинамики, состоящий в использовании подвижных частей в сооружении, изменяющих его аэродинамические характеристики. Для нахождения аэродинамических характеристик измененного сечения используется ПК Ansys (Fluent). Метод позволяет не предотвращать образование вихрей, не гасить их, а миновать зону резонанса вовсе.

Ключевые слова: дымовые трубы, интерцепторы, аэродинамика, активная аэродинамика, гаситель колебаний, аэродинамический стабилизатор.

Для цитирования: Черный И.А., Каракозова А.И. Применение активной аэродинамики для избежания резонансного вихревого возбуждения дымовых труб // *Жилищное строительство*. 2023. № 11. С. 65–69.
DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-65-69>

I.A. CHERNYI, Master's Student (kron_975@mail.ru),
A.I. KARAKOZOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (karioca@mail.ru)
National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl'skoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Application of Active Aerodynamics to Avoid Resonant Vortex-Induced Vibrations of Chimneys

When exposed to the wind on the structure, the flow is periodically disrupted with a certain frequency, prompting an effort in the transverse direction of the wind orientation. When the frequency of natural oscillations of the structure and the frequency of stall of the vortices coincide, the phenomenon of resonant vortex excitation occurs. The article analyzes the existing methods of avoiding this dangerous phenomenon in relation to such a class of structures as exhaust pipes and chimneys. A new method is proposed, called by the authors the method of active aerodynamics, consisting in the use of moving parts in the structure that change its aerodynamic characteristics. To find the aerodynamic characteristics of the modified cross-section, a Software package ANSYS (Fluent) is used. The method makes it possible not to prevent the formation of vortices, not to extinguish them, but to bypass the resonance zone altogether.

Keywords: chimneys, interceptors, aerodynamics, active aerodynamics, vibration damper, aerodynamic stabilizer.

For citation: Chernyi I.A., Karakozova A.I. Application of active aerodynamics to avoid resonant vortex-induced vibrations of chimneys. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 11, pp. 65–69. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-65-69>

Срыв вихрей ветра с конструкции имеет периодический характер и устанавливается с заданной частотой, линейно зависящей от скорости ветра. При этом в момент срыва возникает поперечная направлению ветра сила. При совпадении частот собственных колебаний конструкции и частоты срыва вихрей возникает явление резонансного вихревого возбуждения, нагрузки от которого, как показывает практика, мало изучены [1].

Самым эффективным методом гашения колебаний является использование демпфера, рассматриваемого и рекомендуемого к применению в отечественных и зарубежных статьях [2–5]. К тому же гасители колебаний позволяют избежать не только вихревого возбуждения типа ветровой резонанс, но и резонанса ввиду воздействия пульсационной составляющей ветра. К отрицательным аспектам данного

решения можно отнести сложный подбор (расчет) параметров агрегата, большую массу, размеры, необходимость контроля и стоимость.

Также применяют и интерцепторы, представляющие собой лопасти, размещаемые вертикально или по спирали на трубе [6]. Такая конструкция позволяет ветру срываться не периодически, а значит, возникновения вихревого резонанса происходить не будет. Однако в отличие от аэродинамического сопротивления трубы, принимаемого по СП 20.13330.2016 от 0,4 до 1,2, аэродинамическое сопротивление труб с интерцепторами принимается в диапазоне 1,4–1,5 согласно СП 375.1325800.2017. Интерцепторы, именуемые аэродинамическими стабилизаторами, встречаются и в зарубежных статьях, где их формы и размеры могут быть иными, но принцип в целом остается таким же [7].

Если не принимать во внимание консервативный метод увеличения жесткости конструкции, повышающий тем самым частоту собственных колебаний, то на этом все способы исчерпаны. Идентичная ситуация и в зарубежных нормах. Европейский стандарт EN 1993-3-2:2006 «Башни, мачты, дымовые трубы» следует тем же принципам и предлагает либо аэродинамические стабилизаторы (интерцепторы), либо устройство демпфирования (гаситель колебаний, демпфер).

Термин же «интерцептор» берет свое происхождение из области самолетостроения [8], где он используется для снижения подъемной силы крыла и увеличения его лобового сопротивления. Он является управляемой частью самолета и крайне необходим при посадке. Причина того, почему это слово переключено в область строительства и обозначает вещь, связанную с оригиналом лишь общностью «аэродинамика», непонятна. Иностранное понятие «аэродинамический стабилизатор» в этом случае звучит более уместно.

Целью исследования авторов стала постановка вопроса возможности применения подвижных частей дымовых труб, изменяющих аэродинамику. В рамках статьи используется характерный для машиностроения термин «активная аэродинамика», заключающий в себе понятие о частях механизма, изделия, приспособления, способных изменять свое положение, изменяя и аэродинамику тела.

Материалы и методы

Расчет на резонанс по СП 20.13330.2016 производится в зависимости от критической скорости ветра. Связующим между частотой срыва вихрей и

скоростью воздушного потока принято считать число Струхала. Для цилиндра по Атласу аэродинамических коэффициентов [9] число Струхала изменяется в зависимости от числа Рейнольдса и достигает значения, чуть превышающего 0,2, что совпадает с нормативным значением, данным СП 20.13330.2016.

Формула (1), связывающая частоту срыва вихрей и скорость ветрового потока, выглядит следующим образом:

$$V = \frac{f \cdot d}{Sh}, \quad (1)$$

где f – частота срыва вихрей, Гц; d – диаметр трубы, м; Sh – число Струхала.

Рассматриваемый в рамках статьи вариант применения активной аэродинамики представляет собой включение в тело трубы стоек, сечение которых имеет две характерные поверхности: 5 – с радиусом кривизны, близким к радиусу кривизны трубы, и 4 – с радиусом кривизны, намного меньшим радиуса кривизны трубы (рис. 1). Стойки ставятся по периметру трубы с заданным шагом. «Активная» функция предлагаемого интерцептора заключается в том, что он может вращаться вокруг вертикальной оси, тем самым занимая открытое и закрытое положения.

Пример выполнения сечения трубы (сегмента/участка трубы) продемонстрирован на рис. 2.

Для изучения изменения схода вихрей в зависимости от количества и размера интерцепторов построена модель в программном комплексе ANSYS, пакете Fluent в нестационарном потоке. Задача выполнена в плоской постановке. При построении вычислительной модели использовались методы, отраженные в [10].

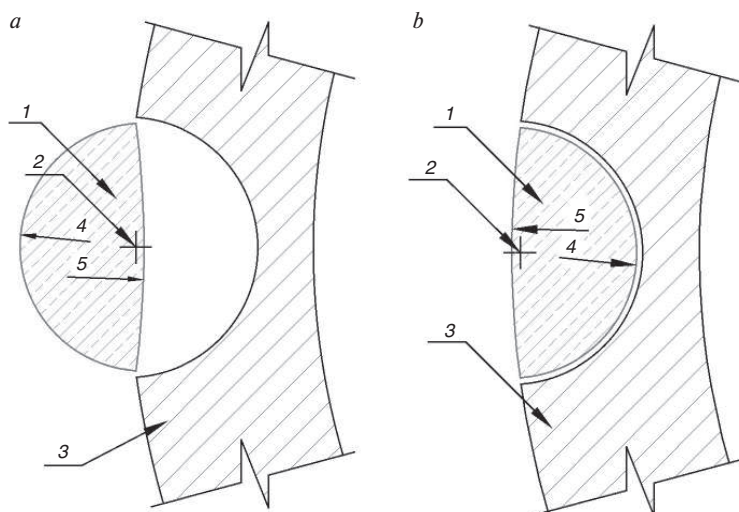


Рис. 1. Устройство интерцептора: а – «открытого», б – «закрытого»; 1 – интерцептор; 2 – ось вращения интерцептора; 3 – тело трубы; 4 – поверхность «открытого» интерцептора; 5 – поверхность «закрытого» интерцептора

Fig. 1. Interceptor device: a – “opened”, b – “closed”; 1 – interceptor; 2 – axis of rotation of the interceptor; 3 – chimney body; 4 – the surface of the “opened” interceptor; 5 – the surface of the “closed” interceptor

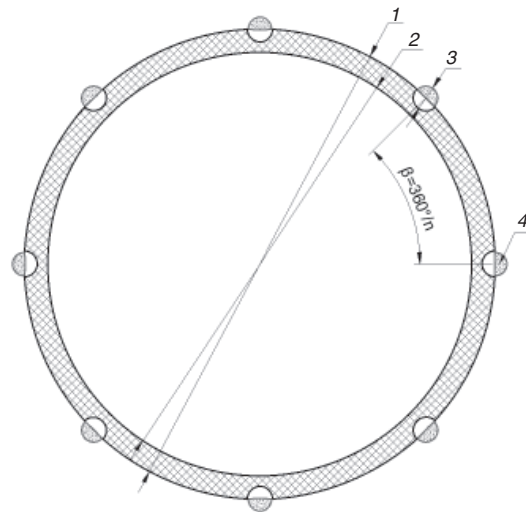


Рис. 2. Пример выполнения трубы с включением восьми активных интерцепторов: 1 – внешний диаметр трубы; 2 – внутренний диаметр трубы; 3 – диаметр «открытого» интерцептора; 4 – активный интерцептор

Fig. 2. An example of a chimney with the inclusion of eight active interceptors: 1 – outer diameter of a chimney; 2 – inner diameter of a chimney; 3 – the diameter of an “opened” interceptor; 4 – an active interceptor

Таблица 1
Table 1

Зависимость числа Струхалия от количества и диаметра интерцепторов в долях от диаметра трубы и направления ветра
Dependence of the Strouhal number on the number and diameter of interceptors in proportion of the diameter of the pipe and on the direction of the wind

Относительный диаметр интерцепторов	Число Струхалия при количестве интерцепторов и направлении ветра в градусах									
	6			8		12		18		
	0	15	30	0	22,5	0	15	0	10	
d=1/10	0,167	0,149	0,123	0,128	0,132	0,132	0,114	0,135	0,135	
d=1/20	0,172	0,153	0,123	0,132	0,147	0,135	0,114	0,128	0,134	
d=1/40	–	–	–	0,132	0,139	0,143	–	–	0,143	

Количество интерцепторов принималось от 4 до 18. Диаметр их варьировался от 1/40 до 1/10 диаметра трубы.

Стандартная расчетная схема продемонстрирована на рис. 3.

Результаты расчетного моделирования

Сходимость задачи с реальными испытаниями достигалась путем варьирования конечно-элементной сетки. Наибольшую сходимость показала генерация сетки размерами $2 \cdot 10^{-3}$ м (вблизи трубы). Скорость принята постоянной для всех моделей – 5 м/с, а шаг итераций 0,05 с. При заданных характеристиках опытное число Струхалия для трубы круглого сечения оказалось равным 0,183, что станет величиной для сравнения последующих параметров.

В ходе эксперимента выяснилось, что при определенных направлениях ветра труба с четырьмя интерцепторами имеет такую же частоту схода вихрей, как и без интерцепторов вовсе, потому данная конфигурация исключена из дальнейшего обзора.

Полученные результаты представлены в табл. 1. Для составления графиков зависимости числа Струхалия от количества и размера интерцепторов, продемонстрированных на рис. 4, выбраны максимальные значения числа Струхалия; пунктирной линией показано экспериментальное число Струхалия для трубы без интерцепторов, равное 0,183.

Как видно из полученных результатов, число Струхалия довольно сильно снижается при увеличении количества интерцепторов.

Метод избежания резонанса

Одной из целей статьи является раскрытие понятия «интерцептор». В зависимости от скорости ветра, на определенной высоте трубы, при их закрытии и открытии возможно мгновенно и существенно изменять частоту схода вихрей, избегая тем самым явление резонанса.

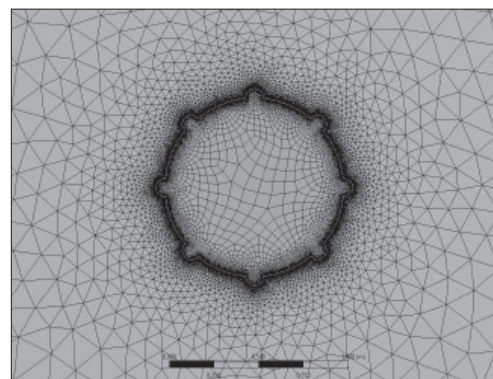


Рис. 3. Расчетная схема
Fig. 3. Calculation model

Более наглядно это можно представить графиком. На рис. 5 показаны две прямые – при «закрытом» и «открытом» положениях интерцепторов – и область резонанса, т. е. условная частота собственных колебаний конструкции в диапазоне плюс-минус 10%.

В зависимости от средней скорости ветра на определенной высоте интерцепторы закрываются или открываются, что идет в плюс аэродинамике конструкции.

Для расчета скоростей, при которых интерцепторы будут изменять положение, рационально пользоваться существующими формулами СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».

Формулы 2, 3 служат для нахождения предельных наибольшей и наименьшей скоростей ветра, при которых интерцепторы будут иметь открытое и закрытое положения соответственно. В диапазоне между этими скоростями интерцепторы могут иметь как закрытое, так и открытое положения без риска попадания в область резонанса. При этом скорость, при которой интерцепторы могут менять положение, лежит в этом диапазоне:

$$V_{cr,opened} = \frac{0,9 \cdot f_1 \cdot d}{Sh_{opened}}; \quad (2)$$

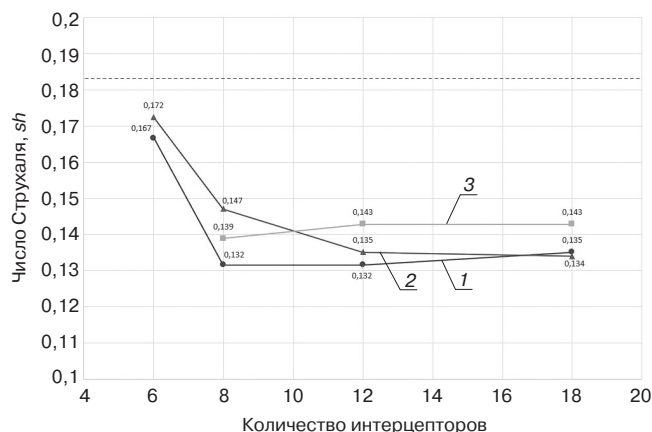


Рис. 4. Графики зависимости числа Струхалия от относительного диаметра и количества интерцепторов: 1 – d=1/10; 2 – d=1/20; 3 – d=1/40

Fig. 4. Graphs of the dependence of the Strouhal number on the relative diameter and number of interceptors: 1 – d=1/10; 2 – d=1/20; 3 – d=1/40

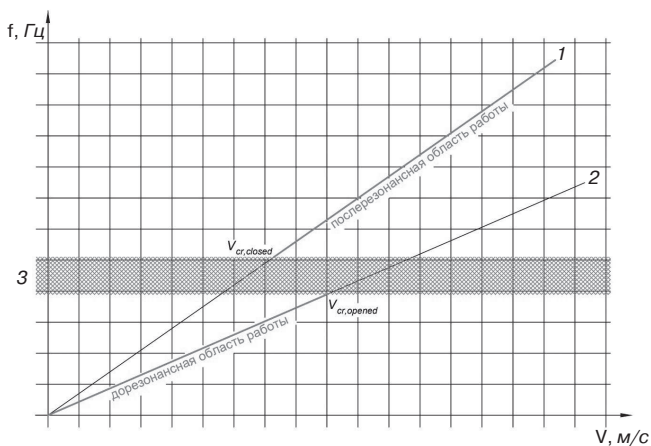


Рис. 5. Графики частоты срыва вихрей от скорости ветра при положении интерцепторов: 1 – закрытом; 2 – открытом; 3 – область резонанса конструкции

Fig. 5. Graphs of the frequency of stall vortices from wind speed at the position of the interceptors: 1 – closed; 2 – opened; 3 – resonance vortex shading

$$V_{cr,closed} = \frac{1,1 \cdot f_1 \cdot d}{Sh_{closed}}; \quad (3)$$

где f_1 – первая частота собственных колебаний конструкции; d – диаметр трубы без учета интерцепторов, м; Sh_{opened} – число Струхала при открытом положении интерцепторов; Sh_{closed} – число Струхала при закрытом положении интерцепторов.

Из этого следует, что создается условие, при котором число Струхала закрытого интерцептора должно быть в 1,1/0,9 раза больше, чем закрытого.

В качестве примера проектирования принята труба высотой 28 м, с наружным диаметром 1,8 м и толщиной стенки 11 мм; первая и вторая частоты колебаний 2,4 и 9,32 Гц соответственно. Сравним изгибающий момент в основании трубы от действия ветровой нагрузки при применении обычных интерцепторов и активных. Для упрощения примем нагрузку для I ветрового района с коэффициентом $k(z_{ЭК})$ для типа местности А.

Примем 12 интерцепторов диаметром 1/20 от диаметра трубы; по табл. 1 число Струхала (Sh_{opened}) равно 0,135. Для трубы цилиндрического сечения (без интерцепторов) примем число Струхала (Sh_{closed}) 0,183. По формулам (2), (3) получаем значения 28,8 и 25,97 м/с. Разница между ними ΔV_{cr} составляет 2,83 м/с.

Преобразуя формулу (11.13) СП 20.13330.2016, получаем формулу для нахождения значения коэффициента $k(z_{ЭК})$, начиная с которого труба, вероятно, будет испытывать резонансное вихревое возбуждение:

$$k(z_{ЭК}) = \frac{V_{cr,closed}^2}{2,25 \cdot w_0}; \quad (4)$$

где w_0 – нормативное значение ветрового давления, Па.

Для нашего случая коэффициент оказывается равным 1,3, что соответствует высотной отметке 24 м. В таком случае интерцепторы следует установить на последних 4 м трубы.

Таблица 2
Table 2

Расчетное значение средней составляющей ветровой нагрузки от высоты
The value of the average component of the wind load from the height

h, м	k(z _{ЭК})	c _x =1,4		c _x =1	
		w _m , кПа	w _m , кН/п. м	w _m , кПа	w _m , кН/п. м
0–5	0,75	0,242	0,435	0,242	0,435
24	1,3	0,419	0,753	0,419	0,753
24	1,3	0,586	1,055	0,419	0,753
28	1,35	0,609	1,095	0,435	0,782

При распределении ветра по высоте согласно СП 20.13330.2016 получаем формулу для нахождения величины изменения скорости ветра от нижней отметки интерцептора до верхней его отметки (длина может быть и больше, но сам интерцептор необходимо разделить на две или более части ввиду необходимости изменения их положения одновременно); при этом величина изменения скорости ветра не должна быть больше, чем разница критических скоростей срыва ветра для закрытого и открытого положений интерцепторов:

$$\Delta V_{cr} \geq 1,5 \sqrt{w_0 k(z_B)} - 1,5 \sqrt{w_0 k(z_H)}; \quad (5)$$

где ΔV_{cr} – разница между критическими скоростями ветра при закрытом и открытом положениях интерцепторов, м/с; $k(z_B)$ и $k(z_H)$ – коэффициенты учета изменения ветра по высоте z соответственно для верхней границы установки интерцепторов и нижней.

Выражение справа от знака неравенства равно 0,49 м/с, что удовлетворяет условию. В случае установки статических интерцепторов коэффициент лобового сопротивления c_x , как говорилось ранее, принимается равным 1,4. Если же используются активные интерцепторы и они имеют закрытое положение, то коэффициент c_x , даже если представить большую шероховатость трубы, не превышает 1. Давление средней составляющей ветровой нагрузки на определенной высоте приведено в табл. 2.

По результатам расчета трубы как жестко заземленного стержня перемещение по горизонтали верхней точки трубы в случае применения традиционных интерцепторов составило 12 мм; при применении активных интерцепторов 10,4 мм. Момент в основании составил 291 и 259 кНм соответственно.

Закключение

Применение активной аэродинамики не увеличивает аэродинамическое сопротивление конструкции при максимальной скорости ветра (т. е. когда интерцепторы находятся в закрытом состоянии), при этом позволяет избежать резонанса и глобально не увеличивает массу конструкции, хоть и обременяет лишними механизированными частями.

Применение активных интерцепторов предложенной формы по результатам испытаний снижает частоту срыва вихрей до 27%. Предложенная методика использует предположение, что за счет мгновенного изменения частоты срыва вихрей при изменении положения интерцепторов возможно избежать резонансного вихревого возбуждения, уменьшив влияние усталостных эффектов на сталь.

В рассматриваемом примере применение активной аэродинамики позволило снизить изгибающий момент в трубе на 11%, а горизонтальное перемещение уменьшить на 13%.

В дальнейших исследованиях необходимо расширять и дополнять методику расчета, в том числе получить эмпирические коэффициенты числа Струхала и аэродинамического сопротивления.

Список литературы

1. Lei Wang, Zheng Wang, Nan Huang, Xing-Yan Fan, Zhen-hua Zhang Comparative analysis of cross-wind load code for high structures with circular sections. *Structures*. 2022. Т. 43. С. 1177–1186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.07.008>
2. Остроумов Б.В. Исследование, разработка и внедрение высотных сооружений с гасителями колебаний: Дис. ... д-ра техн. наук. М., 2003. 425 с.
3. Никитин П.Н., Оносов Г.В. Опыт проектирования дымовых труб // *Промышленное и гражданское строительство*. 2009. № 5. С. 24–27.
4. Остроумов Б.В., Каракозова А.И., Каракозова В.И. Воплощение идей Б.Г. Коренева в области оснащения высотных сооружений динамическими гасителями колебаний // *Промышленное и гражданское строительство*. 2010. № 11. С. 43–45.
5. Tamura Y. Application of damping devices to suppress wind-induced responses of buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1998. Vol. 74–76, pp. 49–72.
6. Ольфати Р.С., Заки З. Особенности использования интерцепторов для стальных дымовых труб // *Инновации и инвестиции*. 2022. № 10. С. 198–201.
7. Flaga A., Kłaput R., Flaga Ł., Krajewski P. Wind tunnel model tests of wind action on the chimney with grid-type curtain structure. *Archives of civil engineering*. 2021. Vol. LXVII. Iss. 3, pp. 177–196. DOI: 10.24425/ace.2021.138050.
8. Соловов А.В., Меньшикова А.А. Конструкция самолетов: фундаментальные основы и классика типовых решений. М.: Юрайт, 2022. 385 с.
9. Березин М.А., Катюшин В.В. Атлас аэродинамических характеристик строительных конструкций. Новосибирск: Олден-полиграфия, 2003. 130 с.
10. Алёхин В.Н., Антипин А.А., Городилов С.Н., Храмов С.В., Бурков Е.А., Коновалова М.И. Численное моделирование воздействий ветра на высотные здания. *Современный город: проектирование, строительство и развитие (Ельцинские чтения): Сборник материалов международной научно-практической конференции по строительству и архитектуре (Екатеринбург, 23–24 апреля 2014)*. Екатеринбург: УрФУ, 2014. С. 246–253.

References

1. Lei Wang, Zheng Wang, Nan Huang, Xing-Yan Fan, Zhen-hua Zhang Comparative analysis of cross-wind load code for high structures with circular sections. *Structures*. 2022. Vol. 43, pp. 1177–1186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.07.008>
2. Ostroumov B.V. Research, development and implementation of high-rise structures with vibration dampers. Doctor Diss. (Engineering). Moscow. 2003. 425 p. (In Russian).
3. Nikitin P.N., Onosov G.V. Experience in chimney design. *Promyshlennoe i gragdanskoe stroitelstvo*. 2009. No. 5, pp. 24–27. (In Russian).
4. Ostroumov B.V., Karakozova A.I., Karakozova V.I. Implementation of B.G. Korenev's ideas in the field of equipping high-rise structures with dynamic vibration dampers. *Promyshlennoe i gragdanskoe stroitelstvo*. 2010. No. 11, pp. 43–45. (In Russian).
5. Tamura Y. Application of damping devices to suppress wind-induced responses of buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1998. Vol. 74–76, pp. 49–72.
6. Olfati R.S., Zaki Z. Features of the use of spoilers for steel chimneys. *Innovations and Investments*. 2022. No. 10, pp. 198–201. (In Russian).
7. Flaga A., Kłaput R., Flaga Ł., Krajewski P. Wind tunnel model tests of wind action on the chimney with grid-type curtain structure. *Archives of civil engineering*. 2021. Vol. LXVII. Iss. 3, pp. 177–196. DOI: 10.24425/ace.2021.138050
8. Solovov A.V., Menshikova A.A. Konstruktsiya samoletov: fundamental'nye osnovy i klassika tipovykh reshenii [Aircraft Design: fundamentals and classics of typical solutions: textbook for universities]. Moscow: Yurayt. 2022. 385 p. (In Russian).
9. Berезin M.A., Katyushin V.V. Atlas aerodinamicheskikh kharakteristik stroitel'nykh konstruktsii [Atlas of aerodynamic characteristics of building structures]. Novosibirsk: Olden-poligrafiya. 2003. 130 p. (In Russian).
10. Alekhin V.N., Antipin A.A., Gorodilov S.N., Khramtsov S.V., Burkov E.A., Konvalova M.I. Numerical Modeling of Wind Effects on High-Rise Buildings. *Modern City: Design, construction and development (Yeltsin readings): proceedings of the international scientific and practical conference on construction and architecture (Yekaterinburg, April 23–24, 2014)*. Ekaterinburg: UrFU. 2014, pp. 246–253. (In Russian).

УДК 711.1

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-70-73>А.С. ПАВЛЮК, архитектор (pavlyukas@mgsu.ru),
О.Л. ШИРОКОВА, канд. экон. наук (shirokovaol@mgsu.ru)

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Архитектурные подходы к формированию жилища для психологического комфорта преподавателей высшей школы

Цель данной статьи – сформулировать подходы к развитию коливинговых пространств, способствующих эмоциональной устойчивости и психологическому комфорту профессорско-преподавательского состава высших учебных заведений. Деятельность педагогов связана с высоким уровнем стрессовых нагрузок, что приводит к утомляемости и выгоранию. Эффективными средствами профилактики являются активный образ жизни, занятия спортом, увлечения, не связанные с работой. Однако отсутствие свободного времени, в том числе и из-за значительных потерь времени, затрачиваемого на дорогу от места жительства до места работы, затрудняют реализацию подобных мер. Для решения данной проблемы предлагается строительство в рамках кампусов жилищ для преподавателей в форме коливингов. При строительстве формируется архитектурная типология, состоящая из трех направлений. Они различаются по масштабу и в совокупности влияют на общее состояние человека. К первому типу относится организация территориального планирования участка, ко второму типу – объемно-пространственное решение здания, направленное на избежание монотонности как фасадной, так и внутренней части. Третий тип – использование цветовых и фактурных решений для создания интересного и разнообразного фасада и интерьера жилища. В совокупности эти подходы положительно влияют на человека, поддерживают и восстанавливают его эмоциональное состояние, способствуют повышению работоспособности.

Ключевые слова: коливинг, архитектурная психология, жилище, высшая школа, психология, преподаватели.

Для цитирования: Павлюк А.С., Широкова О.Л. Архитектурные подходы к формированию жилища для психологического комфорта преподавателей высшей школы // *Жилищное строительство*. 2023. № 11. С. 70–73. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-70-73>

A.S. PAVLYUK, Architect (pavlyukas@mgsu.ru),

O.L. SHIROKOVA, Candidate of Sciences (Economics) (shirokovaol@mgsu.ru)

National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Architectural Approaches to the Formation of Housing for the Psychological Comfort of Higher Education Teachers

The purpose of this article is to formulate approaches to the development of coliving spaces that promote emotional stability and psychological comfort of the professor-teacher staff of higher educational institutions. The work of teachers is associated with a high level of stress loads, which leads to fatigue and burnout. Effective means of prevention are an active lifestyle, sports, and hobbies not related to work. However, the lack of free time, including due to significant losses of time spent on travel from the place of residence to the place of work, makes it difficult to implement such measures. To solve this problem, it is proposed to build housing for teachers in the form of co-livings within the campuses. During construction, an architectural typology is formed, consisting of three directions. They vary in scale and collectively affect the general condition of a person. The first type is the organization of territorial planning of the site, the second type is the spatial solution of the building, aimed at avoiding monotony of both the facade and the interior. The third type is the use of color and texture solutions to create an interesting and diverse facade and interior of the dwelling. Together, these approaches have a positive effect on a person, support and restore his emotional state, and contribute to improving efficiency.

Keywords: co-living, architectural psychology, housing, higher school, psychology, lecturer.

For citation: Pavlyuk A.S., Shirokova O.L. Architectural approaches to the formation of housing for the psychological comfort of higher education teachers. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 11, pp. 70–73. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-70-73>

Деятельность педагогов можно отнести к профессиям с высоким риском профессиональной деформации. Учитель подвергается воздействию большого количества стрессовых факторов. Еже-

дневное общение с большим количеством студентов, дополнительные консультации, а зачастую и подработка приводят к дополнительной нагрузке и соответственно утомлению. В результате очень ча-

сто возникает психическое и эмоциональное выгорание [1, 2]. Постоянное чувство усталости, чувство эмоционального и физического истощения, забывчивость, раздражительность, головные боли требуют эффективных профилактических мер. Среди них здоровый образ жизни, активный отдых, развитие интересов, не связанных с работой. Однако нехватка времени далеко не всегда позволяет реализовать эти меры.

В соответствии с современными градостроительными подходами размещение рабочих мест для 80–90% жителей города должно находиться в пределах 40 мин транспортной доступности в одном направлении с учетом подходов к остановкам общественного транспорта. Проведенный авторами опрос профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников, аспирантов и студентов выявил существенное несоответствие данному стандарту (рис. 1). Хотя 52%, не считая проживающих в общежитии, добираются до университета в установленные сроки, 32% тратят на дорогу от 1 до 1,5 ч; 7% тратят 1,5–2 ч, а 8% – более 2 ч в одну сторону.

Значительная потеря эффективного времени приводит к снижению качества жизни, к недостатку отдыха, утомляемости. Одним из способов решения данной проблемы является строительство в рамках университетских кампусов мест для совместного проживания – коливингов. При проектировании коливинга для проживания профессорско-преподавательского состава кроме традиционных аспектов необходимо предусмотреть дополнительные меры по снижению эмоциональной нагрузки.

Психологические аспекты восприятия архитектуры

Известно, что архитектура должна быть ориентирована на человека и способствовать его благополучию и эмоциональному удовлетворению. Согласно исследованию, проведенному Н. Риччи [3], эстетическая красота здания, наличие природных паттернов, цветовые решения способствуют снижению уровня стресса, тогда как монохромные решения, отсутствие архитектурных деталей, наоборот, способствуют угнетенному состоянию.

Здания, в которых присутствуют ритмы, узоры, сходные с природными, вызывают ассоциации с чувством безопасности, способствуют выбросу эндорфинов и окситоцина – гормонов, дающих ощущение счастья, что благотворно влияет на психологическое состояние и организм в целом [4].

Одно из направлений современной архитектуры – нейроархитектура – среда, при формировании которой учитываются открытия нейробиоло-

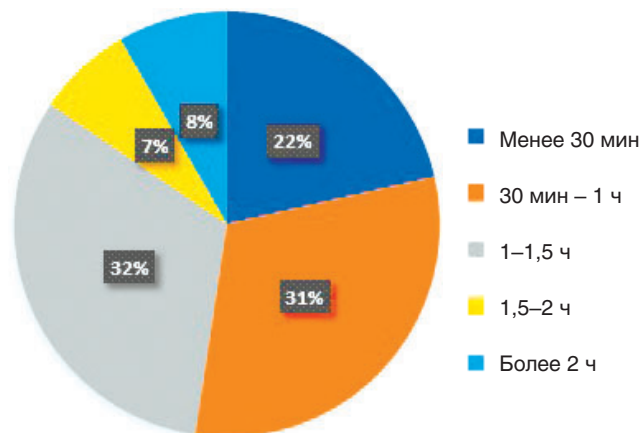


Рис. 1. Распределение времени, затрачиваемого на дорогу от дома до места работы

Fig. 1. Distribution of time spent on the road from home to work

гии [5–7], при разработке градостроительных решений учитывает влияние градостроительных решений на все органы чувств человека – зрение, слух, обоняние, осязание и даже вкус. Проектирование зданий и сооружений с учетом данных особенностей может обеспечить психологический комфорт и способствовать формированию благоприятного климата в социуме.

Архитектурные решения для создания коливингов

Как было сказано ранее, для улучшения психологического состояния необходимо повлиять на все органы чувств человека. В данной статье будут рассмотрены визуальные подходы к реализации данной задачи.

Методы организации улучшения психологического состояния преподавателей можно разделить на три основных типа. *Первый* – на уровне организации территориального планирования, в этом случае речь идет о генеральном плане участка [8]. Необходимо предусмотреть комфортные зоны отдыха для профессорско-преподавательского состава с возможностью уединения, закрытые от обучающихся.

Помимо этого, необходимо предусмотреть различные уровни озеленения, такие как травянистые растения, кустарники и деревья. При этом желательно разместить их таким образом, чтобы можно было сформировать структуру дорожек, которые, с одной стороны, позволяют быстро достигать цели по короткому пути, а с другой – дают возможность для спокойной прогулки.

При высадке трав рекомендуется использовать многолетние растения, что позволяет уделять меньше времени уходу за ними, а также дает возможность естественному ходу развития экосистемы луга.

При наличии соответствующей территории желательно предусмотреть места для занятия активным и спокойным отдыхом; в первом случае это спортивные площадки, они могут быть универсальными или предусматривать конкретный вид спорта, например волейбол, баскетбол, столы для настольного тенниса. Если территория позволяет, возможно размещение футбольной площадки с последующим перевоплощением на зимний период времени в ледовый каток.

Еще одним положительным фактором, влияющим на психологическое состояние, является наличие естественных и искусственных водоемов для спокойного отдыха в формате созерцания и возможность купаться в жаркие летние дни.

Помимо эксплуатации поверхности участка, возможно использование эксплуатируемой крыши, на ней также возможно размещение спортивных площадок, мест для занятия йогой, возможность выращивания растений в качестве развлечения жителей, как декоративных, так и используемых в пищу.

Второй тип – объемно-планировочные решения. С внешней стороны здания должны максимально избегать монотонного вида, чтобы не утомлять зрение человека. Это возможно реализовать с помощью объемных решений. В частности, можно использовать понятие пористости здания, которое широко используется в некоторых работах (Соколова М.А., Александрова К.Ю. Городские пустоты как компонент гуманизации архитектурной среды // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2019. № 4 (49). С. 262–280; Крашенинников И.А. Объемно-планировочные параметры застройки и благоприятные условия внешней среды // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2018. № 3 (44). С. 262–275). При этом из плоскости фасада выделяются отдельные элементы, которые позволяют разнообразить объем здания.

Говоря о внутреннем объемно-планировочном решении, следует избегать длинных узких коридоров, создавать общественные пространства с объемными решениями. Одним из типов применения акцентов объемно-планировочного решения и пористости является утопленная входная группа. Пример фасада школы с применением эффекта пористости представлен на рис. 2 (арх. А. Асадов).

Третий тип – подход колористических [9, 10] и текстурных решений, в этом случае можно использовать различные материалы поверхности. В экстерьере для того, чтобы избежать монотонного фасада, предлагается использовать единый спокойный цвет, например белый.

Дополнительно в качестве акцентов предлагается добавить яркие элементы для разнообразия



Рис. 2. Пример пористого фасада – школа на 825 мест, арх. А. Асадов (<https://archi.ru/projects/russia/18535/shkola-na--mest>)
Fig. 2. An example of a porous facade - a school for 825 places, architect A. Asadov



Рис. 3. Цветовое решение интерьера МБОУ «Бобровский образовательный центр «Лидер» им. А.В. Гордеева» (<https://archi.ru/projects/russia/18486/mbou-bobrovskii-obrazovatelnyi-centr-lider-imeni-a-v-gordeeva>)
Fig. 3. Color scheme for the interior of the MBOU «Bobrovskiy Educational Center «Leader» named after A.V. Gordeev»

фасада. Подобное решение – сочетание плоскостей нейтральных цветов и отдельных небольших акцентных элементов ярких оттенков можно применять и в интерьерах. Это позволяет освежить пространство.

На рис. 3 – пример цветового решения интерьера образовательного центра.

Кроме того, интересным решением будет использование для декорирования узоров или ритмов.

Выводы

В статье рассмотрены основные аспекты влияния архитектурных решений на психологическое состояние человека. В соответствии с этим предложены визуальные решения проектирования коллингов для проживания профессорско-преподавательского состава высших учебных заведений.

Список литературы

1. Самсонова Е.А. Профессиональное выгорание преподавателей вузов как следствие деструктивного управления образовательной деятельностью // *Общество: социология, психология, педагогика*. 2022. № 1 (93). <https://doi.org/10.24158/spp.2022.1.9>
2. Никифоров Г.С., Водопьянова Н.Е., Березовская Р.А., Старченкова Е.С. Психологические факторы профессионального здоровья преподавателей высшей школы // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 12, Психология. Социология. Педагогика*. 2015. № 4. С. 42–54.
3. Akhunova N.K.K. Possibilities of using virtual reality technologies in education // *Asian Journal of Multidimensional Research (AJMR)*. 2021. Vol. 10. No. 3, pp. 549–555.
4. Дёмин А.Б., Наволоцкая А.В. Аналитический обзор статьи Натали Риччи «Психологическое влияние архитектурного проектирования» // *Ноэма (Архитектура. Урбанистика. Искусство)*. 2020. № 2. С. 227–236.
5. Tursunova S.F. Light in the modern world // *Asian Journal of Multidimensional Research (AJMR)*. 2021. Vol. 10. No. 4, pp. 750–756.
6. Roziqberdiev M.I. The time has come to move from stereotypes to creativity: In the example of mosques // *Asian Journal of Multidimensional Research (AJMR)*. 2021. Vol. 10. No. 3, pp. 564–571.
7. Мухитов Р.К., Гордеева А.Э. Нейроархитектура: архитектура, влияющая на чувства людей // *Известия КГАСУ*. 2022. № 2 (60). С. 59–71. DOI: 10.52409/20731523_2022_2_59 EDN: CMHOGD
8. Климанова О.А., Колбовский Е.Ю., Илларионова О.А. Экологический каркас крупнейших городов Российской Федерации: современная структура, территориальное планирование и проблемы развития // *Вестник СПбГУ. Науки о Земле*. 2018. № 2. С. 127–146. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2018.201>
9. Парукова Е.В. Проблематика гармонизации цветовых сочетаний в современном интерьере // *Культурное наследие России*. 2022. № 4 (39). С. 66–70.
10. Тарасов К.В. Влияние городской колористики на психоэмоциональное состояние жителей: на примере новых районов Санкт-Петербурга // *Медицина. Социология. Философия. Прикладные исследования*. 2022. № 3. С. 117–123.

References

1. Samsonova E.A. Professional burnout of university teachers as a consequence of destructive management of educational activities. *Obshchestvo: sotsiologiya, psikhologiya, pedagogika*. 2022. No. 1 (93). (In Russian). <https://doi.org/10.24158/spp.2022.1.9>
2. Nikiforov G.S., Vodopyanova N.E., Berезovskaya R.A., Starchenkova E.S. Psychological factors of professional health of higher school teachers. *Vestnik of St. Petersburg University. Ser. 12, Psychology. Sociology. Pedagogy. Seriya 12. Psikhologiya. Sotsiologiya. Pedagogika*. 2015. No. 4, pp. 42–54. (In Russian).
3. Akhunova N.K.K. Possibilities of using virtual reality technologies in education. *Asian Journal of Multidimensional Research (AJMR)*. 2021. Vol. 10. No. 3, pp. 549–555.
4. Demin A.B., Navolotskaya A.V. Analytical review of Natalie Ricci's article "Psychological influence architectural design". *Noema (Architecture. Urbanistics. Art)*. 2020. No. 2, pp. 227–236. (In Russian).
5. Tursunova S.F. Light in the modern world. *Asian Journal of Multidimensional Research (AJMR)*. 2021. Vol. 10. No. 4, pp. 750–756.
6. Roziqberdiev M.I. The time has come to move from stereotypes to creativity: In the example of mosques. *Asian Journal of Multidimensional Research (AJMR)*. 2021. Vol. 10. No. 3, pp. 564–571.
7. Mukhitov R.K., Gordeeva A.E. Neuroarchitecture: architecture that influences people's feelings. *Izvestiya KGASU*. 2022. No. 2 (60), pp. 59–71. (In Russian). DOI: 10.52409/20731523_2022_2_59 EDN: CMHOGD
8. Klimanova O.A., Kolbovsky E.Yu., Illarionova O.A. Ecological framework of the largest cities of the Russian Federation: modern structure, territorial planning and development problems. *Vestnik SPbGU. Nauki o Zemle*. 2018. No. 2, pp. 127–146. (In Russian). <https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2018.201>
9. Parukova E.V. Problematics of harmonization of color combinations in a modern interior. *Kul'turnoe nasledie Rossii*. 2022. No. 4 (39), pp. 66–70. (In Russian).
10. Tarasov K.V. The influence of urban coloristics on the psycho-emotional state of residents: on the example of new districts of St. Petersburg. *Meditcina. Sotsiologiya. Filosofiya. Prikladnye issledovaniya*. 2022. No. 3, pp. 117–123. (In Russian).

УДК 624.01

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-74-77>

Е.А. СЕРОВА, канд. техн. наук, доцент (SerovaEA@mgsu.ru)

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Инструменты выбора экологически эффективных материалов для строительного проекта

Выбор экологически эффективных материалов при реализации строительного проекта позволяет существенно сократить негативное воздействие на окружающую среду и сохранить природные ресурсы. Рассматриваются проблемы, возникающие при выборе экологически эффективных материалов для строительного проекта, приводится оптимизированный перечень определяющих факторов и характеристик экологически эффективных материалов, а также разбираются существующие инструменты выбора экологически эффективных строительных материалов.

Ключевые слова: устойчивое развитие, «зеленое» строительство, выбор экологически эффективных материалов, информационное моделирование зданий.

Для цитирования: Серова Е.А. Инструменты выбора экологически эффективных материалов для строительного проекта // *Жилищное строительство*. 2023. № 11. С. 74–77.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-74-77>

E.A. SEROVA, Candidate of Sciences (Engineering), Docent, (SerovaEA@mgsu.ru)
National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl'skoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Tools for Selecting Environmentally Efficient Materials for a Construction Project

Choosing environmentally efficient materials when implementing a construction project can significantly reduce the negative impact on the environment and preserve natural resources. The existing problems that arise when choosing environmentally efficient materials for a construction project are considered, an optimized list of determining factors and characteristics of environmentally efficient materials is provided, as well as existing tools for choosing environmentally efficient building materials are analyzed.

Keywords: sustainable development, green construction, selection of environmentally efficient materials, Building Information Modeling (BIM).

For citation: Serova E.A. Tools for selecting environmentally efficient materials for a construction project. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 11, pp. 74–77. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-74-77>

Важной задачей экологического дизайна, «зеленого» строительства и концепции устойчивого развития является минимизация негативного воздействия на окружающую среду при реализации строительных проектов (включая процессы производства и логистики строительных материалов, а также последующую переработку строительных отходов).

Для оценки экологической эффективности зданий применяются международные рейтинговые системы оценок, в том числе BREEAM (англ. Building Research Establishment Environmental Assessment Method), LEED (англ. The Leadership in Energy & Environmental Design) и др. [1–3]. В 2022 г. в России вступил в действие ГОСТ Р 70346–2022 «Зеленые» стандарты. Здания многоквартирные жилые «зеленые». Методика оценки и критерии проектирования, строительства и эксплуатации», содержащий методику оценки многоквартирных жилых «зеленых» зданий, в которой отдельно выделена

категория критериев оценки «Материалы и ресурсоэффективность».

Выбор экологически эффективных материалов при проектировании зданий является сложной и многофакторной задачей, включающей анализ качественных и количественных показателей, отражающих вопросы сохранения благоприятной окружающей среды и природных ресурсов [4].

Краткий анализ последних достижений и публикаций

На основании проведенного анализа научных публикаций можно выделить ряд основных проблем, возникающих в процессе выбора строительных материалов с учетом принципов устойчивого развития [4, 5]: отсутствие баз данных по экологически чистым и устойчивым материалам; отсутствие свободного доступа к информации об экологически чистых и устойчивых материалах; ограниченное количество показа-

телей и факторов, влияющих на выбор материала; игнорирование факторов производства строительных материалов; возможные ограничения срока службы экологически чистых и устойчивых материалов.

Популярным инструментом автоматизации процесса выбора экологически эффективных материалов при проектировании зданий является система поддержки принятия решений (Decision Support System, DSS), главной задачей которой является информационная поддержка выбора оптимальных и обоснованных решений [6].

В рассмотренных публикациях исследователи предлагают многокритериальные системы анализа недорогих экологически чистых строительных материалов [6], а также способы определения факторов, влияющих на выбор строительных материалов в соответствии с принципами устойчивого развития [7].

Постановка задачи

Задачами настоящего исследования являются: систематизация и анализ определяющих факторов и характеристик экологически эффективных материалов для реализации строительного проекта; анализ существующих инструментов выбора экологически эффективных материалов в процессе проектирования зданий.

Основные материалы и результаты исследований

Согласно принципам экологического менеджмента при анализе экологически эффективных материалов необходимо учитывать следующие вопросы (Пахомова Н.В., Рихтер К.К., Малышков Г.Б., Хорошавин А.В. Экономика природопользования и экологический менеджмент: Учебник для вузов. М.: Юрайт, 2023. 417 с.): высокое качество материала (основные характеристики); экологическое качество материала; экологическое качество производства; экологическое качество устранения отходов.

В рассмотренных ранее научных публикациях авторы предлагают учитывать также эстетическую привлекательность материала, культурный и социальный контекст, стоимостные показатели, воздействие на окружающую среду на всем протяжении жизненного цикла проекта, возможность повторного использования материала, переработки или утилизации [4–7].

В рамках настоящего исследования для систематизации и анализа выбраны следующие группы факторов и характеристик экологически эффективных материалов для реализации строительного проекта: показатели, отражающие высокое качество материала (долговечность, удобство эксплуатации и технического обслуживания, удобство монтажа, эстетические характеристики материала); показатели, отражающие экологические характе-



Схема распределения определяющих факторов и характеристик экологически эффективных материалов по основным группам
Scheme of distribution of determining factors and characteristics of environmentally efficient materials by main groups

ристики материала (отсутствие содержания вредных веществ в составе материала, минимальное воздействие на окружающую среду, в том числе использование возобновляемых ресурсов и содержание переработанного сырья в составе материалов, доступность материала – использование местных материалов, минимизация логистики); экологическое качество производства (минимальное потребление энергии и природных ресурсов при производстве материала, снижение выбросов вредных веществ в атмосферу при производстве материала, минимизация количества производственных отходов); экологическое качество устранения отходов (определение уровня сложности технологии последующей переработки материала, необходимость утилизации).

Систематизация определяющих факторов и характеристик экологически эффективных материалов для реализации строительного проекта представлена на рисунке.

Далее рассмотрим каждый из представленных факторов и характеристик экологически эффективных материалов более подробно.

Критерий «Долговечность материала» влияет на продолжительность эксплуатации и срок службы будущего здания.

Критерий «Удобство эксплуатации и технического обслуживания» отражает возможность увеличения продолжительности использования материала.

Критерий «Удобство монтажа» позволяет минимизировать трудозатраты, связанные с производством работ, а также уменьшить опасность возникновения аварийных ситуаций в процессе производства работ.

Критерий «Эстетические показатели материала» включает в себя описание эстетических характеристик материала: цвет, прозрачность, тактильные свойства материала и др.

Критерий «Отсутствие содержания вредных веществ в составе материала» характеризует экологическую чистоту материала.

Критерий «Использование возобновляемых ресурсов» отражает возможность использования возобновляемых природных ресурсов при производстве материала.

Критерий «Содержание переработанного сырья в составе материала» учитывает наличие переработанного сырья в составе материала, может иметь количественные показатели, выраженные в % от объема материала.

Критерий «Доступность материала» отражает возможность использования местных материалов при строительстве зданий, а также учитывает фактор расстояния при доставке материала на объект.

Критерий «Минимальное потребление энергии и природных ресурсов при производстве материала» характеризует экологическое качество производства материала.

Критерий «Снижение выбросов вредных веществ в атмосферу при производстве материала» отражает возможность уменьшения негативного воздействия на окружающую среду при производстве материала.

Критерий «Минимизация количества производственных отходов» отражает возможность сокращения негативного воздействия на окружающую среду посредством оптимизации производственных технологических процессов.

Критерий «Сложность технологии последующей переработки материала» отражает уровень сложности технологии последующей переработки материала, необходимость утилизации.

Критерий «Необходимость утилизации» подразумевает отсутствие возможности последующей переработки материала и необходимость его последующей утилизации.

Удобным инструментом автоматизации выбора экологически эффективных материалов для реализации строительного проекта является технология информационного моделирования зданий. В настоящее время многие программные комплексы,

реализующие технологию информационного моделирования, позволяют создавать дополнительные параметры для элементов информационной модели здания [7–9].

Таким образом, дополнительную параметризацию информационной модели здания можно использовать для создания параметров, определяющих наличие переработанных материалов в каждом элементе информационной модели, а также возможность их последующей переработки или утилизации [10].

Эффективным инструментом выбора экологически эффективных материалов является создание автоматизированной системы принятия решений, которая позволит архитекторам, инженерам и дизайнерам принимать оптимальные и обоснованные решения по выбору экологически эффективных материалов для реализации строительного проекта [6].

Для более полного анализа существующей ситуации строительного проекта целесообразно создание мультидисциплинарной рабочей группы, включая архитекторов, инженеров, экологов и других необходимых специалистов для выбора экологически эффективных строительных материалов [4].

Выводы

Предложен уточненный перечень факторов и характеристик экологически эффективных строительных материалов, проанализированы существующие инструменты выбора экологически эффективных материалов, включая технологию информационного моделирования здания и автоматизированные системы принятия решений.

Список литературы / References

1. Рынковская М.И., Цурин Е.Д. Процесс адаптации международных концепций устойчивого строительства в России // *Градостроительство и архитектура*. 2023. Т. 13. № 1. С. 166–176. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.01.21
1. Rynkovskaya M.I., Tcurin E.D. Process of adapting international concepts of sustainable construction in Russia. *Gradostroitelstvo i architektura*. 2023. Vol. 13. No. 1, pp. 166–176. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.01.21
2. Есаулов Г.В., Благовидова Н.Г., Табунщиков Ю.А. Устойчивое развитие в повестке архитектурного образования // *Academia. Архитектура и строительство*. 2020. № 1. С. 19–28. <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2020-1-19-28>
2. Esaulov G.V., Blagovidova N.G., Tabunshchikov Yu.A. Sustainable development in the agenda of architectural education. *Academia. Architectura i stroitelstvo*.

2020. No. 1, pp. 19–28. <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2020-1-19-28>
3. Bihn K. Nguyen, Hasim Altan Comparative review of five sustainable rating systems. *UK Proceedia Engineering*. 2011. Vol. 21, pp. 376–386. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.2029
 4. Margarida Fera and Miguel Amado. Architectural Design: sustainability in the decision-making process. *Buildings*. 2019. 5: 135. <https://doi.org/10.3390/buildings9050135>
 5. Ebrahim Aghazadeh, Hasan Yildirim, Sevda Aliparast. Materials Selection in the construction projects: challenges, criteria and patterns. *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering (IJAMCE)*. 2019. Vol. 6. Iss.1, pp. 42–49.
 6. Yang J. and Ogunkah I. A Multi-criteria decision support system for the selection of low-cost green building materials and components. *Journal of Building Construction and Planning Research*. 2013. No. 1, pp. 89–130. doi: 10.4236/jbcpr.2013.14013
 7. Ogunkah I., Yang J. Investigating factors affecting material selection: the impacts on green vernacular building materials in the design-decision making process. *Buildings*. 2012. 2: 1–32. <https://doi.org/10.3390/buildings2010001>
 8. Shilov L., Shilova L. To the question of the building information modeling technologies transition to a new development level. *E3S Web of Conferences*. 2021. 281. 04006. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202128104006>
 9. Shilov L., Shilova L. Methodology of coding building information model elements at the stages of the life cycle. *Lecture Notes in Civil Engineering this link is disabled*. 2022. 231, pp. 239–247.
 10. Серова Е.А. Вопросы применения изделий и конструкций из переработанного стекла в архитектурных и дизайн-решениях на этапе разработки информационной модели зданий // *Строительство и архитектура*. 2023. №. 3. С. 14–14. DOI: <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2023-11-3-14-14>
 10. Serova E.A. Issues of using products and structures made of recycled glass in architectural and design solutions at the stage of developing an information model of buildings. *Stroitelstvo i architectura*. 2023. No. 3, pp. 14–14. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2023-11-3-14-14>

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Книга «Теоретические основы белизны и окрашивания керамики и портландцемента»

Авторы – Зубехин А.П., Яценко Н.Д., Голованова С.П.

В книге представлены теоретические основы белизны и окрашивания керамических строительных материалов и белого портландцемента (БПЦ) с позиции теории цветности силикатных материалов в зависимости от их фазово-минерального состава, структуры, содержания хромофоров Fe, Mn и Ti, условий обжига и охлаждения (окислительных или восстановительных).

Установлены закономерности зависимости белизны, цвета и особенности окрашивания как пигментов, так и твердых растворов бесцветных фаз ионами-хромофорами от структуры, изовалентного или гетеровалентного изоморфизма, образования окрашивающих кластеров. Разработаны эффективные способы управления белизной и декоративными свойствами строительных керамических материалов (фарфора, фаянса, облицовочной плитки, кирпича) и белого портландцемента.



Книга «Технология производства стеновых цементно-песчаных изделий»

Авторы – Балакшин Ю.З., Терехов В.А.

Описано производство и применение стеновых материалов методом вибропрессования из цементно-песчаных бетонов. Рассмотрена существующая и перспективная номенклатура изделий и их свойства. Даны характеристики сырьевым материалам – песку, щебню, вяжущим и химическим добавкам и рекомендации по подбору состава бетонной смеси. Подробно представлена технология производства цементно-песчаных вибропрессованных стеновых изделий. Особое внимание уделено технологическому контролю на производстве и техническому контролю и обслуживанию оборудования. Книга предназначена для организации производственно-технического обучения на предприятии, будет полезна инженерно-техническому персоналу и широкому кругу специалистов.



**Заказать литературу можно через редакцию
по тел.: (499) 390-87-17; e-mail: mail@rifsm.ru,
или оформить заявку на сайте www.rifsm.ru**

УДК 504:614.7:620.3

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-78-83>

Ж.Г. МОГИЛЮК, канд. техн. наук (MogilyukZG@mgsu.ru)

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, Москва, Ярославское ш., 26)

Метрологические проблемы лазерного мониторинга нанопылевого загрязнения среды жизнедеятельности в мегаполисах

Рассматриваются результаты исследований проблем мониторинга и идентификации онкопроявлений нанопылевого загрязнения мегаполисов. Показано, что широко распространенная в России и других странах аппаратура мониторинга пылевого загрязнения воздуха является достаточно «грубой» и не позволяет выявлять наноэкологические причины и исследовать тонкие механизмы роста, например онкозаболеваний на территории мегаполисов. В связи с этим в статье рассмотрены перспективы лазерного мониторинга концентрации наночастиц в атмосфере и в жилых помещениях. Рассмотрены возможности применения БПЛА для получения распределения наночастиц по высоте. Материалы статьи доказывают, что для надежного выявления и исследования медико-биологических последствий нанопылевых загрязнений воздуха в мегаполисах необходимо применять аппаратуру с разрешающей способностью в диапазоне от 1 до 100 нм, а также необходимо проводить мониторинг нанопылевого загрязнения воздуха в достаточном числе точек на территории мегаполиса. В статье рассмотрены совмещенные лепестковые диаграммы плотности распределения онкозаболеваний в произвольно взятом реальном мегаполисе и диаграммы плотности загрязнения по сторонам света в городе. Показано, что регистрируемые загрязнения воздуха в этом мегаполисе не позволяют выявить наличие их кросскорреляции с диаграммой распределения плотности онкозаболеваний.

Ключевые слова: урбанизированные территории, мегаполисы, экологический мониторинг, нанопылевое загрязнение, наноэкологический мониторинг, лазерные системы и приборы, медико-биологические проявления.

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (грант № 075-15-2021-686). Испытания проводились на исследовательском оборудовании Головного регионального коллективного научного центра Научно-исследовательского Московского государственного строительного университета.

Благодарность: автор выражает признательность врачу-онкологу Мизякину А.Г. за любезно предоставленные территориальные статистические данные о плотности распределения онкологических заболеваний на территориях мегаполисов и проф. Хлыстунову М.С. за техническую поддержку.

Для цитирования: Могилюк Ж.Г. Метрологические проблемы лазерного мониторинга нанопылевого загрязнения среды жизнедеятельности в мегаполисах // *Жилищное строительство*. 2023. № 11. С. 78–83.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-78-83>

Zh.G. MOGILYUK, Candidate of Sciences (Engineering) (MogilyukZG@mgsu.ru)

National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation)

Metrological Problems of Laser Monitoring of Nano-Dust Pollution of the Living Environment in Megacities

The results of research on the problems of monitoring and identification of cancer manifestations of nano-dust pollution of megacities are considered. It is shown that the widely used equipment for monitoring dust air pollution in Russia and abroad is quite "rough" and does not allow to identify the nano-ecological causes and investigate the thin mechanisms of growth, for example, cancer diseases on the territory of megacities. In this regard, the article considers the prospects for laser monitoring of the nanoparticles concentration in the atmosphere and in residential premises. The possibilities of using UAVs to obtain the distribution of nanoparticles in height are considered. The materials of the article prove that in order to reliably detect and study the biomedical consequences of nano-dust air pollution in megacities, it is necessary to use equipment with a resolution in the range from 1 to 100 nm, and it is also necessary to monitor nano-dust air pollution in a sufficient number of points on the territory of the megalopolis. The article considers combined petal-shaped diagrams of the density of the distribution of cancer diseases in an arbitrarily taken real metropolis and diagrams of the density of pollution along the cardinal directions in the city. It is shown that the recorded air pollution in this megalopolis does not allow to reveal the presence of their cross-correlation with the distribution diagram of the density of cancer diseases.

Keywords: urbanized territories, megacities, environmental monitoring, nano-dust pollution, nano-ecological monitoring, laser systems and devices, medical and biological manifestations

Funding: The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (grant No. 075-15-2021-686). The tests were carried out on the research equipment of the Head Regional Collective Research Center of the Moscow State University of Civil Engineering.

Gratitude: The author expresses gratitude to the oncologist Miziakin A.G. for the kindly presented territorial statistical data on the density of the distribution of oncological diseases in the territories of megacities and to Prof. Khlystunov M.S. for technical support.

For citation: Mogilyuk Zh.G. Metrological problems of laser monitoring of nano-dust pollution of the living environment in megacities. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 11, pp. 78–83. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-78-83>

Результаты экологических и эпидемиологических исследований в России и других странах мира подтверждают наличие зависимости между загрязнением атмосферы и смертностью от сердечных и легочных заболеваний у горожан.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) пришла к выводу, что в период с 1999 по 2010 г. из-за качества атмосферного воздуха на планете погибло 3,1 млн человек. При увеличении концентрации PM_{10} и $PM_{2.5}$ на 10 мкг/м^3 суточная смертность возрастает на 0,2–0,6%.

Наряду с этим было установлено, что ультрамелкие вдыхаемые нерастворимые частицы могут быть более токсичными и канцерогенными, чем более крупные аналогичного вещественного состава [1–5]. Результаты эпидемиологических исследований аэрозолей в окружающей среде с начала 1990-х гг. показали, что частицы размером менее 2,5 мкм опаснее для здоровья населения, чем частицы размером от 2,5 мкм до 10 мкм (О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. 368 с.) [6–8].

В связи с этим в ГОСТ Р 54597–2011 (ISO/TR 27628:2007) «Воздух рабочей зоны. Ультрадисперсные аэрозоли, аэрозоли наночастиц и наноструктурированных частиц. Определение характеристик и оценка воздействия при вдыхании» используется термин «ультрадисперсный аэрозоль», относящийся к аэрозольям, дисперсную фазу которых составляют частицы диаметром не более 100 нм. Также в указанном документе используются аналогичные термины: наночастицы, наноаэрозоли, агломераты наночастиц, нановолокна и наноструктурированные частицы.

Так как в последние годы интенсивно ведутся работы по исследованию и разработкам в области нанотехнологий, в ГОСТ Р 54597-2011 (ISO/TR 27628:2007) особое внимание обращено на потенциальное воздействие на здоровье искусственно получаемых частиц нанометрического диапазона [9, 10]. В этом случае также используют термины: искусственно полученные наночастицы или искусственно полученный наноаэрозоль.

Лабораторные и опытные производства нанопорошков являются в максимальном случае источниками килограммового нанопылевого загрязнения лабораторных и производственных помещений, а также прилегающих территорий.

Исследования в области «природного» пылевого загрязнения экологических систем показывают, что существенная доля пыли (порядка 5% общего объема) природного происхождения представляет собой

нанопыль или наноаэрозоли, в том числе проникающие в среду жизнедеятельности человека и в обитаемые помещения.

Источниками нанопылевого загрязнения атмосферы кроме естественных природных процессов также являются традиционные крупнотоннажные производства горнодобывающей промышленности, производства строительных материалов, автомобильный транспорт и другие традиционные отрасли производства.

Наряду с этим источники загрязнения окружающей среды природного и промышленного происхождения в отличие от специальных нанолaborаторий являются источниками мегатонного нанопылевого загрязнения атмосферы в масштабах целых мегаполисов, регионов и континентов.

Континентальные масштабы нанопылевого загрязнения урбанизированных территорий

Актуальную глобальную проблему мониторинга и исследований медико-биологических проявлений не только лабораторной нанопыли, но и естественной наноэкологии среды, включая мегатоннажные природные источники нанопыли и традиционные крупнотоннажные промышленные производства, впервые на международном уровне выдвинул в 2011 г. профессор Московского государственного строительного университета М.С. Хлыстунов, который в докладе 3.03.2011 г. на заседании экспертов подгруппы «Во-

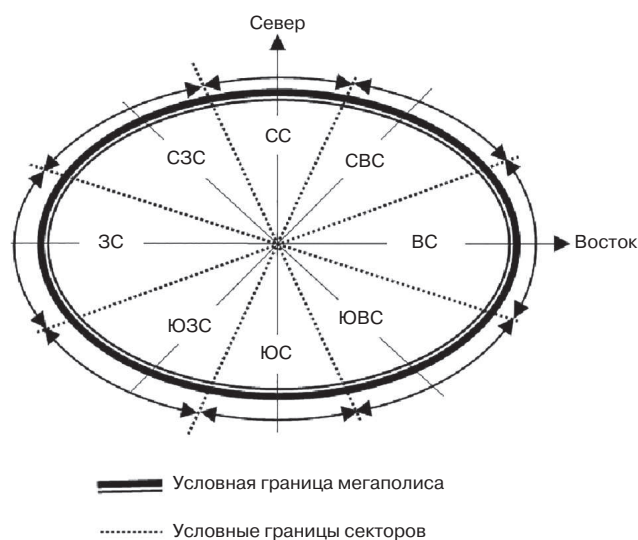


Рис. 1. Условная карта-схема разбиения территории мегаполиса по секторам, ориентированным по сторонам света, где СС, СВС, ВС, ЮВС, ЮС, ЮЗС, ЗС, СЗС – северный, северо-восточный, восточный, юго-восточный, южный, юго-западный, западный и северо-западный сектора условного разбиения территории мегаполиса
Fig. 1. Conditional map-scheme of the division of the territory of a megalopolis into sectors oriented by the cardinal directions, where SS, SHS, VS, SE, YS, YS, ZS, SZS – northern, north-eastern, eastern, south-eastern, southern, south-western, western and north-western sectors of the conditional division of the territory of a megalopolis

**Международная система оценки качества воздуха
International Air Quality Assessment System**

Качество воздуха	По паспорту прибора, ед. частиц пыли в 1 ft ³ воздуха / 1 м ³
Отлично	0–75 / 0–2625
Хорошо	75–300 / 2625–22500
Нормально	300–1050 / 22500–36750
Плохо	1050–3000 / 36750–225000
Очень плохо	3000+ / 225000+

просы безопасности нанотехнологий для здоровья людей и окружающей среды» двусторонней Президентской комиссии РФ и США по вопросам науки и технологий на примере нанопылевого загрязнения территории США продемонстрировал, что нанопылевое загрязнение экологической среды природными источниками и традиционными крупнотоннажными производствами представляет существенно большую угрозу для континентальных экосистем и здоровья человека, чем мелкие производства искусственных нанопорошков.

Это связано как с громадной массой природной нанопыли, оседающей в среде жизнедеятельности человека, так и с глобальными территориями нанопылевого загрязнения. В докладе продемонстрировано, что, например, на территории США оседает более 43 млн т пыли в год, в том числе: 31 млн т природного происхождения; 12 млн т техногенного происхождения.

Из этих 43 млн т пыли наиболее опасной составляющей являются менее 2 млн т, в том числе нанодисперсных пылевых компонентов.

В 1 г пыли содержится около 700 млн различных компонентов, включая около 35 млн нанодисперсных.

В 1 см³ среднестатистического комнатного воздуха содержится до 5,5 млн пылевых компонентов, включая более 300 тыс. нанодисперсных, и до 19 тыс. опасных микроорганизмов размерами менее 100 нм. В день дыхательная система человека, например в офисном или административном помещении, пропускает через себя до 6 млрд пылевых компонентов, включая более 300 млн нанодисперсных (<100 нм).

Однако в п. 6.4 (Химический анализ в режиме реального времени) ГОСТ Р 54597–2011 (ISO/TR 27628:2007) признается, что серийно выпускаемые приборы для масс-спектрометрического анализа аэрозолей и пыли способны вести микрометрический мониторинг в воздухе рабочей зоны частиц размерами только более 100 нм. Эти ограничения связаны с тем, что имеющиеся приборы нанометрического диапазона отличаются большими габаритами, высокой стоимостью и сложностью.

Таким образом, существующие приборы не позволяют осуществлять массовый площадной мо-

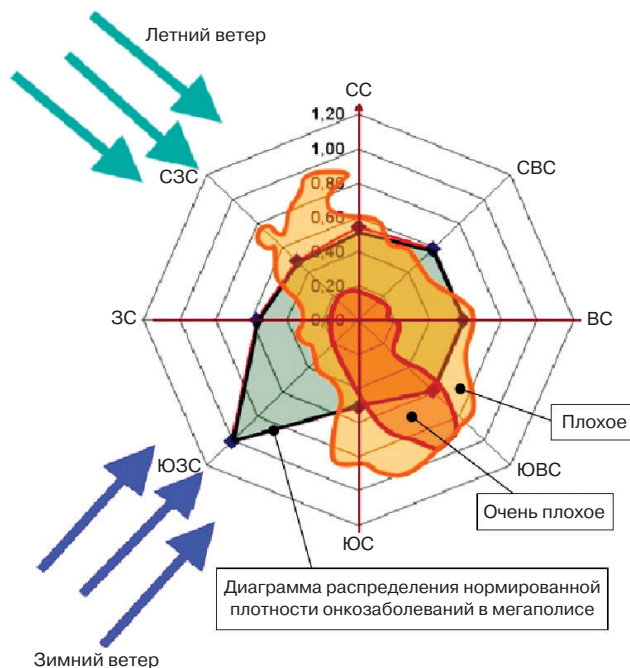


Рис. 2. Двумерная лепестковая диаграмма распределения нормированной удельной плотности онкозаболеваний и плотности загрязнения воздуха по сторонам света в мегаполисе

Fig. 2. Two-dimensional petal diagram of the distribution of the normalized specific density of oncological diseases and the density of air pollution by cardinal directions in a megapolis

иторинг параметров нанопылевого загрязнения экологических систем, среды жизнедеятельности человека и обитаемых помещений. Важность задачи наномониторинга подтверждается результатами кросскорреляционных исследований больших массивов статистических данных, например кросскорреляционного анализа данных по экологическому мониторингу загрязнения территории мегаполисов и равномерности распределения по этой территории плотности тяжелых хронических заболеваний. Учитывая, что основной задачей настоящей статьи является исследование тончайших экологических механизмов и причинно-следственных связей медико-биологических (онкологических) проявлений нанопылевого загрязнения атмосферы, а также для исключения риелторских спекуляций исследование этой типичной проблемы проводится на территории произвольно взятого современного мегаполиса.

Модели и методы

Территориальные экологические исследования плотности онкопроявлений загрязнения воздуха в рассматриваемом мегаполисе проведем методом визуального кросскорреляционного анализа. Суть этого метода заключается в следующем. Для применения этого метода необходимо выбрать способ разбиения территории мегаполиса на сектора, которые в дальнейшем будут использоваться в качестве

системы пространственных (картографических) осей отображения медико-биологической и наноэкологической информации для взаимного или кросскорреляционного визуального статистического анализа. Выбор способа разбиения на сектора зависит от формы площади застройки мегаполиса. На рис. 1 приведен способ разбиения мегаполиса на сектора для случая, когда картографическая форма площади застройки мегаполиса условно близка к круговой или эллиптической.

В случае линейной, криволинейной, прямоугольной или иной формы площади застройки мегаполиса или исследуемой урбанизированной территории могут выбираться и другие картографические способы визуализации данных, подлежащих пространственному визуальному кросскорреляционному анализу.

Для упрощения кросскорреляционного анализа также может использоваться международная система количественной оценки качества воздуха (таблица), благодаря которой уровни загрязнения контролируемой территории мегаполиса могут быть выражены разными цветами заливки соответствующих картографических площадей загрязнения.

Для устранения зависимости количества онкобольных от площади территории сектора и от численности населения в секторе в качестве оценки онкопроявлений будет использована удельная плотность заболеваемости. Удельная плотность онкопроявлений вычислена в виде числа онкобольных в секторе по отношению к общему числу жителей в секторе. Затем выделяем сектор с максимальной удельной плотностью заболеваемости и делим на это максимальное значение все удельные значения по остальным секторам мегаполиса. В результате получаем нормированные значения удельной плотности заболеваний по всем секторам мегаполиса.

Построим ориентированную по сторонам света лепестковую диаграмму удельной плотности онкозаболеваний по всем секторам мегаполиса и совместим ее способом наложения с условной картой распределения плотности загрязнения территории мегаполиса.

Представление и анализ результатов исследования

Визуальный кросскорреляционный анализ результатов заключается в визуальном поиске наличия областей совпадения максимальной нормированной удельной плотности онкозаболеваний и максимальной плотности загрязнения территории мегаполиса по секторам. В случае отсутствия таких совпадений следует отрицательный вывод о том, что используемые результаты мониторинга не содержат причинно-следственных связей онкозаболеваемости или при-

боры мониторинга загрязнения атмосферы не обладают необходимой разрешающей способностью и чувствительностью для регистрации тонких механизмов формирования канцерогенных наноэкологических процессов.

На территории рассматриваемого произвольно взятого современного мегаполиса мониторинг загрязнения ведется организацией типа государственного природоохранного бюджетного учреждения «Горэкомониторинг», а мониторинг онкозаболеваемости – соответствующими медицинскими учреждениями города. Данные мониторинга используем следующим образом: строим лепестковую диаграмму распределения онкозаболеваний в городе по сторонам света (по секторам) согласно рис. 1; накладываем на нее географическую карту распределения плотности загрязнения города согласно данным организации, ведущей мониторинг загрязнения атмосферы.

Совмещенная лепестковая диаграмма распределения онкозаболеваний и карта плотности загрязнения по сторонам света в исследуемом городе (рис. 2) показывают, что регистрируемые загрязнения воздуха не позволяют выявить наличие их кросскорреляции с диаграммой распределения плотности онкозаболеваний по сторонам света в городе.

Это может быть связано с тем, что наиболее канцерогенные нанопылевые загрязнения на территории города не регистрируются применяемой и широко распространенной аппаратурой мониторинга (с разрешающей способностью немногим менее 2,5 мкм). Следовательно, для надежного выявления онкогенных пылевых загрязнений требуется аппаратура с разрешающей способностью в диапазоне от 1 до 100 нм, т. е. на два-три порядка более чувствительная, чем используемая в настоящее время.

Перспективы лазерного мониторинга концентрации наночастиц и применения БПЛА при мониторинге урбанизированных территорий

При различного рода обследованиях и мониторинге урбанизированных территорий, учитывая их большие протяженности и площади, а также тенденции к расширению, исследователям приходится сталкиваться с проблемой сбора и обработки значительных объемов данных. В последние годы набирает популярность в качестве инструмента сбора данных применение беспилотных авиационных систем. В связи с этим автору публикации представляется перспективным применение беспилотных авиационных систем в связке с приборами нанометрического диапазона измерений для мониторинга концентрации наночастиц в воздухе урбанизированных территорий с высокой плотностью застройки на различных высотах для

расширения исследований и получения возможности учета фактора переноса наночастиц воздушными потоками.

Выводы

Широко распространенная в настоящее время в РФ и других странах мира аппаратура мониторинга пылевого загрязнения воздуха является достаточно «грубой» и не позволяет выявить причины и исследовать механизмы роста заболеваемости населения в зависимости от дисперсного состава пылевого загрязнения атмосферного воздуха, например онкозаболеваний, на территории мегаполисов.

Для надежного выявления и исследования онкопроявлений канцерогенных пылевых загрязнений воздуха в мегаполисах необходимо применять аппа-

ратуру с разрешающей способностью в диапазоне от 1 до 100 нм, проводить мониторинг нанопылевого загрязнения воздуха в достаточном числе точек на территории мегаполиса и на различных высотах.

Необходимо расширить исследования в области систем и приборов мониторинга концентрации нанопыли в жилых помещениях и в атмосфере мегаполисов с применением БПЛА.

Таким образом, статью следует рассматривать как базовую для целой серии последующих исследований по совершенствованию существующих методов, технологий, систем и приборов мониторинга, а также их применению, например для исследования медико-биологических проявлений опасных нанозоологических процессов на урбанизированных территориях.

Список литературы

1. Пухтеева И.В., Микулич М.С. Анализ зависимости между загрязнением атмосферного воздуха твердыми частицами и возникновением онкологических заболеваний. *Сахаровские чтения 2022 года: Экологические проблемы XXI века. Материалы 22-й Международной научной конференции*. Минск: Информационно-вычислительный центр Министерства финансов Республики Беларусь, 2022. Т. 1. С. 233–237. DOI: 10.46646/SAKH-2022-1-233-237
2. Топчубаева Э.Т., Калматов Р.К., Муратов Ж.К. Загрязнения атмосферы как важнейший фактор нарушений состояния здоровья человека // *Вестник Кыргызско-Российского славянского университета*. 2022. № 1. С. 198–204. DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-1-198-204
3. Просвирякова И.А., Шевчук Л.М. Гигиеническая оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными твердыми частицами на здоровье населения // *Медицина труда и экология человека*. 2018. № 3 (15). С. 28–32.
4. Park S. et al. A likely increase in fine particulate matter and premature mortality under future climate change. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2020, pp. 143–151. <https://doi.org/10.1007/S11869-019-00785-7>
5. Doherty R.M. et al. Climate change impacts on human health over Europe through its effect on air quality. *Environmental Health*. 2017, pp. 33–44. <https://doi.org/10.1186/S12940-017-0325-2>
6. Луценко Л.А., Гвоздева Л.Л., Татянюк Т.К. Информативность дифференциального учета размеров твердых частиц в воздушной среде для защиты здоровья работников пылевых профессий и населения (обзор литературы) // *Гигиена и санитария*.

References

1. Puhteeva I.V., Mikulich M.S. Analysis of the relationship between air pollution by solid particles and the occurrence of oncological diseases. *Sakharov readings 2022: Environmental problems of the 21st century. Proceedings of the 22nd International Scientific Conference*. Minsk: Informatsionno-vychislitel'nyy tsentr Ministerstva finansov Respubliki Belarus' Publ. 2022. Vol. 1. No. 1, pp. 233–237. (In Russian). DOI: 10.46646/SAKH-2022-1-233-237
2. Topchubaeva E.T., Kalmatov R.K., Muratov Zh.K. Atmospheric pollution as the most important factor of human health disorders. *Vestnik of the Kyrgyz-Russian Slavic University*. 2022. No. 1, pp. 198–204. (In Russian). DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-1-198-204
3. Prosviryakova I.A., Sheuchuk L.M. Hygienic assessment of impact of ambient air pollution by finely dispersed solid particles on population's health. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*. 2018. No. 3 (15), pp. 28–32. (In Russian).
4. Park S. et al. A likely increase in fine particulate matter and premature mortality under future climate change. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2020, pp. 143–151. <https://doi.org/10.1007/S11869-019-00785-7>
5. Doherty R.M. et al. Climate change impacts on human health over Europe through its effect on air quality. *Environmental Health*. 2017, pp. 33–44. <https://doi.org/10.1186/S12940-017-0325-2>
6. Lutsenko L.A., Gvozdeva L.L., Tatyanyuk T.K. Informativity of the differentiated account of sizes of solid particles in the air environment for the protection of the health of employees of dust professions and the population (Review of the literature data). *Gigiyena i sanitariya*. 2008. No. 6, pp. 514–519.

2018. № 6. С. 514–519. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-6-514-519
7. Калаева С.З.К., Чистяков Я.В., Муратова К.М., Чеботарев П.В. Влияние мелкодисперсной пыли на биосферу и человека // *Известия Тульского государственного университета. Науки о земле*. 2016. № 3. С. 40–63. (In Russian) DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-6-514-519
7. Kalaeva S.Z.K., Chistyakov Ya.V., Muratova K.M., Chebotarev P.V. Influencing fine-dispersed dust upon biosphere and human. *Izvestiya of Tula State University. Geosciences*. 2016. No. 3, pp. 40–63. (In Russian).
8. Голохваст К.С. Нано- и микро-размерные частицы атмосферных взвесей и их экологический эффект (на примере городов юга Дальнего Востока): Дис. ... д-ра биол. наук. Томск, 2014. 310 с.
8. Golokhvast K.S. Nano- and micro-sized particles of atmospheric suspensions and their environmental effect (on the example of cities in the south of the Far East). Doctor Diss. (Biological). Tomsk. 2014. 310 p. (In Russian).
9. Sevalnev A.I., Sharavara L.P., Nefedov O.O., Nefedova O.O., Shatorna V.F. Actual problems of exposure risk assessment of finely dispersed aerosols and aerosols of nanoparticles // *Запорожский медицинский журнал*. 2018. Т. 20. № 2(107). С. 270–274. DOI: 10.14739/2310-1210.2018.2.125526
9. Sevalnev A.I., Sharavara L.P., Nefedov O.O., Nefedova O.O., Shatorna V.F. Actual problems of exposure risk assessment of finely dispersed aerosols and aerosols of nanoparticles. *Zaporozhskiy meditsinskiy zhurnal*. 2018. Vol. 20. No. 2 (107), pp. 270–274. DOI: 10.14739/2310-1210.2018.2.125526
10. Ивлиева А.Л., Зиньковская И.И., Петрицкая Е.Н., Рогаткин Д.А. Наночастицы и наноматериалы – неизбежные современные токсичные агенты. Обзор. Ч. 1. Области применения наночастиц и промышленная нанотоксикология // *Экология человека*. 2022. № 2. С. 73–88. DOI: 10.17816/humeco100153
10. Ivlieva A.L., Zinicovskaia I.I., Petriskaya E.N., Rogatkin D.A. Nanoparticles and nanomaterials as inevitable modern toxic agents. Review. Part 1. Application of nanoparticles and occupational nanotoxicology. *Ekologiya cheloveka*. 2022. No. 2, pp. 73–88. (In Russian). DOI: 10.17816/humeco100153

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Учебное пособие «Химическая технология керамики»

Авторы – Андрианов Н.Т., Балкевич В.Л., Беляков А.В., Власов А.С.,
Гузман И.Я., Лукин Е.С., Мосин Ю.М., Скидан Б.С.

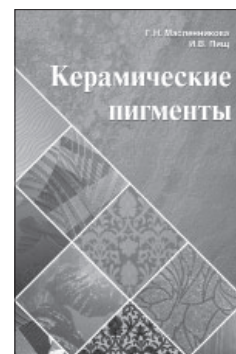
Освещены вопросы современного состояния технологии основных видов керамических изделий строительного, хозяйственно-бытового и технического назначения, а также различных видов огнеупоров. Главное внимание уделено основным процессам технологии керамики и ее свойствам. Подробно изложены характеристика различных видов сырья, проблемы подготовки керамических масс различного вида и их формование различными методами, особенности механизмов спекания, а также дополнительные виды обработки керамики: металлизация, глазурирование, декорирование, механическая обработка. Детально описаны свойства керамических изделий – механические, деформационные, теплофизические, электрофизические, в том числе при высоких температурах.



Книга «Керамические пигменты»

Авторы – Масленникова Г.Н., Пицц И.В.

В монографии рассмотрены физико-химические основы синтеза пигментов, в том числе термодинамическое обоснование реакций, теория цветности, современные методы синтеза пигментов и их классификация, методы оценки качества. Приведены сведения по технологии пигментов и красок различных цветов и кристаллических структур. Описаны современные методы декорирования керамическими красками изделий из сортового стекла, фарфора, фаянса и майолики. Книга предназначена для научных сотрудников, студентов, специализирующихся в области технологии керамики и стекла, а также для инженерно-технических работников, занятых в производстве керамических изделий и красок.



**Заказать литературу можно через редакцию
по тел.: (499) 390-87-17; e-mail: mail@rifsm.ru,
или оформить заявку на сайте www.rifsm.ru**

УДК 726.54 (470.620)

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-84-89>

О.С. СУББОТИН, д-р архитектуры (subbos@yandex.ru)

Д.О. ГУЛЯН, архитектор (aluhanyan.diana@yandex.ru)

Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина (350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13)

Архитектурная культура армянского народа в г. Армавире Краснодарского края

Рассмотрены архитектурные объекты г. Армавира Краснодарского края, обладающие особой культурно-исторической ценностью в контексте непосредственной связи с армянским народом. В рамках заявленной темы определены базовые элементы: цель, задачи и объект исследования. Раскрыто содержание понятия архитектурной культуры в совокупности форм человеческой деятельности. Отдельное внимание уделено традициям и канонам армянского церковного зодчества, а также надлежащим архитектурно-планировочным и инженерно-конструктивным решениям общеобразовательных учреждений и жилого дома. Отмечена важность взаимного градостроительного размещения культового сооружения и учебного заведения в деле духовно-нравственно-го воспитания. В результате исследования сделан вывод о бережном сохранении архитектурного наследия. Статья может быть полезной для специалистов, изучающих региональную архитектуру Кубани.

Ключевые слова: архитектурная культура, храм, церковь, сооружение, армянское зодчество, ценность, композиция, своеобразие, соборная площадь, жилой дом.

Для цитирования: Субботин О.С., Гулян Д.О. Архитектурная культура армянского народа в г. Армавире Краснодарского края // *Жилищное строительство*. 2023. № 11. С. 84–89.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-84-89>

O.S. SUBBOTIN, Doctor of Architecture, (subbos@yandex.ru), D.O. GULYAN, Architect, (aluhanyan.diana@yandex.ru)
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin (13 Kalinina Street, Krasnodar, 350044, Russian Federation)

The Architectural Culture of the Armenian People in the City of Armavir, Krasnodar Krai

The architectural objects of Armavir, Krasnodar Krai, which have a special cultural and historical value in the context of direct connection with the Armenian people, are considered. Within the framework of the stated topic, the basic elements are defined: the purpose, objectives and object of research. The content of the concept of «architectural culture» in the totality of forms of human activity, set forth in the scientific work of the scientist, is revealed. Special attention is paid to the traditions and canons of Armenian church architecture, as well as proper architectural planning and engineering design solutions of educational institutions and residential buildings. The importance of the mutual town-planning placement of a religious building and an educational institution in the matter of spiritual and moral education was noted. As a result of the study, a conclusion was made about the careful preservation of architectural heritage. The material of the article may be useful for specialists studying the regional architecture of the Kuban.

Keywords: architectural culture, temple, church, structure, armenian architecture, value, composition, originality, cathedral square, residential building

For citation: Subbotin O.S., Gulyan D.O. The architectural culture of the armenian people in the city of Armavir, Krasnodar krai. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 11, pp. 84–89. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-84-89>

На протяжении исторических периодов градостроительного развития территориальных образований Кубани архитектура является одной из составляющих культур различных национальностей, проживающих на территории региона. В зданиях и сооружениях народного зодчества ярко проявляется своеобразие их самобытного искусства и многолетние художественные традиции и обычаи в тесной взаимосвязи с культурой казачества. Наиболее ярко истоки кубанской культуры казачества, а именно совокупность ее материальной и духовной ценности, проявляются с начала освоения и заселения региона в XVIII в., после подписания в 1774 г. «мирного Кючук-Кайнар-

джийского договора между Российской и Османской империями» [1]. Данный договор положил начало присоединению территории Кубани к Российскому государству и предоставлял законное право беспрепятственного доступа к Черному морю.

Основные положения исследования обуславливают актуальность этнической идентичности произведений армянского искусства в свете формирования региональной архитектуры, которая является важнейшим сегментом культуры и трактуется как определенное воссоздание художественного образа.

Целью исследования является выявление архитектурных объектов, созданных на территории г. Ар-

мавира, имеющих культурно-историческую связь с армянским народом.

Задачи исследования: проанализировать армянскую архитектуру, опираясь на массив архивных исторических источников; проследить формирование архитектурной культуры армянского народа с точки зрения регионального зодчества Кубани; обобщить и охарактеризовать архитектуру отдельно взятых армянских зданий в г. Армавире, являющихся памятниками историко-культурного наследия; раскрыть архитектурные и конструктивные особенности армянских зданий в г. Армавире в исторический период XIX – начала XX в.

Объект исследования – архитектурное наследие в культурном пространстве г. Армавира, обладающее исторической связью с армянским народом.

Наиболее отчетливо архитектурная культура Кубани проявляется в многовековых традициях и устоях различных национальностей и этносов, а именно в среде социокультурного пространства данного региона. Частичку самобытности в архитектурную культуру региона привносит также армянский народ, тем самым укрепляя дружеские связи в общественной и деловой жизни. Член-корр. РААСН, профессор Ж.М. Вержбицкий утверждает, что «архитектурная культура есть способ созидательной деятельности произведений искусства в структуре культуры человечества» [2]. Соответственно этому суждению вдвойне важна роль данной культуры с точки зрения жизни современного общества. Таким образом, обстоятельно проведенное исследование региональной архитектурной культуры позволяет выявить исторические закономерности становления и формирования Кубани в контексте произведений зодчества многочисленных этносов, а также определить дальнейшую стратегию развития архитектуры и градостроительства субъекта Российской Федерации.

На Кубани бережно чтут вековые традиции развитой архитектурной культуры армянского народа, воплощенные в объектах различного функционального назначения, обладающих «рядом специфических региональных черт» [3]: в культовых сооружениях и гражданских зданиях, которые обусловлены национальным стилем в сочетании с совершенным искусством работы выдающихся мастеров с камнем. Наряду с этим следует отметить закономерное убеждение о национальном зодчестве выдающегося ученого д-ра искусствоведения С.О. Хан-Магомедова, который подчеркивает, что армянская архитектура «даже в масштабах Европы в целом представляет удивительный художественный феномен, явно выделяясь по профессиональному уровню из большинства творческих школ Восточной Европы» [4].



Рис. 1. Армавир, ул. им. генерала Засса. Вид от Николаевского проспекта к ул. Лорис-Меликовской. Справа расположен дом известных армянских купцов Тарасовых. 1913 г.

Fig. 1. Armavir. st. General Zass. View from Nikolaevsky prospect to the street. Loris-Melikovskaya. On the right is the house of famous Armenian merchants Tarasovs. 1913



Рис. 2. Армавир. Георгиевская армяно-григорианская церковь, 1911 г.

Fig. 2. Armavir. St. George's Armenian-Grigorian Church, 1911

Архитектурно-художественные и инженерно-конструктивные решения культовых зданий прошедших веков и современности наглядно отражают первооснову армянских церковных зданий, зародившуюся еще со времен древней христианской цивилизации: высокие остроконечные купола, символизирующие горные вершины Арарата; вертикальный упор всей конструкции объекта; узкие выразительные окна, способные выдерживать сильную ветровую нагрузку; внутреннее убранство, богато украшенное символическими фигурами и фресками, специфика использования природного строительного материала. Культовые постройки играют важную роль в «объемно-пространственном облике» [5] поселений, бережно сохраняя историческую память.

Отмечается характерная черта градостроительных комплексов армянского зодчества, а именно органичное сочетание двух различных по своему назначению композиций, но одновременно рядом расположенных архитектурных объектов – культо-

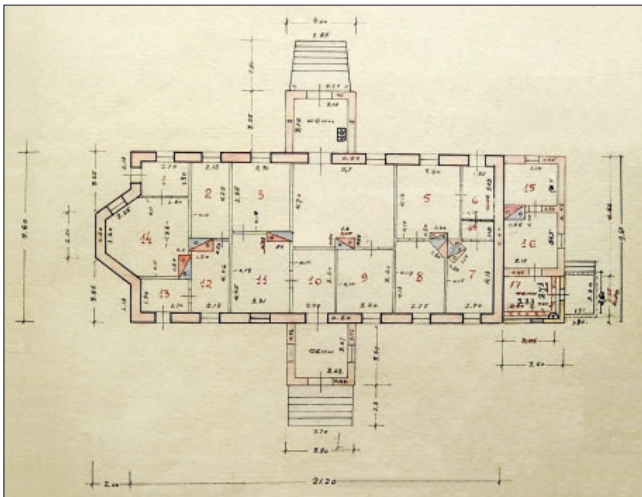


Рис. 3. Армавир. Схематический план здания бывшей Георгиевской армяно-григорианской церкви, 1951

Fig.3. Armavir. Schematic plan of the building of the former St. George's Armenian-Gregorian Church, 1951



Рис. 4. Общий вид Армавира. В правом верхнем углу Георгиевская армяно-григорианская церковь, начало XX в.

Fig. 4. General view of Armavir. In the upper right corner St. George's Armenian-Gregorian Church, early 20th century

вого сооружения и общеобразовательного учреждения, что наиболее важно в деле нравственного и культурного воспитания подрастающего поколения. Особенно наглядно демонстрируются примеры градостроительного размещения данных объектов в архитектурно-планировочной структуре Армавира и Краснодара (до 1920 г. – Екатеринодар), обусловленные композиционным сочетанием и гармоничным равновесием.

В 1839 г. генерал-майор Г.Х. Засс – командующий Кубанской линии – с целью поощрения черкесских армян обратился к правительству с просьбой разрешить строительство храма в армянском ауле (ныне г. Армавир), и уже весной 1840 г. «на центральной площади поселения, с помощью наемных ремесленников в поселении начинается строительство деревянной церкви» [6]. Армавирцы по достоинству оценили вклад Г.Х. Засса в развитие поселения, назвав одну из центральных улиц в его честь (рис. 1).

Армяно-григорианская церковь представляла собой деревянную постройку, возведенную на каменном фундаменте с железной крышей, но, к сожалению, время ее существования из-за пожара 1842 г. было недолгим. После всенародно организованного сбора средств на постройку новой церкви, в котором принял участие государь император Николай I, начинается строительство нового каменного храма. Автором утвержденного в 1844 г. проекта культового сооружения является архитектор и преподаватель А.Я. Фарафонтъев. Примечательно, что представитель духовенства, а именно «Петрос Патканян – ставропольский армянский священник, предложивший в 1848 г. для Армянского аула на Кубани название Армавир» [7], дал название будущему городу.

На протяжении последних десятилетий XIX в. в данном культовом сооружении, подвергавшемся постепенному разрушению, осуществлялись конструктивные мероприятия, направленные на повышение надежности эксплуатации здания, а также проводились работы по реконструкции в целях соответствия армянским церковным канонам. Поэтому в начале XX в. настала неотложная необходимость строительства нового храма рядом со старым зданием. Возведение новой армянской Георгиевской церкви началось 23 апреля 1908 г. и продолжалось в основном до 1911 г. Данное культовое сооружение является ярким образцом выдающихся построек в национальной архитектуре Южного региона, который по праву занял ведущее место среди выдающихся произведений армянского культового зодчества Северного Кавказа. В то же самое время это была уже четвертая построенная в Армавире армянская церковь (рис. 2–4).

Соборная площадь (в некоторых источниках – Церковная или Торговая), на которой находилась данная церковь и откуда расходились основные улицы – Николаевский пр. и ул. Глинки (ныне – улицы С.М. Кирова и П. Осипенко), представляла собой центр исторического общественного пространства с духовно-просветительской и образовательной деятельностью. Это обстоятельство было закономерным, так как площадь с прекрасным обзором восприятия была гармонично совместима с остальной частью поселения, практически ее становление произошло с возникновением самого поселения, как две неотъемлемые составляющие единого целого. Одновременно при содействии церкви Успения Богородицы осуществляется строительство армяно-аульской церковно-приходской школы, предпочтительно называемой в XIX в. «священнической школой для поселянских детей». Примечательно, что это одно из первых кирпичных зданий в ауле, возведенное в 1848 г., с начальными классами для мальчиков, которое сохранилось и эксплуатируется в настоящее время (ул. Кирова, 5).



Рис. 5. Армавир. Армянское женское училище, ул. Глинки: а – 1911 г.; б – современный вид
Fig. 5. Armavir. Armenian Women's College, st. Glinka: a – 1911; b – Modern look



Рис. 6. Армавир. Жилой дом с торговыми помещениями Т.С. Саркисова, угол ул. Ефремова, 64 и ул. Комсомольской: а – середина XX в.; б – современный вид
Fig. 6. Armavir. Residential building with commercial premises T.S. Sarkisova, corner of st. Efremova, 64 and st. Komsomolskaya: a – Mid 20th century; b – Modern look

В течение длительного времени с 1895 по 1903 г. осуществляется строительство армянского церковно-приходского женского училища (угол ул. С.М. Кирова, 9 и ул. П. Осипенко, 136) с надлежащим обустройством инженерных коммуникаций – электричеством и водопроводом. Отопление осуществлялось за счет тепла восьми голландских печей, отличительным качеством которых является простота конструкций.

Внутреннее функциональное зонирование училища было выполнено с учетом назначения помещений, в целях создания уютного комфортного пространства: восемь соразмерных и в то же время светлых и просторных классных комнат с высокими потолками, большой актовый зал высотой 5,7 м, комната для учителей, в которой удобно размещалась библиотека для передачи культурной традиции, три рекреационных коридора, предназначенны для отдыха учащихся, а также небольшое подвальное помещение.

Симметричный главный фасад здания с большими вертикальными окнами выдержан в стиле эклектики и гармонично совмещает в себе различные декоративные элементы нескольких архитектурных

направлений. «Композиция фасадов армянского женского начального реального училища отличается четкостью и регулярностью» [8]. В благоустройстве территории отмечается функционально организованное комфортное пространство (рис. 5).

Армянская община на территории Армавира оставила богатое историко-архитектурное наследие, представляющее культурную и художественную ценность. Это жилые дома, функциональные разновидности общественных зданий – эталоны гражданской архитектуры, значительная часть которых являются памятниками историко-культурного наследия. Так, например, объемно-пространственная композиция жилого дома с торговыми помещениями Т.С. Саркисова, расположенного на углу ул. Ефремова, 64 и ул. Комсомольской, является образцом традиционной характеристики градостроительного и природного окружения (рис. 6).

Первоначально жилое здание выполняло три опорные функции, соответствовавшие его поэтажному членению: производственную (пекарня в подвальном этаже); торговую (магазины и склады на первом этаже) и жилую (второй этаж). До историче-



Рис. 7. Фрагмент решетки балкона, орнаментированной листьями дерева гинкго

Fig. 7. Fragment of a balcony lattice ornamented with leaves ginkgo tree

ских событий 1917 г. собственником домовладения был торговец мучным товаром и хлебопек инородный армянин Тарас Сергеевич (Теотрос Саркисович) Саркисов. Он же возвел ныне существующее здание (осуществлял строительство данного объекта), где оборудовал большую паровую хлебопечкарню и открыл магазин-булочную. Компаньоном Т.С. Саркисова по распоряжению предприятием был родной брат его жены Арташес Давидович Бабаянц (Бабаев).

Прямоугольное в плане, двухэтажное кирпичное здание с подвалом построено в 1910 г. Т.С. Саркисовым. Здание является наиболее заметным объектом сохранившейся застройки бывшей площади Сенного (Нового) рынка, его первый этаж использовался под торговые помещения, подвалы – под паровую хлебопечкарню, второй этаж был жилым.

Главные фасады развернуты по красным линиям ул. Ефремова (ранее – ул. Сенная) и ул. Комсомольской (ранее – ул. Зассовская). Со стороны двора к дому примыкает двухэтажная пристройка дореволюционного периода. В архитектурном решении эклектичных главных фасадов присутствуют элементы нескольких различных стилей. Первый этаж, использовавшийся под торговые помещения, почти лишен архитектурного декора. Простенки между большими окнами-витринами, расположенными попарно, декорированы рустовыми лопатками.

В контрасте с простым первым этажом эффектно выглядит архитектурно-декоративное убранство второго этажа, решенного в классических пропорциях. Высокие прямоугольные окна, размещенные по три, разделены широкими плоскими лопатками с

горизонтальной порезкой. Окна обрамлены узкими рамочными наличниками и увенчаны сандриками двух видов – треугольными и лучковыми. Плоскость стен под окнами, выделенная ступенчатым кирпичным поясом, обработана выступающими ширинками. Уровни первого и второго этажей разделены многопрофильным междуэтажным карнизом. Оба главных фасада завершены ступенчатым карнизом с небольшими выступающими ширинками во фризовой части. Все декоративные элементы выполнены из кирпича. В выступающей за линию фасада части здания на уровне второго этажа размещен большой полукруглый балкон, огражденный ажурной решеткой с растительными мотивами, характерными для стиля модерн (рис. 7).

За годы эксплуатации главные фасады здания претерпели следующие изменения: заложен выход на балкон; большие витрины на первом этаже частично заложены – каждая из витрин переоборудована в два оконных проема, причем несколько оконных проемов заложены полностью. В настоящее время данный объект является памятником архитектуры, одним из ярких доминант исторической застройки г. Армавира.

На протяжении всего времени проживание на территории г. Армавира и взаимодействие с русским населением в значительной степени способствовали приобщению армянского общества к исконно русской среде, культуре, сохраняя при этом свои национальные традиции и не утрачивая этническую красоту своего народа. Хотя Армавир являлся относительно «молодым» поселением, в его внешнем облике уже различалось несколько исторических пластов [9].

Между тем в прошедшие годы резко возросли объемы нового строительства и отдельные объекты, построенные в различные века и не имеющие художественной ценности, но в то же время являющиеся значимыми элементами исторической среды, подвергаются перестройкам. Это важная часть архитектурной культуры поселений, в контексте зрительного и эмоционального восприятия объектов в естественном окружении со своим самобытным обликом, которая безусловно подлежит сохранению; в худшем случае мы ее можем потерять и останется только память, а также литературные летописи. В связи с этим требуется разработка комплексных программ и специальных проектов по реконструкции и возрождению исторической среды [10].

Заключение

История архитектуры любого народа позволяет эмпирически исследовать процессы возникновения, формирования и развития зодчества в хронологиче-

ской последовательности с целью выявления изначально традиционных, но в тоже время новаторских идей, а также инженерно-конструктивной логики. «Армяне, расселившись по Кавказу, переняли обычаи, быт и весь уклад жизни народов, среди которых они поселились. Однако сохранили язык и христианскую религию» [11]. Сберегая историческую память, вековые традиции, цивилизованное общество одновременно поддерживает и преумножает культурную связь с прошлым, что особенно важно для представления о культурном наследии, в частности армянского народа, для сохранения его самобытных черт.

Региональная архитектурная культура на основе межэтнической интеграции неразрывно взаимодействует с традиционной армянской культурой, которая богата как культовыми сооружениями, так и объектами нерелигиозного назначения. При этом на Кубани, а именно в Армавире, находится множество

архитектурных зданий и сооружений, обладающих исторической связью с армянским народом, часть из которых являются памятниками историко-культурного наследия. Непреходящие ценности армянского народа, которые создавались веками в произведениях архитектуры на территории региона, безусловно способствовали формированию уникальной культурно-пространственной среды поселений.

References

1. Druzhinina E.I. Kyuchuk-Kaynardzhiyskiy mir 1774 goda (yego podgotovka i zaklyucheniye) [Kyuchuk-Kainardzhiy Peace of 1774 (its preparation and conclusion)]. Moscow: The USSR Academy of Sciences. 1955. 368 p.
2. Verzhbitsky Zh.M. Arkhitekturnaya kul'tura: Iskustvo arkhitektury kak sredstvo gumanizatsii vtoroy prirody. [Architectural culture: The art of architecture as a means of humanization of the second nature]. St. Petersburg: Ardis. 2010. 132 p. (In Russian).
3. Subbotin O.S. The most important stages in the development of the Kuban and the strategy of its development. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 2–2, pp. 14–18. (In Russian).
4. Khan-Magomedov S.O. The phenomenon of Armenian architecture. *Arhitektura*. 2009. No. 3, pp. 31–35. (In Russian).
5. Subbotin O.S. Architectural and planning principles of organization and reconstruction of coastal areas. *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 931, pp. 750–753. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.750>
6. Pogosyan L.A. Armyanskaya koloniya Armavira [Armenian colony of Armavir]. Yerevan: Publishing House of the Academy of Sciences of the ArmSSR. 1981. 181 p.
7. Ktitorov S.N. Istoriya Armavira (dosovetskiy period: 1839–1918 gg.). [History of Armavir (pre-Soviet period: 1839–1918)]. Armavir. 2002. 384 p.
8. Subbotin O.S. Architectural and town-planning heritage of the Armenian buildings of the years. Yekaterinodar and Armavir XIX–XX centuries. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 12, pp. 26–31. (In Russian).
9. Ktitorov S.N. Construction and architectural appearance of Armavir in the context of ethnic-demographic processes of the late XIX – early XX centuries. *Istoricheskaya i sotsial'no-obrazovatel'naya mys'l'*. 2016. Vol. 8. No. 6. Part. 1, pp. – 6/1–74–82. (In Russian). DOI: 10.17748/2075-9908-2016-8-6/1-6/1-74-82
10. Subbotin O.S. Metodologiya issledovaniya arkhitekturno-gradostroitel'nogo razvitiya Kubani // *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2014. № 8. С. 29–34.
11. Аксаев Е.Д. Армавир. Краснодар, 1976. 104 с.



INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ
АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

КАЛЕНДАРЬ МЕРОПРИЯТИЙ 2024 года*

КОНФЕРЕНЦИИ, ФОРУМЫ И СЕМИНАРЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

ЯНВАРЬ

СЕМИНАР «Инженерные изыскания, проектирование и строительство сейсмостойких зданий и сооружений»

Казахстан, Алматы 17–19 января

ФЕВРАЛЬ

СЕМИНАР «Освоение подземного пространства в условиях плотной городской застройки» (курс лекций в НИИОСП им. Н. М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство»)

Москва 14–15 февраля

МАРТ

СЕМИНАР «Инженерные изыскания и проектирование фундаментов на многолетнемерзлых грунтах» (курс лекций в НИИОСП им. Н. М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство»)

Москва 13–15 марта

АПРЕЛЬ

КОНФЕРЕНЦИЯ «Гидротехнические сооружения: современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации»

Сочи 3–4 апреля

МАЙ

КОНФЕРЕНЦИЯ «Основания и фундаменты: новые технологии, специальная техника, оборудование и материалы» (в рамках выставки СТТ Expo)

Москва 29–30 мая

ИЮНЬ

КОНФЕРЕНЦИЯ «Опоры и фундаменты для ВЛ: технологии проектирования и строительства»

Санкт-Петербург 26–28 июня

СЕНТЯБРЬ

КОНФЕРЕНЦИЯ «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений»

Пермь 18–19 сентября

НОЯБРЬ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ «АРКТИКА»

Москва 13–15 ноября

ДЕКАБРЬ

СЕМИНАР «Инженерные изыскания, расчет и проектирование оснований и фундаментов в сложных грунтовых условиях» (курс лекций в НИИОСП им. Н. М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство»)

Москва 4–5 декабря

* В календарь 2024 года могут быть внесены изменения, касающиеся корректировки тематики, сроков и места проведения мероприятий.

За дополнительной информацией можно обратиться по телефонам: +7 (495) 66-55-014, +7 925 575-78-10
e-mail: info@fc-union.com, www.fc-union.com

УДК 728.03

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-91-97>

А.В. ВАСИЛЬЕВА, архитектор, старший преподаватель (vasilievanna@bk.ru)

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Принципы планировочной организации кварталов и типология жилищного строительства на окраинных территориях Москвы в 1930-х годах

На примерах практики московского строительства 1930-х гг. поэтапно показаны основные принципы планировочной организации кварталов. Первые кварталы массовой застройки рассматриваемого периода представляли собой ведомственное или муниципальное строительство. Задача быстрого расселения прибывающих в столицу рабочих определила доминирование облегченного стандартного строительства, строчную застройку кварталов. К середине периода усложнилась как типология строительства, так и принципы организации кварталов. Ближе к магистралям располагались объекты капитального строительства, а в глубине велось облегченное строительство. Детские учреждения располагались в центре квартала, формируя своими обширными территориями зеленое ядро. К концу периода застройка велась преимущественно на новых городских территориях, которые не имели сложившейся трассировки улиц и рисунка кварталов. Это помогало создавать более правильные композиции. Планировочные принципы организации кварталов еще сильнее привязывались к типологии строительства, которая была достаточно развитой. Показано, что на протяжении периода 1930-х гг. произошел переход от доминирования строчной застройки прямоугольной сетки кварталов к развитым композициям, сочетающим в своей структуре разные типы жилых домов и предприятий бытового обслуживания.

Ключевые слова: советская архитектура, жилищное строительство, архитектура Москвы, границы города, жилые кварталы, типология жилища.

Статья выполнена по гранту № 23 «Границы города в разнообразии типологии, архитектурных образах и смыслах. Исторические преобразования и новые предложения» в рамках фундаментальных и прикладных научных исследований (НИР/НИОКР) научными коллективами НИУ МГСУ (Приказ от 23.03.2023 г. № 258/130).

Для цитирования: Васильева А.В. Принципы планировочной организации кварталов и типология жилищного строительства на окраинных территориях Москвы в 1930-х годах // *Жилищное строительство*. 2023. № 11. С. 91–97. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-91-97>

A.V. VASILIEVA, Architect, Senior Lecturer (vasilievanna@bk.ru)
National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Principles of Planning Organization of Neighborhoods and Typology of Housing Construction in the Outlying Areas of Moscow in the 1930s

Using examples of Moscow construction practice in the 1930s the basic principles of the planning organization of neighborhoods are shown step by step. The first blocks of mass development of the period under review were departmental or municipal construction. The task of quickly settling workers arriving in the capital determined the dominance of lightweight standard construction and line-by-line development of neighborhoods. By the middle of the period, both the typology of construction and the principles of organizing neighborhoods became more complex. Capital construction projects were located closer to the highways, and light construction was carried out in the depths. Children's institutions were located in the center of the block, forming a green core with their vast territories. By the end of the period, development was carried out mainly in new urban areas that did not have an established street layout and block pattern. This helped to create more correct compositions. The planning principles for organizing neighborhoods were even more closely tied to the typology of construction, which was quite developed. It is shown that during the period of the 1930s there was a transition from the dominance of row buildings of a rectangular grid of blocks to developed compositions combining in their structure different types of residential buildings and consumer service enterprises.

Keywords: Soviet architecture, housing construction, Moscow architecture, city boundaries, residential areas, housing typology.

The article was carried out under grant No. 23 «City boundaries in the diversity of typology, architectural images and meanings. Historical transformations and new proposals» within the framework of fundamental and applied scientific research (R&D) by scientific teams of the National Research University MGSU (Order No. 258/130 dated March 23, 2023).

For citation: Vasilieva A.V. Principles of planning organization of neighborhoods and typology of housing construction in the outlying areas of Moscow in the 1930s. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 11, pp. 91–97. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-11-91-97>

Проблема сохранения или реновации жилого фонда середины XX в. актуальна для многих стран Восточной Европы [1]. В крупных городах домами для массового заселения застроены обширные территории, которые в то время фактически были на окраинах городов, а в настоящих условиях оказываются в среднем поясе. Несмотря на типовой характер архитектуры, которая мало ценится жителями, эти кварталы в условиях нормальной эксплуатации представляют собой примеры достаточно комфортной, сомасштабной человеку городской среды. Из-за неясности трактовки стилистики, вытекающей из недостаточной информационной освещенности этого строительства для жителей, застройка 1960-х гг. нередко попутается с уникальным жилищным строительством 1920–1930-х гг. [2]. Вместе с тем жилищное строительство обоих этапов обладает целым рядом безусловно положительных характеристик. Правильно распланированная с соблюдением всех норм инсоляции и проветривания застройка [3], обилие зелени, приближенное бытовое обслуживание создавали хорошие условия для проживания людей. К сожалению, в современной отечественной практике снижаются не только эти важные качества, но и сокращается долговечность массового строительства [4], что только добавляет ценности застройке середины XX в.

Вместе с тем и до- и послевоенные жилые кварталы представляют собой определенный этап в развитии архитектурно-строительной отрасли, ценный и с исторической точки зрения. Многие идеи по архитектурно-пространственной организации жилого квартала, появившиеся еще в 1930-х гг., но в силу разных причин не нашедшие реализации, обрели свое продолжение в 1950-е и даже 1960–1970-е гг. [5]. Переход к доминированию индустриального домостроения в послевоенный пери-

од был возможен только благодаря наработкам предыдущего этапа [6]. Изучение этого наследия как произведений архитектурно-градостроительной мысли представляет собой самостоятельную исследовательскую задачу, исполнение которой может способствовать принятию более взвешенных решений по дальнейшей судьбе этой застройки [7].

Архитектурно-планировочные особенности жилых кварталов второй половины 1930-х гг., несмотря на обилие фундаментальных научных трудов по архитектуре этого периода [8–11], практически не становились самостоятельным предметом исследований. Наиболее обстоятельное и последовательное описание обсуждений проблемы архитектурно-пространственной организации жилого квартала в 1930-е гг. можно найти в работах [12–14], где в фокусе внимания в большей степени находится проектная деятельность и профессиональные дискуссии, нежели реальная практика застройки периферийных территорий городов. В работах [15–16] вопросы планировочной организации жилого квартала затронуты в большей степени в связи с деятельностью иностранных специалистов в СССР. В этих работах исследуется организация квартала в целом, без выявления особенностей строительства в конкретных городах. Типология же жилищного строительства на окраинных территориях Москвы этого периода фактически выпала из поля исследовательского внимания.

Целью статьи является поэтапное раскрытие изменения принципов планировочной организации квартала и типологии жилищ в реальном московском строительстве 1930-х гг. Под кварталом в данной статье понимается участок городской территории, со всех сторон ограниченный улицами. Совокупность этих кварталов с жилой за-



Рис. 1. Сборные жилые дома в Пушкинском студгородке в Москве (утрачены)

Fig. 1. Prefabricated residential buildings in the Pushkin campus in Moscow (lost)



Рис. 2. Общий вид поселка им. 1 Мая (утрачен) в Останкино (Москва)

Fig. 2. General view of the settlement named after the 1st May (lost) in Ostankino (Moscow)

стройкой разных типов, а также со зданиями школ, детских садов и яслей, предприятиями первичного бытового обслуживания могла образовать так называемые жилые городки. Эти городки могли быть ведомственными, муниципальными или смешанными, когда разные кварталы принадлежали разным застройщикам. Выявление особенностей планировочных подходов и типологии жилищного строительства в зависимости от застройщика является главной задачей данной статьи.

В начале 1930-х гг. в разгар первой пятилетки резко сократились объемы финансирования гражданского строительства. Но задача форсированной индустриализации требовала расселения прибывающих на предприятия вместе с семьями строителей и рабочих. Ситуация усугублялась дефицитом строительных материалов, которые были переброшены в промышленность. Все эти факторы обусловили резкое сокращение объемов капитального жилищного строительства. Единичные объекты, принадлежавшие крупным ведомствам или состоятельным жилищным кооперативам, достра-



Рис. 3. Застройка в Останкино. Аэрофотосъемка 1942 г. Красным выделены коридорные жилые дома облегченных конструкций Пушкинского студгородка. Синим выделены блокированные двухквартирные жилые дома РЖСКТ им. 1 Мая

Fig. 3. Development in Ostanokino. Aerial photograph of 1942. The corridor residential buildings of lightweight constructions of the Pushkin campus are highlighted in red. Blocked two-apartment residential buildings of RZHSKT named after the 1st May are highlighted in blue

ивались в центральных районах. В периферийных же зонах развернулось малоэтажное строительство после резкого сокращения его объемов во второй половине 1920-х гг. Ключевым отличием практики начала 1930-х гг. было изменение доминирующей категории застройщиков для подобных жилых образований.

В 1920-х гг. малоэтажное строительство развивалось главным образом в сегменте жилищной кооперации: поселки разной площади застраивались общегражданскими, ведомственными или рабочими кооперативами. В зависимости от финансовой состоятельности пайщиков определялась типология строительства и удобство местоположения участка. В период первой пятилетки главными застройщиками на периферийных территориях стали ведомства и Моссовет. Возле интенсивно развивающихся предприятий размещались жилища для рабочих, вдоль железнодорожных путей и крупных узлов – городки Народного комиссариата путей сообщения (НКПС), на прочих территориях – моссоветовские городки для нуждающихся в жилье

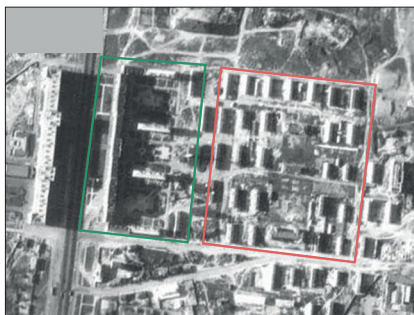


Рис. 4. Застройка на Ярославском ш. и Маломосковской ул. (Москва). Аэрофотосъемка 1942 г. Зеленым выделены капитальные многоэтажные жилые дома секционного типа Наркомтяжпрома. Красным выделены муниципальные двухэтажные жилые дома облегченных конструкций

Fig. 4. Development on Yaroslavskoye Highway. and Malomoskovskaya st. (Moscow). Aerial photograph of 1942. The capital multi-storey residential buildings of the sectional type of the Narkomtyazhprom are highlighted in green. Municipal two-storey residential buildings of lightweight constructions are highlighted in red

и переселенцев из аварийных или подлежащих сносу домов горожан.

Кварталы начала 1930-х гг. застраивались по равномерной прямоугольной сетке со строчной постановкой «стандартных» жилых домов. Стандартными домами в те годы назывались типовые малоэтажные дома сборных конструкций. Для их изготовления использовали самые дешевые материалы – остатки леса, засыпку-утеплитель из торфа, соломы, камыша и т. п. Типологически стандартные дома могли представлять собой общежития коридорного типа или квартирные секционные корпуса. Несмотря на типологическое разделение, предполагавшее и разные принципы заселения, композиционно эти типы в застройке никак не были обособлены друг от друга. Примером строительства данного этапа может служить Пушкинский студгородок в Останкино, 1931–1932 гг. (рис. 1). Строились в этот период и кварталы блокированных коттеджей на двух владельцев (поселок им. 1 Мая в Останкино) (рис. 2). Этот поселок также застраивался по равномерной сетке, но в границах исторически сложившегося



Рис. 5. Многоквартирный и облегченный жилые дома (утрачены) на ул. Маломосковской и Ярославском ш.

Fig. 5. Multi-apartment and lightweight residential buildings (lost) on the Malomoskovskaya st. and Yaroslavskoye highway



Рис. 6. Застройка поселка Завода им. Сталина на Варшавском ш. (Москва). Аэрофотосъемка 1942 г. Красным выделены коридорные жилые дома облегченных конструкций, синим – блокированные двухквартирные дома, зеленым – капитальные квартирные двухэтажные дома

Fig. 6. Development of the settlement of Zavod named after Stalin on Varshavskoe highway (Moscow). Aerial photograph of 1942. Corridor residential buildings of lightweight construction are highlighted in red, blocked semi-detached houses are highlighted in blue, capital two-storey apartment buildings are highlighted in green

квартала (рис. 3). Небольшая площадь домов и придомовых участков позволила эффективно застроить всю отведенную территорию.

Ведомственные городки в первой половине – середине 1930-х гг. отличались от рабочих кварталов наличием собственной инфраструктуры. Примером такого строительства может служить военный городок в Щукино, военный лагерь на месте которого значился еще с дореволюционных времен. Равномерная строчная застройка квартала в несколько рядов домов,



Рис. 7. Капитальные малоэтажные жилые дома автозавода им. Сталина (частично утрачены)

Fig. 7. Capital low-rise residential buildings of the automobile plant named after Stalin (partially lost)

поставленных перпендикулярно главной трассе этой местности – 5-й улице Октябрьского поля (ныне улица Маршала Василевского), велась домами двух типов – каменными трехэтажными квартирными домами и деревянными корпусами, которые заселялись, по-видимому, покомнатно. Эти два типа образовывали общее пятно застройки, не имевшее композиционной дифференциации. В центре городка размещался просторный сквер и стадион, образующие композиционное ядро. Во второй половине 1930-х гг. вдоль нынешней улицы Маршала Василевского были возведены пятиэтажные жилые дома для руководящего состава, которые закрывали со стороны главной магистрали равномерные ряды жилых корпусов. Наиболее репрезентативный корпус, размещавшийся по центру уличного фронта, по-видимому, должен был стать частью центрально-симметричной композиции, но один из корпусов до войны реализован не был. По главной оси центрального корпуса находится гигантская арка высотой в четыре этажа, прорезаемая посередине остекленной лифтовой шахтой. Эта арка служила парадным входом в городок, фиксируя композиционную ось, вдоль которой располагался стадион со сквером. Замыкало эту ось жилое здание П-образной конфигурации. По сторонам от этой оси размещались учреждения для обслуживания местных жителей –

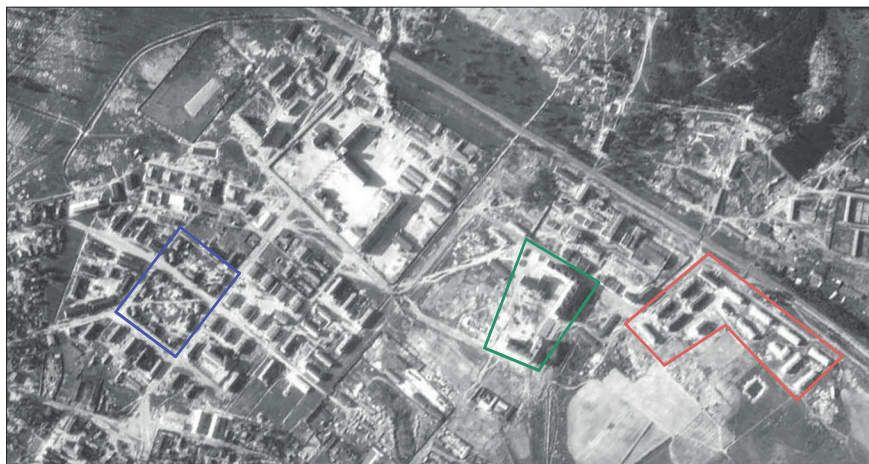


Рис. 8. Застройка в Богородском. Красным выделены крупноблочные бараки коридорного типа. Синим выделены блокированные двухквартирные дома. Зеленым – капитальные многоэтажные жилые дома сборных конструкций

Fig. 8. Development in Bogorodskoye. Large-block corridor-type barracks are highlighted in red. Blocked semi-detached houses are highlighted in blue. Green – capital multi-storey residential buildings of prefabricated structures



Рис. 9. Крупноблочный жилой дом на 5-й ул. Подбельского, 10а (утрачен) в Москве

Fig. 9. Large-block residential building on 5th street Podbelskogo, 10a (lost) in Moscow

детский сад, ясли, Дом офицеров, пекарня с магазином. Таким образом, центральная ось выполняла не только композиционную, но и функциональную роль. До нашего времени, помимо зданий для руководящего состава вдоль главной улицы, из жилого фонда сохранилось всего пара корпусов, которые были реконструированы в послевоенное время.

Этот же принцип размещения капитального многоэтажного дома для специалистов и руководящих работников выразительной архитектуры вдоль главной магистрали был применен и при застройке квартала в Алексеевском районе (между нынешними улицами Кибальчича и Маломосковской) (рис. 4). Ближе к проспекту Мира (тогда Ярославскому ш.) располагался квартал, застроенный «жилым комбинатом» Народного комиссариата тяжелой



Рис. 10. Комплекс капитальных многоэтажных жилых домов завода им. Л.М. Казановича на ул. Велозаводской, 3/2, 4, арх. И.Ф. Милинис и др.; ул. Велозаводской, 7 в Москве

Fig. 10. Complex of capital multi-storey residential buildings of the plant named after L.M. Kaganovich on Velozavodskaya street. 3/2, 4, arch. I.F. Milinits et al.; Velozavodskaya st., 7 in Moscow



Рис. 11. Жилой дом на 1-й ул. Машиностроения, 4, к. 1. Арх. И.Ф. Милинис, 1934–1936 гг. Современное состояние. Фото автора

Fig. 11. Residential building on the 1st street of Mechanical Engineering, 4, building 1. Arch. I.F. Milinits, 1934–1936 Current state. Photo by the author

промышленности СССР (НКТП) (арх. Гунгер, 1935–1938 гг.) [16]. На магистраль выходили секции с квартирами повышенного комфорта, а на второстепенных боковых улицах и во внутренней части квартала были расставлены с равным шагом корпуса с квартирами меньшей площади, которые заселялись покомнатно (рис. 5). В этом комплексе был применен тот же композиционный прием *строчной* постановки корпусов внутри квартала и *периметральной* вдоль улицы, фиксации центральной оси аркой-проходом. К задней стороне комбината НКТП примыкал муниципальный жилой квартал стандартных домов для расселения людей из реконструируемых домов. Протяженные корпуса, поставленные параллельно Ярославскому ш., располагались пятью равномерными рядами. Его композиция следовала композиционным осям жилого комбината, хотя эти два образования функционально и административно связаны друг с другом не были. Ядром городского квартала было центральное озелененное пространство, проходящее параллельно Ярославскому ш., в котором располагались школа, детский сад и ясли. Городской квартал получал минимальную необходимую для полноценной жизни инфраструктуру, рассчитанную на перспективное развитие этой территории, которой пользовались и жители ведомственных домов.

Во второй половине 1930-х гг. особый размах приобрело строительство рабочих поселков от московских предприятий на окраинах города, которые были намечены к освоению генпланом Москвы 1935 г. Композиции этих образований в отличие от поселков и кварталов первой половины 1930-х гг. не были обусловлены сложившейся трассировкой улиц, так как развивались практически в чистом поле. Подчинение проектной трассировке определяло

правильные прямоугольные и реже треугольные конфигурации застраиваемых кварталов. Характерным примером является поселок завода им. Сталина (ЗИС) близ деревни Волхонка на Варшавском ш. (рис. 6), разбитый на месте бывших фруктовых садов, память о которых сохранилась в названии центральной улицы Фруктовой. Основной объем выстроенных корпусов (коридорные дома облегченных конструкций) стоял перпендикулярно ул. Фруктовой тремя равномерными рядами в квартале. По оси среднего, наиболее широкого и протяженного квартала, ближе к центру всего поселка был запроектирован сквер. Проход в этот сквер подчеркивался фланкированными его корпусами, что создавало выраженную планировочную ось, акцентированную застройкой. Перпендикулярно этой главной оси через центр сквера проходила малая композиционная ось, на которую нанизывались зеленые скверы соседних кварталов, образуя вместе с центральным пространством протяженную аллею. Но такого выраженного планировочного значения озелененные пространства боковых кварталов уже не имели. Треугольный участок был застроен по периметру блокированными домами на две квартиры, в центре его также образовывалось зеленое ядро. Наиболее близко к Варшавскому ш. располагался квартал малоэтажных капитальных домов, предназначенных, по-видимому, для расселения более высококвалифицированных и ответственных работников (рис. 7). Квартал застраивался по периметру квартирными корпусами, поставленными в два ряда. В центре его также образовывалось зеленое ядро с главным входом со стороны Варшавского ш. Отступ этого квартала от Варшавского ш., возможно, был рассчитан на возведение по красной линии этой магистрали многоэтажных домов, которые,

как и в предыдущих примерах, закрыли бы внутреннюю застройку, одновременно подчеркнув главную композиционную ось. Таким образом, поселок ЗИС сочетал в себе минимум три типа жилых домов, каждые из которых располагались в своей зоне со своими планировочными особенностями.

Сочетание нескольких типов жилых домов было и в поселке им. Подбельского, разбитом во второй половине 1930-х гг. возле Окружной железной дороги на Погонной улице (рис. 8). В центре поселка располагались два квадратных квартала домов для индивидуально-семейного заселения. Они были расставлены посередине сторон кварталов и по диагонали углов, образуя правильную композицию с центральным зеленым пространством. Вокруг них размещались кварталы квартирных домов строчной застройки. В центре одного из них была выстроена школа. Поодаль, ближе к Окружной железной дороге, располагался квартал крупноблочных коридорных двухэтажных домов, выстроенных в 1938–1939 гг. (рис. 9). Сложная неправильная конфигурация отведенного под это строительство участка не позволила создать развитой композиции. Но и здесь применен характерный для капитальной застройки прием периметральной застройки квартала с зеленым пространством в центре. Рядом с этим кварталом велось строительство первых сборных жилых домов из элементов заводского изготовления, куда планировалось заселять сотрудников московских строительных предприятий. Эти дома должны были образовать замкнутый квартал с озелененным центральным ядром. Композиция этого квартала фактически никак не связана с окружающей малоэтажной застройкой этого же времени.

На окраинных территориях Москвы в середине 1930-х гг. сло-

жились особые композиционные приемы в застройке кварталов многоэтажными капитальными жилыми домами для заселения ответственных сотрудников и инженерно-технических работников (ИТР) московских предприятий. Корпуса для заселения рабочих ставились строчно в глубине квартала (рис. 10). В первой половине 1930-х гг. жилые массивы строчной застройки закрывались со стороны главной магистрали протяженным или угловым корпусом с «архитектурно-оформленным» фасадом, которые должны были прятать за собой лаконичную строчную застройку (ул. Писцовая, 16; ул. Мытная, 52; ул. Шарикоподшипниковская, 32). Во второй половине 1930-х гг. при новой нарезке кварталов на свободных городских территориях один дом для ИТР превращался в целый квартал многоэтажных домов с квартирами повышенного комфорта, внутри которого организовывалось обширное дворовое пространство с ма-

лыми архитектурными формами и прочими элементами благоустройства (квартал жилых домов завода им. Л.М. Кагановича на ул. Велозаводской, 3/2, 4, арх. И.Ф. Милинис и др. (рис. 11); ул. Велозаводской, 7). Здесь могла находиться и спортивная площадка. Внутри квартала могла вести гигантская арка, подобно домам для ИТР, выходящим на красную линию в описанных выше городках и кварталах, или центральный проезд, фланкированный повышенными угловыми частями корпусов или их поворотом. Но примеры застройки целых кварталов капитальными секционными многоэтажными домами в Москве были фактически единичными.

Итак, в 1930-х гг. целостные градостроительные образования для массового расселения закладывались и реализовывались главным образом на окраинных территориях города. Такое размещение, с одной стороны, определяло доминирование облегченных малоэтажных

типов домов, а с другой – позволяло создавать кварталы правильной конфигурации, что было более удобно для дальнейшего развития города. В начале 1930-х гг. доминировала строчная застройка в несколько рядов без выраженных композиционных приемов. К середине 1930-х гг. в композициях жилых образований читаются выраженные композиционные оси и ядро, которым выступает зеленое центральное пространство с объектами социальной инфраструктуры. К концу этапа складываются два разных принципа застройки облегченными и капитальными домами. Застройка домами облегченных конструкций (квартирные секционные, коридорные, блокированные) продолжается по равномерной сетке, но с выделением центральной оси или ядра квартала. Кварталы капитальных домов имели преимущественно периметральную застройку с акцентированным парадным въездом в центральное пространство.

Список литературы

1. Glendinning M. Mass housing and extensive urbanism in the baltic countries and central Eastern Europe: a comparative overview // *The Urban Book Series. Housing Estates in the Baltic Countries*. 2019, pp. 117–136.
2. Васильев Н.Ю. К проблемам охраны жилых зданий периода первых пятилеток // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2018. № 4 (45). С. 193–202.
3. Васильева А.В. История становления санитарного нормирования в отечественном жилищном строительстве в первой трети XX века // *Строительство: наука и образование*. 2022. Т. 12. Вып. 3. Ст. 4. DOI: 10.22227/2305-5502.2022.3.4
4. Аптикаев Ф.Ф., Масляев А.В. Защита жизни и здоровья людей не признается главной целью при возведении зданий в России // *Жилищное строительство*. 2019. № 11. С. 58–64.
5. Старостенко Ю.Д. Архитектурно-пространственная организация жилого квартала в СССР во второй половине 1920-х–1930-е годы: от авангарда к «освоению исторического наследия». *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследо-*

References

1. Glendinning M. Mass housing and extensive urbanism in the baltic countries and central. Eastern Europe: a comparative overview. *The Urban Book Series. Housing Estates in the Baltic Countries*. 2019. pp. 117–136.
2. Vasiliev N. Problems of the first five-year plans residential buildings protection. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2018. No. 4 (45), pp. 193–202. (In Russian).
3. Vasilieva A.V. History of sanitary standardization in domestic housing construction in the first third of the twentieth century. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie*. 2022. No. 12 (3):4. (In Russian). DOI: 10.22227/2305-5502.2022.3.4
4. Aptikaev F.F., Maslyaev A.V. Protection of life and health of people is not recognized as the main goal in the construction of buildings in Russia. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 11, pp. 58–64. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-11-58-64>
5. Starostenko Yu.D. Architectural and spatial organization of the residential quarter in the USSR in the second half of the 1920S–1930S: from the Avant-garde to the «Mastering historical heritage». *Fundamental, search and applied research RAASN on the scientific support of the development of architecture, urban*

- вания РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году. М.: РААСН, 2021. С. 160–168.
- Золотарева М.В., Пономарев А.В. Становление индустриального домостроения. Конец 1950-х–1960-е гг. Ленинградский опыт // *Жилищное строительство*. 2021. № 10. С. 19–26.
 - Васильев Н.Ю. Об охране массовой застройки периода первых пятилеток. В кн.: Революция и наследие. Наследие революции: Сборник материалов. СПб.: Папирус, 2017. С. 241–250.
 - Косенкова Ю.Л. От «соцгорода» к «городу-ансамблю»: наслоение концепций. В кн.: Советское градостроительство. 1917–1941. Кн. 1. М.: Прогресс-Традиция, 2018. С. 259–272.
 - Меерович М.Г. Концепция «социалистического города». В кн.: Советское градостроительство. 1917–1941. Кн. 1. М.: Прогресс-Традиция, 2018. С. 180–239.
 - Хан-Магомедов С.О. Архитектура советского авангарда: в 2-х кн. Кн. 2. Социальные проблемы. М.: Стройиздат, 2001. 712 с.
 - Броновицкая Н.Н. Памятники архитектуры Москвы. Архитектура Москвы 1933–1941 гг. Т. 10. М.: Искусство–XXI век, 2015. 320 с.
 - Старостенко Ю.Д. Разработка принципов проектирования жилых кварталов в советском градостроительстве 1930-х гг. // *Региональные архитектурно-художественные школы*. 2016. № 1. С. 453–459.
 - Старостенко Ю.Д. Архитектор П.И. Гольденберг и его вклад в формирование принципов архитектурно-пространственной организации жилого квартала в СССР в 1930-е годы // *Academia. Архитектура и строительство*. 2020. № 3. С. 39–47.
 - Старостенко Ю.Д. Дискуссия об архитектурно-пространственной организации жилых кварталов в СССР в середине 1930-х годов // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2021. № 2 (55). С. 46–63. DOI: 10.24412/1998-4839-2021-2-46-63
 - Коньшева Е.В. Европейские архитекторы в советском градостроительном проектировании первых пятилеток. В кн.: Советское градостроительство. 1917–1941. Кн. 2. М.: Прогресс-Традиция, 2018. С. 1107–1157.
 - Старостенко Ю.Д. Идеи «жилого комплекса» и «жилого комбината» в советском градостроительстве второй половины 1920-х гг. – начала 1930-х гг. // *Региональные архитектурно-художественные школы*. 2020. № 1. С. 51–58.
 - planning and the construction industry of the Russian Federation in 2020. Collection of scientific works of RAASN. Moscow. 2021, pp. 160–168.
 - Zolotareva M.V., Ponomarev A.V. The formation of industrial housing construction. Late 1950s–1960s. Leningrad experience. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 10, pp. 19–26. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-10-19-26>
 - Vasiliev N.Yu. Peculiarities of heritage preservation of large-scale housing development of the first five-year plan periods. *Revolution and Heritage / Heritage of Revolution. The collection of materials*. Saint Petersburg Papyrus. 2017, pp. 241–250.
 - Kosenkova Yu.L. Ot «sotsgoroda» k «gorodu-ansamblyu»: nasloenie kontseptsii. V kn.: Sovetskoe gradostroitel'stvo [From the «social city» to the «ensemble city»: layering concepts. In the book: Soviet urban planning. 1917–1941]. Moscow: Progress-Traditcia. 2018, pp. 259–272.
 - Meerovich M.G. Kontseptsiya «sotsialisticheskogo goroda». V kn.: Sovetskoe gradostroitel'stvo. 1917–1941 [The concept of a «Socialist city». In the book: Soviet urban planning. 1917–1941]. Moscow: Progress-Traditcia. 2018, pp. 180–239.
 - Khan-Magomedov S.O. Arkhitektura sovetskogo avangarda: v 2-kh knigakh. Kniga 2. Sotsial'nye problemy [Architecture of the Soviet avant-garde]. Moscow: Stroyizdat. 2001. 712 p.
 - Bronovitskaya N.N. Pamyatniki arkhitektury Moskvy. Arkhitektura Moskvy 1933–1941 gg. [Architectural monuments of Moscow. Architecture of Moscow 1933–1941]. Moscow: Isskustvo–XXI vek. 2015. 320 p.
 - Starostenko Yu.D. Development of principles for designing residential areas in Soviet urban planning of the 1930s. *Regional'nye arkhitekturno-khudozhestvennye shkoly*. 2016. No. 1, pp. 453–459. (In Russian).
 - Starostenko Yu.D. Architect P.I. Goldenberg and His Contribution to the Formation of the Principles of Architectural and Spatial Organization of a Residential Quarter in the USSR in the 1930s. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* 2020. No. 3, pp. 39–47. (In Russian). <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2020-3-39-47>.
 - Starostenko Yu.D. Discussion of the Architectural and Spatial Organization of Residential Quarters in the USSR in the mid-1930s. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2021. No. 2 (55), pp. 46–63. (In Russian). DOI: 10.24412/1998-4839-2021-2-46-63
 - Konyshcheva E.V. Evropeiskie arkhitektory v sovetskom gradostroitel'nom proektirovanii pervykh pyatiletok. V kn.: Sovetskoe gradostroitel'stvo. 1917–1941 [European architects in the Soviet urban planning design of the first five-year plans. In the book: Soviet urban planning. 1917–1941]. Moscow: Progress-Traditcia. 2018, pp. 1107–1157.
 - Starostenko Yu.D. Ideas of «residential complex» and «residential complex» in Soviet urban planning of the second half of the 1920s–early 1930s. *Regional'nye arkhitekturno-khudozhestvennye shkoly*. 2020. No. 1. pp. 51–58. (In Russian).

Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера (до пяти журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Жилищное строительство» для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНиПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.

2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.

3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.

4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–3 года в ведущих отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.

2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние пять лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Несомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

ВНИМАНИЕ! С 1 января 2020 г. изменены требования к оформлению статей. Обязательно ознакомьтесь с требованиями на сайте издательства в разделе «Авторам»!

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc или *.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графическом редакторе Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.ai, *.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 – максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом не менее 100 слов на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Жилищное строительство», ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»[®] был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала https://journal-cn.ru/images/Начинающему_автору.pdf

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://rifsm.ru/page/7/> или журнала www.journal-hc.ru/index.php/ru/avtoram



КОМПОЗИТ-ЭКСПО

Шестнадцатая международная специализированная выставка

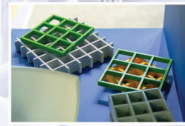
26 - 28 марта 2024

Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон 1

Основные разделы выставки:

- Сырье для производства композитных материалов, компоненты: смолы, добавки, термопластики, углеродное волокно и т.д.
- Наполнители и модификаторы
- Стеклопластик, углепластик, графитопластик, базальтопластик, базальтовые волокна, древесно-полимерный композит (ДПК), т.д.
- Полуфабрикаты (препреги)
- Промышленные (готовые) изделия из композитных материалов
- Технологии производства композитных материалов со специальными и заданными свойствами
- Оборудование и технологическая оснастка для производства композитных материалов
- Инструмент для обработки композитных материалов
- Измерительное и испытательное оборудование
- Сертификация, технический регламент
- Компьютерное моделирование
- Утилизация

Специальный раздел выставки:
КЛЕИ И ГЕРМЕТИКИ



Expo Rating
выставка участник системы

2021
независимый выставочный аудит

Информационная поддержка:



Дирекция:

Выставочная Компания «Мир-Экспо»
115230, Россия, Москва, Хлебозаводский проезд, дом 7, строение 10, офис 507
Тел.: 8 495 988-1620 | E-mail: info@composite-expo.ru | Сайт: www.composite-expo.ru

YouTube youtube.com/user/compoexporussia @compoexporus @ocompo

Организатор:



ПОЛИУРЕТАНЭКС

Пятнадцатая международная специализированная выставка

26 - 28 марта 2024

Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон 1

Основные разделы выставки:

- Сырье для производства полиуретанов (добавки, красители, катализаторы, наполнители, и т.д.)
- Оборудование и станки для производства и переработки полиуретанов (расходомерная, шестереночные, оседагональные (шнековые), шлепперные насосные установки, обрабатывающие станки, и т.д.)
- Конечная продукция (контактное уплотнение при литье, фильтры и т.д.)
- Услуги (лабораторные испытания, охрана здоровья и безопасность, переработка, защита окружающей среды, научные разработки)
- Техническое обслуживание оборудования
- Тестовое оборудование

Специальный раздел выставки:
КЛЕИ И ГЕРМЕТИКИ



Expo Rating
выставка участник системы

2021
независимый выставочный аудит

Информационная поддержка:



Дирекция:

Выставочная Компания «Мир-Экспо»
115230, Россия, Москва, Хлебозаводский проезд, дом 7, строение 10, офис 507
Тел.: 8 495 988-1620 | E-mail: info@polyurethanex.ru | Сайт: www.polyurethanex.ru

YouTube youtube.com/user/polyexporu @polyexporus @ocompo

Организатор:



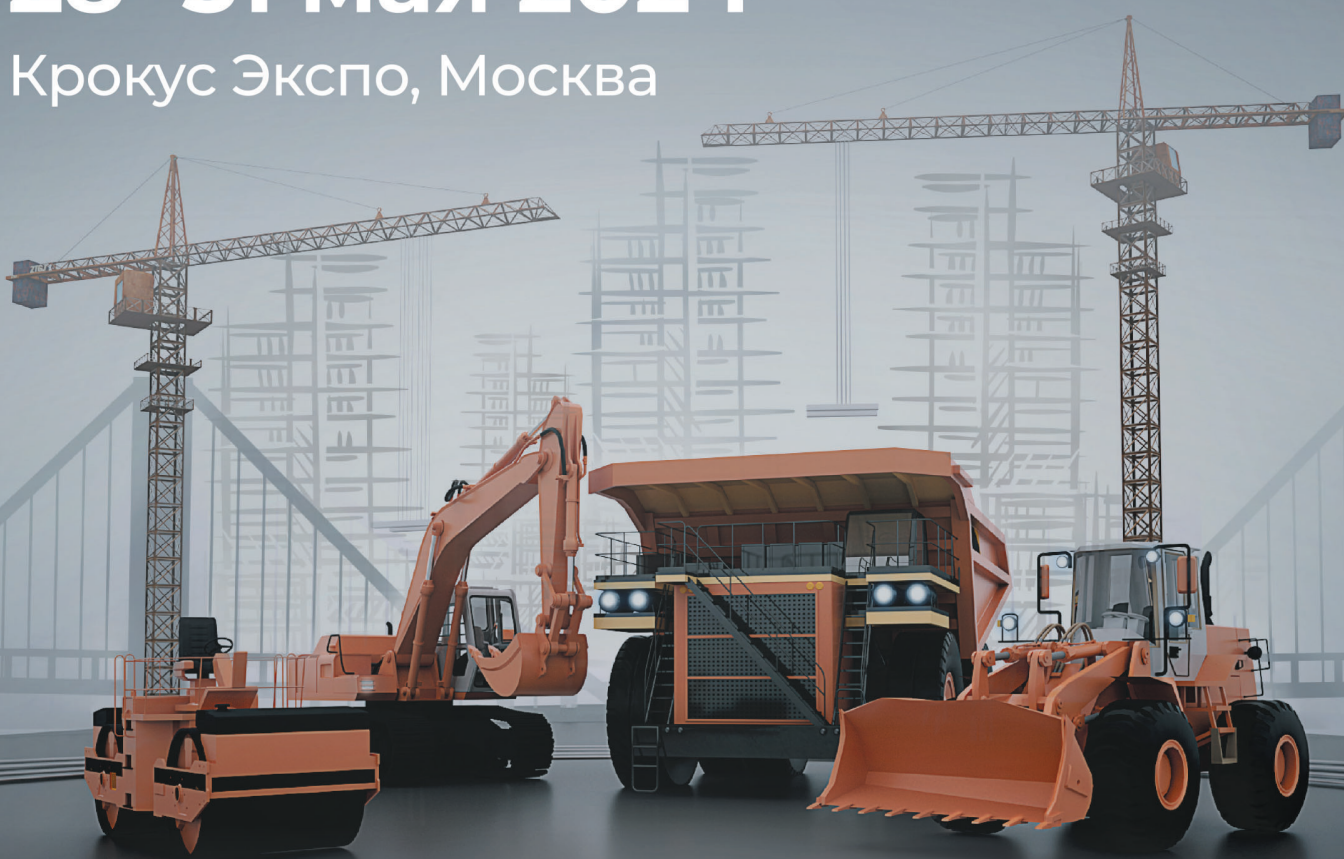
СТТ ЭХРО

ОСНОВА ВАШЕГО УСПЕХА

Главная выставка строительной
техники и технологий в России

28–31 мая 2024

Крокус Экспо, Москва



Разделы выставки:

- Строительная техника и транспорт
- Производство строительных материалов
- Добыча, обогащение и транспортировка полезных ископаемых
- Запчасти и комплектующие для машин и механизмов. Смазочные материалы



ctt-expo.ru

Организатор

SIGMA
ЭХРО

При поддержке

КРОКУС ЭКСПО
Международный выставочный центр