



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр



НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»
ИИДБ, КУЧЕРЕНКО



НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»
ИИДБ, ВОЗДЫА



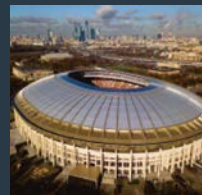
НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»
ИИДБ, ТЕРСЕНОВА

ISSN 2224-9494 (Print)
ISSN 2782-3938 (Online)

№ 2(45) 2025

ВЕСТНИК

НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



НАУЧНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр

ВЕСТНИК

НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

№ 2(45) 2025

НАУЧНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Издается с 1932 г. под названием «Исследования по теории сооружений»,
с 2009 г. – ВЕСТНИК ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко «Исследования по теории сооружений»,
с 2010 г. – ВЕСТНИК НИЦ «Строительство»
Выходит четыре раза в год

Вестник НИЦ «Строительство» включен в перечень ВАК с 03.10.2019 г. по научным специальностям:

- 2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения;
- 2.1.2 – Основания и фундаменты, подземные сооружения;
- 2.1.5 – Строительные материалы и изделия.

Учредитель и издатель: АО «НИЦ «Строительство»

Адрес: 109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, дом 6
тел.: +7 (495) 602-00-70, доб. 1022/1023
e-mail: vestnikstroy@list.ru

При цитировании ссылка обязательна.
Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции.





**RESEARCH CENTER
OF CONSTRUCTION**
Joint Stock Company

BULLETIN

of Science and Research Center
of Construction

No. 2(45) 2025

SCIENTIFIC POTENTIAL OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY

Since 1932, the Journal had been published under the title Studies into the Theory of Constructions;
since 2009 – under the title Bulletin of Kucherenko Scientific and Research Center of Constructions.
Since 2010, the Journal has been published under the title Bulletin of Science and Research Center of Construction
Frequency: Quarterly

Since 2019, Bulletin of Science and Research Center of Construction has been included
into the List of the Higher Attestation Commission in the following branches of science:

- 2.1.1 – Building constructions, buildings and structures;
- 2.1.2 – Foundations, underground structures;
- 2.1.5 – Building materials and products.

Founder and publisher: JSC Research Center of Construction

Address: 6, 2nd Institutskaya st., Moscow, 109428, Russian Federation
Tel. +7 (495) 602-00-70 add. 1022/1023
E-mail: vestnikstroy@list.ru

When citing a reference is required
Reprinting of materials is allowed only with the written permission of the Journal



Главный редактор
ЗВЕЗДОВ Андрей Иванович, д-р техн. наук, профессор

Научный редактор
СМИРНОВА Любовь Николаевна, канд. техн. наук

БАЖЕНОВ Валентин Георгиевич, академик АИН,
д-р физ.-мат. наук, профессор
НИИМ ННГУ им. Лобачевского,
Нижний Новгород, Российская Федерация

VAL Dimitri V., Dr., Professor
School of the Built Environment, Edinburgh, UK

ВОЛКОВ Андрей Анатольевич,
д-р техн. наук, профессор
АО «НИЦ «Строительство»,
Москва, Российская Федерация

ВЕДЯКОВ Иван Иванович, д-р техн. наук, профессор, академик
РААСН, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»,
Москва, Российская Федерация

ГУСЕВ Борис Владимирович, д-р техн. наук, профессор,
президент Российской инженерной академии (РИА),
президент Международной инженерной академии (МИА),
член-корреспондент РАН,
Москва, Российская Федерация

ДАВИДЮК Алексей Николаевич, д-р техн. наук
ГК «КТБ», Москва, Российская Федерация

КОЛЫБИН Игорь Вячеславович, канд. техн. наук
НИИОСП им. Н.М. Герсванова
АО «НИЦ «Строительство»,
Москва, Российская Федерация

КОНДРАТЬЕВА Лидия Никитовна,
д-р техн. наук, профессор
СПбГАСУ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

КУЗЕВАНОВ Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук
НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»,
Москва, Российская Федерация

КУРБАЦКИЙ Евгений Николаевич,
д-р техн. наук, профессор
РУТ МИИТ, Москва, Российская Федерация

LYAMIN Andrei, Dr., Professor
School of Engineering, Callaghan, Australia

МАИЛАН Дмитрий Рафаэлович, д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический
университет»,
Ростов-на-Дону, Российская Федерация

МАНГУШЕВ Рашид Абдуллович,
д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент Российской
академии архитектуры и строительных наук (РААСН) ГОУ ВПО
«СПбГАСУ»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

МИРСАЯПОВ Илизар Талгатович, д-р техн. наук, профессор,
член-корреспондент Российской академии архитектуры и
строительных наук (РААСН) ФГБОУ ВО «КазГАСУ»,
Казань, Российская Федерация

МОНДРУС Владимир Львович, д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»,
Москва, Российская Федерация

МОХОВ Андрей Игоревич, д-р техн. наук, профессор,
академик Российской академии естественных наук (РАЕН)
Некоммерческое партнерство «Энергоэффект»,
Москва, Российская Федерация

НЕМЧИНОВ Юрий Иванович,
академик АИН, АСУ, д-р техн. наук, профессор
ГП НИИСК, Киев, Украина

НЕСВЕТАЕВ Григорий Васильевич, д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВО «Донской государственный
технический университет»,
Ростов-на-Дону, Российская Федерация

ОБОЗОВ Владимир Иванович, д-р техн. наук, профессор
ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»,
Москва, Российская Федерация

PUZBIN Alexander, Dr., Professor
Institute for Geotechnical Engineering,
Zurich, Switzerland

ПЯТИКРЕСТОВСКИЙ Константин Пантелеевич,
д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», Москва, Российская Федерация

ТАМРАЗЯН Ашот Георгиевич,
д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», Москва, Российская Федерация

ТЕР-МАТИРОСЯН Армен Заверенович, д-р техн. наук
ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», Москва, Российская Федерация

ТРАВУШ Владимир Ильич, вице-президент РААСН,
д-р техн. наук, профессор
ЗАО «Горпроект», Москва, Российская Федерация

ФАРФЕЛЬ Михаил Иосифович, канд. техн. наук
ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»,
Москва, Российская Федерация

ФЕДЮК Роман Сергеевич, д-р техн. наук, доцент
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток,
Российская Федерация

ХАЧИЯН Эдуард Ефремович, академик НАН РА,
д-р техн. наук, профессор
Национальный университет архитектуры
и строительства Армении, Ереван, Республика Армения

ЧЕЛЫШКОВ Павел Дмитриевич, д-р техн. наук, доцент
АО «НИЦ «Строительство»,
Москва, Российская Федерация

ШУЛЯТЬЕВ Олег Александрович, д-р техн. наук, профессор
НИИОСП им. Н.М. Герсванова
АО «НИЦ «Строительство»,
Москва, Российская Федерация

Вестник НИЦ «Строительство»
Научный потенциал строительной отрасли
Вып. 2(45) / под ред. А.И. Звездова. –
М.: АО «НИЦ «Строительство», 2025. – 170 с.
ISSN 2224-9494 (Print) ISSN 2782-3938 (Online)
DOI журнала: <https://doi.org/10.37538/2224-9494>
DOI выпуска: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45))
В действующем Перечне ВАК от 18.03.2025 г. под номером 621.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере
связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-75188 от 22 февраля 2019 г.
Свидетельство о регистрации средства массовой информации
Эл № ФС77-82129 от 18 октября 2021 г.
Содержит статьи, посвященные актуальным проблемам
и перспективам строительной науки, непосредственно
связанным с решением практических задач.
Для научных работников, инженеров-проектировщиков,
преподавателей, аспирантов.

ISSN 2224-9494 (Print)
ISSN 2782-3938 (Online)
© АО «НИЦ «Строительство»,
«Вестник НИЦ «Строительство», 2025

EDITORIAL BOARD

UDC 69; 624; 55; 550.34; 531.01; 531.03

Editor in Chief

ZVEZDOV Andrey I., Dr. Sci. (Engineering), Professor

Scientific Editor

SMIRNOVA Lyubov' N., Cand. Sci. (Engineering)

BAZHENOV Valentin G., Academician of AES, Dr. Sci. (Physical and Mathematical), Professor Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (UNN), Nizhni Novgorod, Russian Federation

VAL Dimitri V., Dr., Professor School of the Built Environment, Edinburgh, UK

VOLKOV Andrey A., Dr. Sci. (Engineering), Professor JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

VEDYAKOV Ivan I., Dr. Sci. (Engineering), Professor, Academician of RAASN, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

GUSEV Boris V., Dr. Sci. (Engineering), Professor, President of Russian Academy of Engineering (RAE), President of International Academy of Engineering (IAE), Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

DAVIDYUK Aleksey N., Dr. Sci. (Engineering) KTB Beton Group, Moscow, Russian Federation

KOLYBIN Igor V., Cand. Sci. (Engineering) Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

KONDRAT'EVA Lidia N., Dr. Sci. (Engineering), Professor Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russian Federation

KUZEVANOV Dmitry V., Cand. Sci. (Engineering) Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

KURBATSKY Evgeny N., Dr. Sci. (Engineering), Professor Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russian Federation

LYAMIN Andrei, Dr., Professor School of Engineering, Callaghan, Australia

MAILYAN Dmitry R., Dr. Sci. (Engineering), Professor Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russian Federation

MANGUSHEV Rashid A., Dr. Sci. (Engineering), Professor, Corresponding Member of the RAASN Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU), Saint Petersburg, Russian Federation

MIRSAYAPOV Ilizar T., Dr. Sci. (Engineering), Professor, Corresponding Member of the RAASN, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (KazGASU), Kazan, Russian Federation

MONDRUS Vladimir L., Dr. Sci. (Engineering), Professor Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

MOKHOV Andrey I., Dr. Sci. (Engineering), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences (RANS) Non-profit partnership "Energoeffect", Moscow, Russian Federation

NEMCHINOV Yuri I., Academician of AES, Dr. Sci. (Engineering), Professor State Enterprise "State Research Institute of Building Constructions", Kyiv, Ukraine

NESVETAEV Grigoriy V., Dr. Sci. (Engineering), Professor Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russian Federation

OBOZOV Vladimir I., Dr. Sci. (Engineering), Professor Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

PUZRIN Alexander, Dr., Professor Institute for Geotechnical Engineering, Zurich, Switzerland

PYATIKRESTOVSKY Konstantin P., Dr. Sci. (Engineering), Professor Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

TAMRAZIAN Ashot G., Dr. Sci. (Engineering), Professor Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

TER-MARTIROSYAN Armen Z., Dr. Sci. (Engineering) Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

TRAVUSH Vladimir I., vice president RAASN, Dr. Sci. (Engineering), Professor CJSC "Gorproject", Moscow, Russian Federation

FARFEL Mikhail I., Cand. Sci. (Engineering) Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

FEDIUK Roman S., Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

KHACHIYAN Eduard E., Dr. Sci. (Engineering), Academician of NAN RA, Professor National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, Republic of Armenia

CHELYSHKOV Pavel D., Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor, JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

SHULYATYEV Oleg A., Dr. Sci. (Engineering), Professor Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

Bulletin of Science and Research Center of Construction Scientific potential of the construction industry

Issue 2[45] / edited by A.I. Zvezdov. – M.: JSC Research Center of Construction, 2025. – 170 p.
ISSN 2224-9494 (Print) ISSN 2782-3938 (Online)
DOI journal <https://doi.org/10.37538/2224-9494>
DOI issue [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\[45\]](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2[45])

In the current version of List of HAC from March 18, 2025 our journal has a number 621.

Registered by the Federal Service for Supervision of Communications and Information Technologies and mass communications (ROSKOMNADZOR).
Mass media registration certificate PI No. FS77-75188 dated February 22, 2019.
Mass media registration certificate EI No. FS77-82129 dated October 18, 2021.
Publishes research articles on current problems and prospects of construction science, directly related to the solution of practical tasks. For scientists, engineers, teachers, postgraduate students.

ISSN 2224-9494 (Print)
ISSN 2782-3938 (Online)
© JSC Research Center of Construction, Bulletin of Science and Research Center of Construction, 2025

Содержание

Строительные конструкции, здания и сооружения

Адушкин К.Г., Айзатуллин М.М., Ведяков М.И., Фомин Н.И., Сабитов Л.С. Разработка конструктивных решений по защите технологических эстакад от прогрессирующего обрушения	7
Гизятуллин И.Р., Фаттахова А.И., Петросян И.А., Бутикова Т.Е. Практическая эффективность систем сейсмоизоляции зданий: эмпирические данные и уроки разрушительных землетрясений XXI века	20
Ильюшенков А.О. Развитие метода эффективной расчетной длины в расчетах одноэтажных рам	45
Кондрашов Д.В., Коняшин Д.Ю. Проведение мониторинга напряженного состояния конструкций радиотелевизионной передающей станции в городе Владикавказе	68
Пущев Д.И., Беспалов А.В., Мишина С.Ю., Грошев Ю.М. Применение полевого моделирования пожара для обоснования эффективности конструктивной огнезащиты кабельных каналов в помещениях АЭС	83
Точеная А.А., Югов А.М., Титков С.О., Танасогло А.В., Гаранжа И.М. Напряженно-деформированное состояние стального башенного копра при монтаже методом надвигки	95

Основания и фундаменты, подземные сооружения

Иовлев И.М., Крючков С.А., Метелица Е.А. Оценка возможности надстройки объекта незавершенного строительства дополнительными этажами по результатам статических испытаний грунтов сваями	107
Шейкин Е.В., Степанова В.Ф. Механизм разрушения слоистых материалов исторических конструкций объектов культурного наследия	122

Строительные материалы и изделия

Колесников Н.В., Арискин М.В., Мартышкин Д.О. Влияние термообработки и пропитки полимерным составом на прочностные и деформативные свойства древесины	135
---	-----

Управление жизненным циклом объектов строительства

Бойко Д.С., Астафьева Н.С. Анализ программного обеспечения для автоматизированного формирования сметных документов на основе BIM-моделей	145
Волков А.А., Челышков П.Д., Давыдов А.Е., Никитенко А.А. Разработка принципов алгоритмов применения классификатора строительной информации	154

Contents

Building constructions, buildings and structures

Adushkin K.G., Aizatullin M.M., Vedyakov M.I., Fomin N.I., Sabitov L.S.
Development of design solutions for protection against progressive collapse of process pipe racks..... 7

Giziatullin I.R., Fattakhova A.I., Petrosyan I.A., Butikova T.E.
Practical efficiency of seismic base isolation systems for buildings: empirical data and lessons from destructive earthquakes of the 21st century 20

Ilyushenkov A.O.
Development of the effective length method for single-story frame analysis 45

Kondrashov D.V., Konyashin D.Yu.
Stress-strain state monitoring for the structures of the radio and television transmitting station in Vladikavkaz 68

Putsev D.I., Beshpalov A.V., Mishina S.Yu., Groshev Yu.M.
Application of field fire modeling to validate structural fire protection for cable ducts in nuclear power plants 83

Tochenaya A.A., Yugov A.M., Titkov S.O., Tanasoglo A.V., Garanzha I.M.
Stress-strain state of a steel tower crane during erection by the pushing method 95

Foundations, underground structures

Iovlev I.M., Kryuchkov S.A., Metelitsa E.A.
Assessment of the feasibility of adding additional floors to unfinished construction projects based on static pile load test results..... 107

Sheikin E.V., Stepanova V.F.
Fracture mechanisms of layered materials in structures of cultural heritage objects 122

Building materials and products

Kolesnikov N.V., Ariskin M.V., Martyshkin D.O.
Influence of thermal treatment and polymer impregnation on the strength and deformation properties of wood 135

Lifecycle management of construction projects

Boyko D.S., Astafieva N.S.
Analysis of software for automated formation of cost estimate documents based on BIM models 145

Volkov A.A., Chelyshkov P.D., Davydov A.E., Nikitenko A.A.
Developing the principles of algorithms for construction information classifier application..... 154

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-7-19](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-7-19)
УДК 624.9; 699.8

EDN: XIGCFU

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ЗАЩИТЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭСТАКАД ОТ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ

К.Г. АДУШКИН^{1,✉}

М.М. АЙЗАТУЛЛИН²

М.И. ВЕДЯКОВ^{3, 4}

Н.И. ФОМИН¹, канд. техн. наук

Л.С. САБИТОВ³, д-р техн. наук

¹ ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», ул. Мира, д. 19, г. Екатеринбург, 620002, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», ул. Красносельская, д. 51, г. Казань, 420066, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

⁴ Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В.А. Кучеренко, АО «НИЦ «Строительство», ул. 2-я Институтская, д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Отмечается уязвимость промышленных объектов, в том числе рассматриваемых в статье технологических эстакад, для участвовавших террористических атак с помощью БПЛА и других негативных факторов, которые способны привести к аварийной ситуации и последующему прогрессирующему обрушению.

Цель. Разработка конструктивных решений по защите от прогрессирующего обрушения при аварийной расчетной ситуации с обеспечением геометрической неизменяемости и устойчивости промежуточных двухшарнирных опор температурного блока при удалении анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении).

Материалы и методы. Выполнен обзор существующей актуальной нормативной литературы по теме исследования. Используя опыт обследования, подвергнуты критическому анализу конструктивные решения существующих недавно возведенных технологических эстакад.

Результаты. Выполнив анализ нормативных документов по теме исследования, делается вывод, что отсутствие подробных рекомендаций и методик расчета на устойчивость против прогрессирующего обрушения по отношению к технологическим эстакадам в целом снижает надежность вновь возводимых и существующих реконструируемых объектов. По результатам критического анализа часто встречаемой компоновки температурного блока технологической эстакады повышенного уровня ответственности с устройством одной анкерной опоры с множеством промежуточных двухшарнирных опор, которые соединены друг с другом разрезными пролетными строениями или распорками, отмечается недостаток данной компоновки в виде невозможности обеспечения геометрической неизменяемости и устойчивости промежуточных двухшарнирных опор температурного блока при аварийной расчетной ситуации с удалением анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении).

Выводы. Разработаны конструктивные решения по защите от прогрессирующего обрушения при аварийной расчетной ситуации с обеспечением геометрической неизменяемости и устойчивости промежуточных

двухшарнирных опор температурного блока при удалении анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении). На разработанные технические решения оформлены заявки на выдачу патентов на изобретения.

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение, технологическая эстакада, большетемпературный блок, анкерная опора, промежуточная двухшарнирная опора, пролетное строение, горизонтальная распорка

Для цитирования: Адушкин К.Г., Айзатуллин М.М., Ведяков М.И., Фомин Н.И., Сабитов Л.С. Разработка конструктивных решений по защите технологических эстакад от прогрессирующего обрушения. *Вестник НИЦ Строительство*. 2025;45(2):7–19. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-7-19](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-7-19)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 12.04.2025

Поступила после рецензирования 30.05.2025

Принята к публикации 05.06.2025

DEVELOPMENT OF DESIGN SOLUTIONS FOR PROTECTION AGAINST PROGRESSIVE COLLAPSE OF PROCESS PIPE RACKS

K.G. ADUSHKIN^{1,✉}

M.M. AIZATULLIN²

M.I. VEDYAKOV^{3, 4}

N.I. FOMIN¹, Cand. Sci. (Engineering)

L.S. SABITOV³, Dr. Sci. (Engineering)

¹ Ural Federal University, Mira str., 19, Yekaterinburg, 620002, Russian Federation

² Kazan State Power Engineering University, Krasnoselskaya str., 51, Kazan, 420066, Russian Federation

³ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

⁴ Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract

Introduction. The paper highlights vulnerability of industrial facilities, such as process pipe racks, to increasing frequency of UAV terrorist attacks and other negative factors that can lead to an emergency situation and subsequent progressive collapse.

Aim. To develop design solutions for protection against progressive collapse in a design emergency situation with ensured geometric immutability and stability of intermediate double-hinged supports of a temperature block in the case of excluding an anchor support from the design scheme (local destruction).

Materials and methods. A review of relevant normative documents on the research topic was carried out. The survey experience was used to analyze the design solutions of recently constructed process pipe racks.

Results. Having analyzed the regulatory documents on the research topic, we assume that the lack of detailed recommendations and calculation methods for stability against progressive collapse of process pipe racks generally reduces the reliability of newly constructed and existing reconstructed facilities. A frequently encountered combination of a temperature block in a highly critical process pipe rack with one anchor support and multiple intermediate double-hinged supports interconnected by split span structures or struts appears disadvantageous in terms of failure to ensure the geometric immutability and stability of the intermediate double-hinged supports of the temperature block in a design emergency situation with the anchor support excluded from the design scheme (local destruction).

Conclusions. The developed design solutions ensure protection against progressive collapse in a design emergency situation and maintain geometric immutability and stability of intermediate double-hinged supports of a temperature block in the case of excluding an anchor support from the design scheme (local destruction). Applications for utility patents on the developed engineering solutions have been filed.

Keywords: progressive collapse, process pipe rack, high-temperature block, anchor support, intermediate double-hinged support, span structure, horizontal strut

For citation: Adushkin K.G., Aizatullin M.M., Vedyakov M.I., Fomin N.I., Sabitov L.S. Development of design solutions for protection against progressive collapse of process pipe racks. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2025;45(2):7–19. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-7-19](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-7-19)

Authors contribution statement

All authors made equal contributions to the study and the publication.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 12.04.2025

Revised 30.05.2025

Accepted 05.06.2025

Введение

Российская Федерация традиционно находится в числе лидеров стран по объему промышленного производства. На территории страны располагается большое количество промышленных предприятий различного назначения. Каждое производство включает в себя многочисленные здания и сооружения, которые связаны друг с другом системой коммуникаций, инженерные сети часто прокладывают открытым способом по конструкциям технологических эстакад.

Последние годы участились случаи совершения террористических актов в отношении промышленных предприятий, атаке подвергаются в том числе технологические эстакады [1]. Кроме террористических атак эстакады подвержены и прочему негативному влиянию: случайные наезды на опоры автотранспортных средств, просадки или выпучивание фундаментов опор, уменьшение поперечного сечения элементов в результате коррозии, ошибки при проектировании и т. п. – все перечисленные факторы способны вызвать аварийную ситуацию с локальным разрушением отдельных элементов, что может привести к прогрессирующему обрушению линейного сооружения со всеми вытекающими последствиями [2].

Отвечая современным вызовам, актуальные нормы требуют обеспечения защиты от прогрессирующего обрушения для зданий и сооружений повышенного уровня ответственности, а также для отдельных объектов нормального уровня ответственности. Используя опыт обследования и рассматривая технологические эстакады объектов энергетики, которые часто имеют повышенный уровень ответственности, стоит отметить, что зачастую данные эстакады проектируются не в полной мере способными противостоять прогрессирующему обрушению. Многие проектные организации подходят формально к данным требованиям без должной проработки всех возможных сценариев исключения из расчетной схемы несущих элементов эстакады. Отчасти данная ситуация возникает из-за отсутствия в нормативных документах детальных рекомендаций и методик расчета эстакад на устойчивость против прогрессирующего обрушения [3, 4]. Отметим, что подобная ситуация прослеживается по отношению и к другим линейным сооружениям, например к опорам ВЛ [5].

В рамках статьи рассмотрены вопросы повышения надежности строительных конструкций технологических эстакад, выражающейся в способности противостоять прогрессирующему обрушению. Анализируя конструктивные решения недавно возведенных эстакад повышенного уровня ответственности, стоит обратить внимание, что часто встречаемая компоновка температурного блока эстакады включает одну анкерную опору и ряд промежуточных двухшарнирных опор, которые соединены друг с другом разрезными пролетными строениями или распорками. Недостаток вышеописанной компоновки заключается в невозможности обеспечения геометрической неизменяемости и устойчивости промежуточных двухшарнирных опор температурного блока при удалении анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении).

Цель исследования – разработка конструктивных решений по защите от прогрессирующего обрушения при аварийной расчетной ситуации с обеспечением геометрической неизменяемости и устойчивости промежуточных двухшарнирных опор температурного блока при удалении анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении).

Материалы и методы

Для достижения поставленной задачи был выполнен обзор и анализ существующей актуальной нормативно-технической литературы в области защиты от прогрессирующего обрушения, особое внимание уделялось поиску пособий, рекомендаций и методик расчета по защите от прогрессирующего обрушения по отношению к рассматриваемым в данной статье линейным сооружениям – технологическим эстакадам.

Для разработки конструктивных решений использовался опыт обследования технологических эстакад промышленных предприятий, в том числе эстакад повышенного уровня ответственности. В рамках проводимого исследования, в процессе обследования в первую очередь критическому анализу подвергались конструктивные решения эстакад, разработанные различными проектными институтами и проектными организациями, аналитическим и расчетным способами выполнялась оценка способности конструкций противостоять прогрессирующему обрушению. На объектах после аварийных ситуаций осуществлялся поиск дефектов и повреждений строительных конструкций и выполнялась соответствующая оценка их влияния на несущую способность как отдельных элементов, так и сооружения в целом (рис. 1).



Рис. 1. Многочисленные деформации элементов технологической эстакады, полученные в результате аварийной ситуации на производстве (фото из личного архива авторов)

Fig. 1. Numerous deformations of process pipe rack elements due to an emergency situation at a production facility (photo from the personal archive of the authors)

На завершающем этапе при разработке конструктивных решений сопутствующие расчеты, оценка устойчивости, геометрической неизменяемости и прочие численные эксперименты выполнялись в программном комплексе ЛИРА. С целью подтверждения научной новизны и закрепления авторских прав на все разработанные решения были оформлены заявки на выдачу патентов на изобретения, на момент написания статьи конструктивные решения проходят экспертизы в Роспатенте.

Результаты

Обзор литературы по теме исследования

Основными нормативными документами по проектированию технологических эстакад являются соответствующая глава из СП 43.13330.2012 [6] и «Пособие по проектированию отдельно стоящих опор и эстакад под технологические трубопроводы (к СНиП 2.09.03-85)» [7], которые во многом дублируют друг друга. Однако в данных документах отсутствуют

требования, рекомендации и методика расчета данных сооружений на устойчивость против прогрессирующего обрушения. Тем временем, как уже было упомянуто выше, актуальные нормы – в первую очередь это Федеральный закон № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [8], ГОСТ 27751-2014 [9], СП 385.1325800.2018 [10], СП 296.1325800.2017 [11] – требуют обеспечения защиты от прогрессирующего обрушения зданий и сооружений повышенного уровня ответственности, к которым часто относятся и рассматриваемые технологические эстакады.

Если рассмотреть СП 385.1325800.2018 [10] и СП 296.1325800.2017 [11], то можно заметить, что в документах изложены основные положения по рассматриваемой теме, но при этом документы не раскрывают детали и особенности, которые встречаются при проектировании эстакад. Кроме того, в СП 385.1325800.2018 [10] прямо указано, что область применения документа не распространяется на линейные объекты, к которым относятся рассматриваемые в данной статье технологические эстакады [12]. Если обратиться к другим существующим нормам, например к методическому пособию [13], то также можно обратить внимание, что в документе содержатся рекомендации, правила проектирования и методики расчетов в основном для зданий с массовым нахождением людей, а также для отдельных промышленных объектов без рассмотрения эстакад.

Таким образом, проектные организации при проектировании вынуждены пользоваться общими правилами и требованиями по защите от прогрессирующего обрушения, а также адаптировать их под специфику рассматриваемых линейных инженерных сооружений. И действительно, на отдельные вопросы, например связанные с назначением характеристик материалов, нагрузками при особом сочетании и общим подходом к проблеме, могут быть даны ответы в вышеописанных нормах, однако такие детали, как рекомендации по выбору мест назначения локальных разрушений (отказов), методика расчета и требования к расчетным моделям, выбор коэффициента динамичности при pulldown-анализе в квазистатической постановке, примеры расчетов, конструктивные мероприятия по защите от прогрессирующего обрушения эстакад и пр., могли бы быть освещены в виде отдельного пособия и рекомендаций или быть включены в новую редакцию существующего пособия [13]. Можно с уверенностью сказать, что разработка данных рекомендаций положительно скажется на общей надежности ответственных технологических эстакад.

Обзор существующих конструктивных решений

Рассмотрим часто встречаемую компоновку температурного блока технологической эстакады (рис. 2–4) [14]. По длине эстакады разбивают на температурные блоки. Согласно рекомендациям по проектированию, в каждом температурном блоке, как правило, устанавливают анкерную опору. При этом остальные опоры являются промежуточными, их часто выполняют шарнирно опертыми в продольном направлении, и работают они преимущественно на сжатие. Все опоры в рамках температурного блока соединяются в продольном направлении разрезными распорками или пролетными строениями. Таким образом, единственная анкерная опора совместно с распорками или пролетными строениями обеспечивает геометрическую неизменяемость и устойчивость промежуточных шарнирно опертых опор температурного блока. Распорки и пролетные строения также выполняют функцию передачи горизонтальных продольных нагрузок от трубопроводов на анкерную опору, таким образом

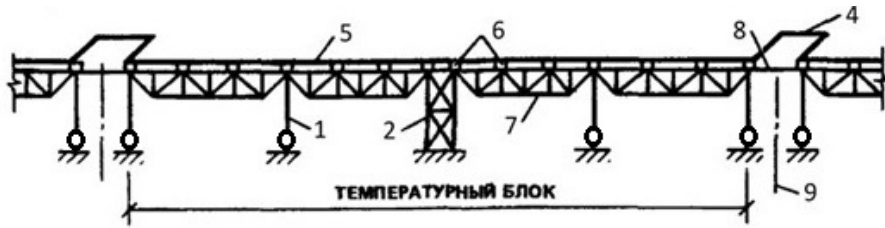


Рис. 2. Принципиальная схема устройства температурного блока технологической эстакады [7]: 1 – промежуточная опора; 2 – анкерная опора; 4 – компенсатор; 5 – трубопровод; 6 – траверса; 7 – пролетное строение; 8 – вставка температурного блока; 9 – ось температурного разрыва

Fig. 2. Schematic diagram of the temperature block in the process pipe rack [7]: 1 – intermediate support; 2 – anchor support; 4 – compensator; 5 – pipeline; 6 – crossbeam; 7 – span structure; 8 – temperature block insert; 9 – temperature break axis



Рис. 3. Часто встречаемая компоновка температурного блока технологической эстакады. Анкерная опора в середине температурного блока, промежуточные опоры выполнены с шарнирным опиранием на фундаменты, все опоры соединены распорками и пролетными строениями (фото из личного архива авторов)

Fig. 3. Frequently encountered layout of a temperature block for the process pipe rack: anchor support is in the middle of the temperature block; intermediate supports are hinge supported on foundations; all supports are connected by spacers and span structures (photo from the personal archive of the authors)

анкерная опора воспринимает все горизонтальные продольные нагрузки, действующие на температурный блок от трубопроводов.

Отметим, что описанная выше компоновка, как показывает опыт обследования, часто встречается и в технологических эстакадах повышенного уровня ответственности (рис. 3). Недостаток рассматриваемой компоновки заключается в невозможности обеспечения геометрической неизменяемости и устойчивости промежуточных двухшарнирных опор температурного блока при удалении анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении).

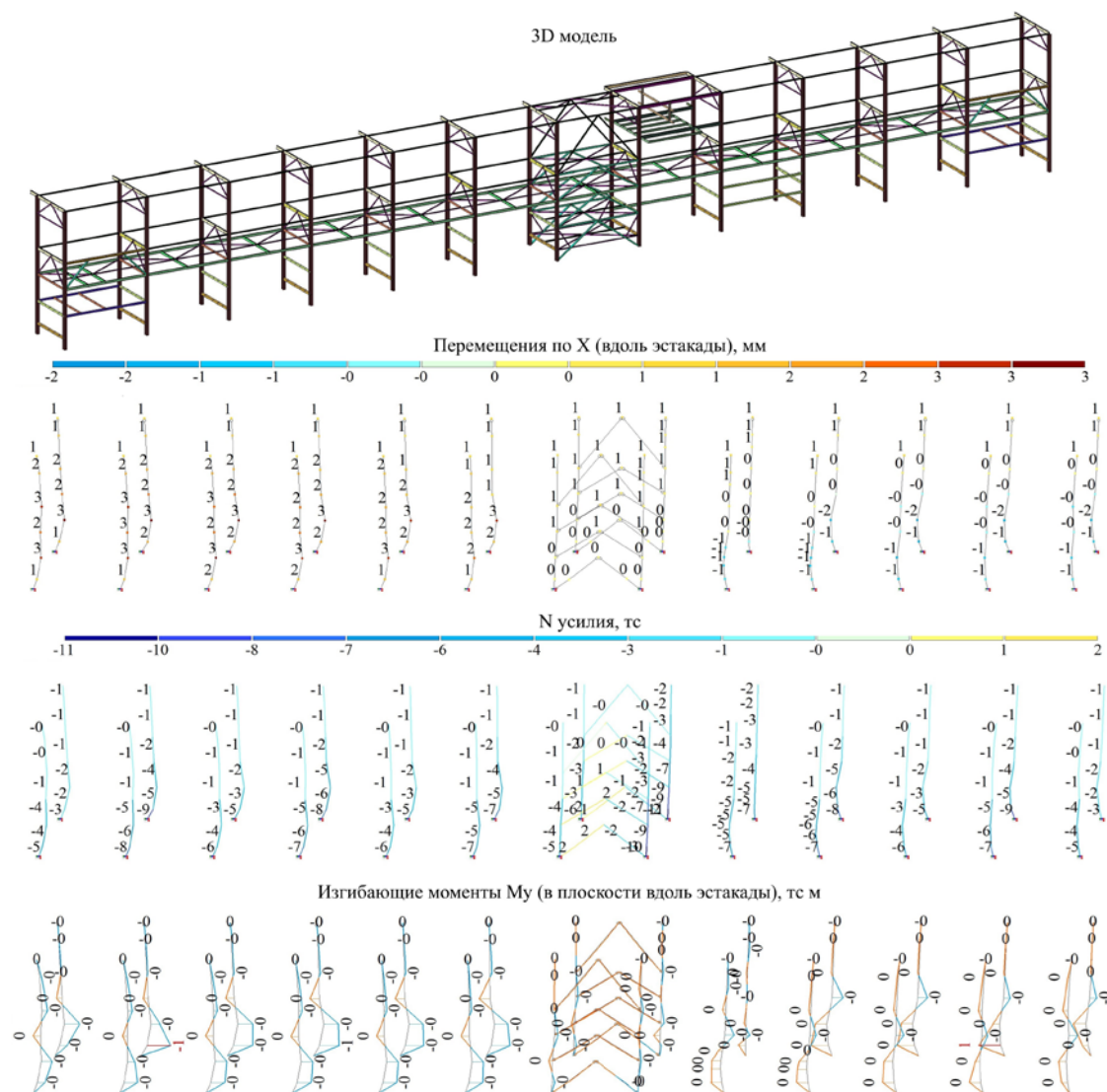


Рис. 4. Расчетная схема, перемещения и усилия в элементах технологической эстакады. Перемещения и усилия определены при загрузке вертикальными нагрузками и горизонтальными нагрузками от трубопроводов, направленными вдоль продольной оси эстакады

Fig. 4. Design scheme, movements, and forces in the elements of the process pipe rack: displacements and forces are determined under vertical and horizontal loads from pipelines directed along the longitudinal axis of the pipe rack

Обзор разработанных конструктивных решений

Решение с дублированием анкерной опоры и с устройством неразрезного пролетного строения в рамках температурного блока

Конструкция температурного блока опор включает промежуточные двухшарнирные опоры, анкерную опору, дублирующую анкерную опору, неразрезное пролетное строение и трубопроводы (рис. 5).

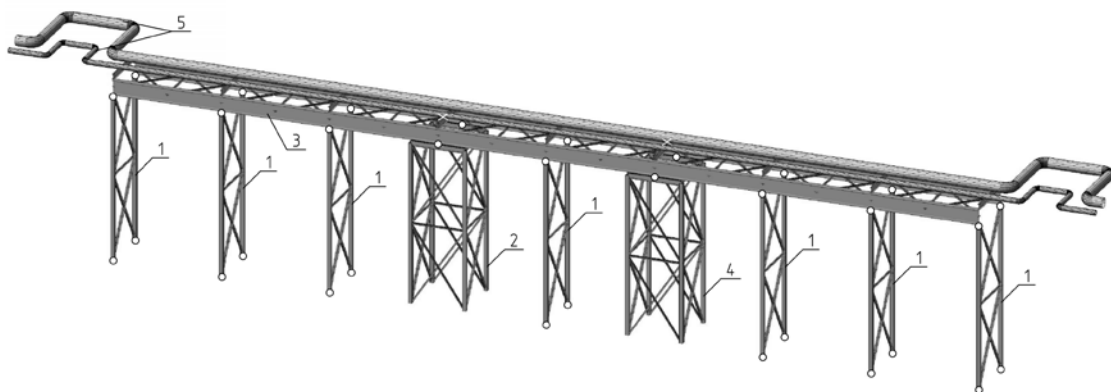


Рис. 5. Решение с дублированием анкерной опоры и с устройством неразрезного пролетного строения в рамках температурного блока: 1 – промежуточная двухшарнирная опора; 2 – анкерная опора; 3 – неразрезное пролетное строение; 4 – дублирующая анкерная опора; 5 – трубопроводы

Fig. 5. Design solution with anchor support duplication and continuous span structure within the temperature block: 1 – intermediate double-hinged support; 2 – anchor support; 3 – continuous span structure; 4 – duplicate anchor support; 5 – pipelines

В режиме нормальной эксплуатации анкерная опора и дублирующая анкерная опора совместно воспринимают все передающиеся на них горизонтальные продольные нагрузки от трубопроводов и обеспечивают геометрическую неизменяемость и устойчивость промежуточных двухшарнирных опор температурного блока. При аварийной расчетной ситуации с удалением анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении) оставшаяся дублирующая анкерная опора начинает воспринимать все передающиеся на нее горизонтальные продольные нагрузки от трубопроводов и обеспечивать геометрическую неизменяемость и устойчивость промежуточных двухшарнирных опор температурного блока. Неразрезное пролетное строение является основанием для трубопроводов и соединяет поверху все опоры температурного блока с обеспечением передачи всех горизонтальных продольных нагрузок от трубопроводов на анкерную опору и дублирующую анкерную опору. При аварийной расчетной ситуации с удалением любой опоры из расчетной схемы (локальном разрушении) неразрезное пролетное строение своим конструктивным исполнением (неразрезностью) продолжает соединять все опоры температурного блока с обеспечением передачи всех горизонтальных продольных нагрузок от трубопроводов на анкерную(ые) опору(ы).

Разработанное решение оформлено в виде заявки на выдачу патента на изобретение (№ 2024133306 от 07.11.2024 г.), в настоящее время проходит экспертизу в ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности».

Решение с дублированием анкерной опоры и с устройством горизонтальных распорок в два уровня в рамках температурного блока

Как и в вышеописанном варианте, в данном решении содержатся две анкерные опоры в температурном блоке. Вместо неразрезного пролетного строения из первого решения в данном случае используются горизонтальные распорки, выполненные в два независимых друг от друга уровня (рис. 6).

В режиме нормальной эксплуатации анкерная опора и дублирующая анкерная опора совместно воспринимают все передающиеся на них горизонтальные продольные нагрузки

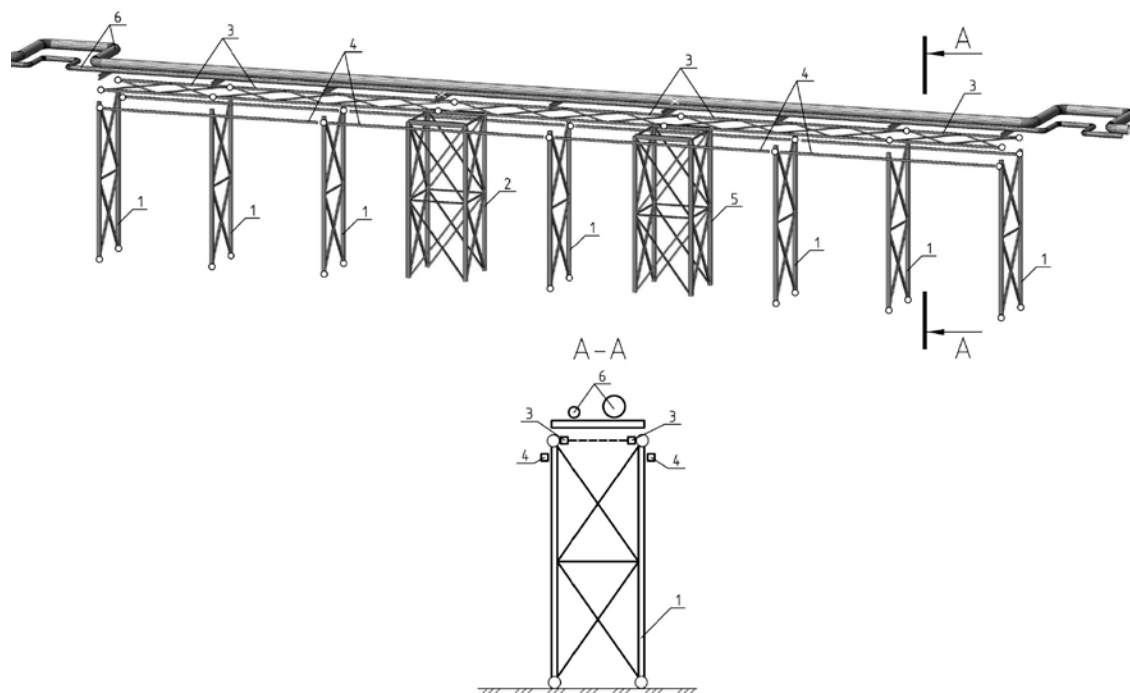


Рис. 6. Решение с дублированием анкерной опоры и с устройством горизонтальных распорок в два уровня в рамках температурного блока: 1 – промежуточная двухшарнирная опора; 2 – анкерная опора; 3 – горизонтальные распорки первого уровня; 4 – горизонтальные распорки второго уровня; 5 – дублирующая анкерная опора; 6 – трубопроводы

Fig. 6. Design solution with anchor support duplication and two levels of horizontal struts within the temperature block: 1 – intermediate double-hinged support; 2 – anchor support; 3 – first level horizontal struts; 4 – second level horizontal struts; 5 – duplicate anchor support; 6 – pipelines

от трубопроводов и обеспечивают геометрическую неизменяемость и устойчивость промежуточных двухшарнирных опор температурного блока. При аварийной расчетной ситуации с удалением анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении) оставшаяся дублирующая анкерная опора начинает воспринимать все передающиеся на нее горизонтальные продольные нагрузки от трубопроводов и обеспечивать геометрическую неизменяемость и устойчивость промежуточных двухшарнирных опор температурного блока. Горизонтальные распорки первого уровня и горизонтальные распорки второго уровня соединяют поверху все опоры температурного блока с обеспечением передачи всех горизонтальных продольных нагрузок от трубопроводов на анкерную опору и дублирующую анкерную опору. Горизонтальные распорки первого уровня и горизонтальные распорки второго уровня соединяются с опорами температурного блока через одну, за исключением крайних опор температурного блока, перекрывая удвоенный пролет опор. При этом места крепления горизонтальных распорок первого уровня к опорам температурного блока выполнены со смещением на один пролет, за исключением крайних опор температурного блока, относительно мест крепления горизонтальных распорок второго уровня. Таким образом, горизонтальные распорки первого уровня и горизонтальные распорки второго уровня независимо дублируют друг друга. При аварийной расчетной ситуации с удалением анкерной

опоры из расчетной схемы (локальном разрушении) происходит обрушение горизонтальных распорок первого уровня в смежных пролетах относительно удаленной опоры, при этом горизонтальные распорки второго уровня и оставшиеся горизонтальные распорки первого уровня продолжают соединять все опоры температурного блока с обеспечением передачи всех горизонтальных продольных нагрузок от трубопроводов на анкерную опору.

Разработанное решение оформлено в виде заявки на выдачу патента на изобретение (№ 2024133307 от 07.11.2024 г.), в настоящее время проходит экспертизу в ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности».

Заключение

Подводя итог проделанной работы, можно сделать следующие выводы:

1. Выполнен анализ нормативных документов по теме защиты от прогрессирующего обрушения технологических эстакад. Делается вывод, что отсутствие подробных рекомендаций и методик расчета на устойчивость против прогрессирующего обрушения по отношению к технологическим эстакадам в целом снижает надежность вновь возводимых и существующих реконструируемых объектов. Предлагается выполнить разработку соответствующих рекомендаций, которые отражали бы специфику проектирования данных линейных инженерных сооружений.

2. Используя опыт обследования, выполнен анализ часто встречаемой компоновки температурного блока технологической эстакады повышенного уровня ответственности с устройством одной анкерной опоры с множеством промежуточных двухшарнирных опор, которые соединены друг с другом разрезными пролетными строениями или распорками. Отмечается недостаток данной компоновки в виде невозможности обеспечения геометрической неизменяемости и устойчивости промежуточных двухшарнирных опор температурного блока при аварийной расчетной ситуации с удалением анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении).

3. Разработаны конструктивные решения по защите от прогрессирующего обрушения при аварийной расчетной ситуации с обеспечением геометрической неизменяемости и устойчивости промежуточных двухшарнирных опор температурного блока при удалении анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении).

Список литературы

1. Сабитов Л.С., Закирова М.А., Адушкин К.Г., Фомин Н.И., Ведяков М.И., Карпов Р.М. Разработка конструктивно-технологических решений по защите объектов энергетики от атак БПЛА. Строительная механика и расчет сооружений. 2025;(1):65–75. <https://doi.org/10.37538/0039-2383.2025.1.65.75>.
2. Сабитов Л.С., Адушкин К.Г., Токарева Л.А., Айзатуллин М.М., Зарипов М.М. Характерные дефекты и несовершенства строительных конструкций опор эстакад промышленных предприятий. Строительное производство. 2024;(3):16–26.
3. Ведяков И.И., Еремеев П.Г., Одесский П.Д., Попов Н.А., Соловьев Д.В. Анализ нормативных требований к расчету строительных конструкций на прогрессирующее обрушение. Вестник НИЦ Строительство. 2019;21(2):15–29. EDN: UKTHLJ.
4. Еремеев П.Г., Ведяков И.И. Еще раз о проблеме защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Промышленное и гражданское строительство. 2021;(8):4–10. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2021.08.04-10>.

5. Сенькин Н.А. Учет прогрессирующего обрушения при проектировании опор воздушных линий электропередачи. Вестник гражданских инженеров. 2022;4(93):37–46. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2022-19-4-37-46>.
6. СП 43.13330.2012. Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85. Москва: Минстрой России; 2012.
7. Пособие по проектированию отдельно стоящих опор и эстакад под технологические трубопроводы (к СНиП 2.09.03-85). Москва: Стройиздат; 1989.
8. Федеральный закон от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902192610?section=text>.
9. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. Москва: Стандартинформ; 2019.
10. СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения. Москва: Стандартинформ; 2018.
11. СП 296.1325800.2017. Здания и сооружения. Особые воздействия. Москва: Стандартинформ; 2017.
12. Сенькин Н.А. Прогессирующее обрушение и восстановление конструкций воздушных линий электропередачи. Известия высших учебных заведений. Строительство. 2023;(10):5–20. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-778-10-5-20>.
13. Методическое пособие. Проектирование мероприятий по защите зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Москва: Минстрой России; 2020.
14. Адушкин К.Г., Токарева Л.А., Айзатуллин М.М., Сабитов Л.С. Критический анализ конструкций технологических и кабельных эстакад, а также отдельно стоящих опор под трубопроводы промышленных предприятий. Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2024;20(2):94–105.

References

1. Sabitov L.S., Zakirova M.A., Adushkin K.G., Fomin N.I., Vedyakov M.I., Karpov R.M. Development of engineering solutions to protect energy facilities from UAV attacks. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2025;(1):65–75. (In Russian). <https://doi.org/10.37538/0039-2383.2025.1.65.75>.
2. Sabitov L.S., Adushkin K.G., Tokareva L.A., Aizatullin M.M., Zaripov M.M. Characteristic defects and imperfections of building structures of supports of overpasses of industrial enterprises. Construction production. 2024;(3):16–26. (In Russian). https://doi.org/10.54950/26585340_2024_3_16.
3. Vedyakov I., Yeremeyev P., Odesskiy P., Popov N., Solovyev D. Standard requirement analysis for the progressive collapse structure calculation. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2019;21(2):15–29. EDN: UKTHLJ. (In Russian).
4. Yeremeyev P.G., Vedyakov I.I. Once again about the problem of protecting buildings and structures from progressive collapse. Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering. 2021;(8):4–10. (In Russian). <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2021.08.04-10>.
5. Senkin N.A. Consideration of progressive collapse in the design of overhead power transmission line supports. Bulletin of Civil Engineers. 2022;(4):37–46. (In Russian). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2022-19-4-37-46>.
6. СП 43.13330.2012. Constructions of the industrial enterprises. Updated version of SNiP 2.09.03-85. Moscow: The Ministry of Construction of Russia; 2012. (In Russian).
7. Manual on the design of unstrutted pipe racks and process pipe racks (to SNiP 2.09.03-85). Moscow: Stroyizdat Publ.; 1989. (In Russian).
8. Federal Law of 30.12.2009 No. 384-FZ “Technical regulations on the safety of buildings and structures” [internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/902192610?section=text>. (In Russian).
9. State Standard 27751-2014. Reliability for constructions and foundations. General principles. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
10. СП 385.1325800.2018. Protection of buildings and structures against progressive collapse. Design code. Basic statements. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).
11. СП 296.1325800.2017. Buildings and structures. Accidental actions. Moscow: Standartinform Publ.; 2017. (In Russian).

12. *Senkin N.A.* Progressive collapse and restoration of overhead power lines structures. News of higher educational institutions. Construction. 2023;(10):5–20. (In Russian). <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-778-10-5-20>.

13. Manual on designing measures to protect buildings and structures from progressive collapse. Moscow: Ministry of Construction of Russia; 2020. (In Russian).

14. *Adushkin K.G., Tokareva L.A., Aizatullin M.M., Sabitov L.S.* Critical analysis of the of technological and cable racks designs, as well as separate-standing supports for pipelines of industrial enterprises. Herald of GSTOU. Technical Sciences. 2024;(2):94–105. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Константин Геннадьевич Адушкин✉, аспирант, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург

e-mail: 79126251270@yandex.ru

Konstantin G. Adushkin✉, Postgraduate Student, Ural Federal University, Yekaterinburg

e-mail: 79126251270@yandex.ru

Марат Мансурович Айзатуллин, аспирант, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань

e-mail: msagkh@tatar.ru

Marat M. Aizatullin, Postgraduate Student, Kazan State Power Engineering University, Kazan

e-mail: msagkh@tatar.ru

Михаил Иванович Ведяков, студент, НИУ МГСУ; инженер, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: vedyakov.misha@yandex.ru

Mikhail I. Vedyakov, Student, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University); Engineer, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: vedyakov.misha@yandex.ru

Никита Игоревич Фомин, канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург

e-mail: ni.fomin@urfu.ru

Nikita I. Fomin, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Ural Federal University, Yekaterinburg

e-mail: ni.fomin@urfu.ru

Линар Салихзанович Сабитов, д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология и организация строительного производства», НИУ МГСУ, Москва

e-mail: SabitovLS@mgsu.ru

Linar S. Sabitov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Department of Technology and Organization of Construction Production, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow

e-mail: SabitovLS@mgsu.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-20-43](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-20-43)
УДК 624.042.7; 624.01; 550.34

EDN: VKMPIK

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ ЗДАНИЙ: ЭМПИРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И УРОКИ РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ XXI ВЕКА

И.Р. ГИЗЯТУЛЛИН✉

А.И. ФАТТАХОВА, канд. техн. наук

И.А. ПЕТРОСЯН

Т.Е. БУТИКОВА

Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В.А. Кучеренко,
АО «НИЦ «Строительство», ул. 2-я Институтская, д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Повышение надежности и механической безопасности зданий в сейсмоопасных регионах является одной из приоритетных задач современного строительства. Наиболее перспективным направлением в обеспечении сейсмостойкости зданий признано применение систем сейсмоизоляции, обеспечивающих снижение сейсмических нагрузок на конструктивную систему здания. В статье рассматривается проблема и подчеркивается актуальность исследования поведения зданий и сооружений с системами сейсмоизоляции в условиях реальных сейсмических воздействий, а также оценка их технического состояния после сейсмических событий.

Материалы и методы. В статье представлен обзор и критический анализ результатов оценки последствий разрушительных землетрясений, касающихся поведения сейсмоизолированных зданий и эффективности систем сейсмоизоляции. Особое внимание уделено последствиям разрушительных землетрясений, произошедших в Чили (2010), Новой Зеландии (2010), Японии (2011 и 2016), а также в Турции (2023), где наличие или отсутствие систем сейсмоизоляции существенно повлияло на сохранность зданий и сооружений критически важной инфраструктуры.

Результаты. Установлено, что системы сейсмоизоляции позволяют существенно снизить инерционные сейсмические нагрузки, обеспечивая работоспособность зданий даже при воздействиях, превышающих проектные уровни. Все современные сейсмоизолированные здания, рассмотренные в настоящей работе, выдержали сейсмические воздействия, в том числе сверхнормативные, без потери функциональности и эксплуатационной пригодности. Исключением стал случай в Турции, где зафиксированы повреждения сейсмоизолированного здания, вызванные нарушениями технологии и ошибками, допущенными на стадии строительства.

Выводы. Результаты исследования свидетельствуют о высокой эффективности современных систем сейсмоизоляции в обеспечении надежности и механической безопасности зданий при сейсмических воздействиях. Основные преимущества применения систем сейсмоизоляции включают снижение повреждаемости несущих и ограждающих конструкций, сохранение функциональности и эксплуатационной пригодности зданий во время и после сейсмического воздействия, что особенно важно для критически важной инфраструктуры. При этом отмечается важность надлежащего проектирования, строительства и технического обслуживания сейсмоизолированных зданий.

Ключевые слова: землетрясения, сейсмические воздействия, динамический мониторинг, сейсмическая изоляция, система сейсмоизоляции, резинометаллические опоры, динамический отклик, демпфер, сейсмостойкость

Для цитирования: Гизятуллин И.Р., Фаттахова А.И., Петросян И.А., Бутикова Т.Е. Практическая эффективность систем сейсмоизоляции зданий: эмпирические данные и уроки разрушительных землетрясений XXI века. *Вестник НИЦ Строительство*. 2025;45(2):20–43. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-20-43](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-20-43)

Вклад авторов

Гизятуллин И.Р. – основная идея, поиск и анализ информации по теме исследования, систематизация полученных результатов, научное редактирование текста статьи.

Фаттахова А.И. – поиск и анализ информации по теме исследования, написание текста статьи.

Петросян И.А., Бутикова Т.Е. – поиск и анализ информации по теме исследования.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 02.04.2025

Поступила после рецензирования 03.06.2025

Принята к публикации 05.06.2025

PRACTICAL EFFICIENCY OF SEISMIC BASE ISOLATION SYSTEMS FOR BUILDINGS: EMPIRICAL DATA AND LESSONS FROM DESTRUCTIVE EARTHQUAKES OF THE 21ST CENTURY

I.R. GIZIATULLIN✉

A.I. FATTAKHOVA, Cand. Sci. (Engineering)

I.A. PETROSYAN

T.E. BUTIKOVA

Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract

Introduction. Improving the reliability and mechanical safety of buildings in seismically hazardous regions is one of the priority tasks of contemporary construction. The most promising direction in ensuring seismic resistance of buildings is recognized as seismic base isolation systems reducing seismic loads on the building structure. The present article examines the problem and emphasizes the relevance of studying the behavior of buildings and structures with seismic base isolation systems under real seismic impacts, as well as provides the assessment of their technical condition after seismic events.

Materials and methods. The presented results of assessing the consequences of destructive earthquakes are analyzed for the behavior of base-isolated buildings and effectiveness of seismic base isolation systems. Particular attention is paid to the consequences of devastating earthquakes that occurred in Chile (2010), New Zealand (2010), Japan (2011 and 2016), and Turkey (2023), when the presence or absence of seismic base isolation systems significantly affected the safety of critical buildings and structures.

Results. Seismic base isolation systems can significantly reduce inertial seismic loads, thus ensuring the operability of buildings even under impacts exceeding design levels. All contemporary base-isolated

buildings considered in this paper withstood seismic impacts, including those above the limits, without loss of functionality and operational suitability. An exception was the case in Turkey, where the recorded damage to a base-isolated building was caused by violations of technology and errors made at the construction stage.

Conclusions. The results of the study indicate a high efficiency of contemporary seismic base isolation systems for ensuring the reliability and mechanical safety of buildings under seismic impacts. The main advantages of using seismic base isolation systems include the reduced damage to load-bearing and enclosing structures and maintained functionality and serviceability of buildings during and after seismic impacts, which is especially considerable for critical infrastructure. The importance of proper design, construction, and maintenance of base-isolated buildings is noted.

Keywords: earthquakes, seismic impacts, dynamic monitoring, seismic base isolation, seismic base isolation system, rubber-metal supports, dynamic response, damper, seismic resistance

For citation: Giziatullin I.R., Fattakhova A.I., Petrosyan I.A., Butikova T.E. Practical efficiency of seismic base isolation systems for buildings: empirical data and lessons from destructive earthquakes of the 21st century. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2025;45(2):20–43. [In Russian]. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-20-43](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-20-43)

Authors contribution statement

Giziatullin I.R. – main idea, search and analysis of information on the research topic, systematization of the obtained results, scientific editing of the article text.

Fattakhova A.I. – search and analysis of information on the research topic, writing the article text.

Petrosyan I.A., Butikova T.E. – search and analysis of information on the research topic.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 02.04.2025

Revised 03.06.2025

Accepted 05.06.2025

Введение

Землетрясение – это не только разрушительное природное явление, приносящее страдания и потери для сотен и тысяч людей. В инженерно-научном контексте оно представляет собой уникальный и, пожалуй, наиболее достоверный натурный эксперимент, не ограниченный предпосылками и упрощениями, характерными для лабораторных испытаний или численного моделирования. Землетрясения предоставляют ценные эмпирические данные о реальном сейсмическом поведении зданий и инженерных сооружений, позволяя объективно оценивать их сейсмостойкость, выявлять уязвимости и совершенствовать подходы к их проектированию. Это обстоятельство делает каждое землетрясение источником обширной информации, необходимой для развития науки о сейсмостойкости.

К сожалению, на современном этапе развития науки и технологий предотвратить землетрясения или обеспечить их надежное краткосрочное прогнозирование все еще невозможно. В связи с этим основным и наиболее эффективным средством снижения риска сейсмических катастроф остается обеспечение высокой сейсмостойкости зданий и сооружений.

Это предполагает разработку и внедрение инженерных решений, способных обеспечить безопасность людей и устойчивость конструкций зданий и сооружений при воздействии разрушительных землетрясений. Одним из таких решений является применение систем сейсмоизоляции зданий и сооружений.

Процесс становления направления сейсмоизоляции зданий в научно-технической проблеме сейсмостойкости происходил в течение длительного времени и долгое время сдерживался отсутствием данных о поведении таких систем при сильных землетрясениях. Существенный поворот произошел после землетрясения в Нортридже (США) в 1994 году, когда были впервые получены достоверные сейсмометрические записи динамической реакции сейсмоизолированных зданий, возведенных с применением резинометаллических опор (РМО), подтверждающие значительное снижение сейсмических нагрузок по сравнению с традиционными решениями. Еще более значимый массив данных был получен во время землетрясения в Кобе (Япония) в 1995 году. Это событие стало первым в истории примером масштабного документированного наблюдения за поведением сейсмоизолированных зданий и сооружений в условиях сильного сейсмического воздействия. Наряду с инструментальными измерениями были зафиксированы и субъективные оценки со стороны местных жителей, находившихся в зданиях во время землетрясения, что дополнительно подтвердило эффективность данной технологии.

С накоплением эмпирических данных об эффективности систем сейсмоизоляции количество зданий, возводимых с их применением, за последние три десятилетия значительно возросло. Сейсмоизоляция становится наиболее востребованной технологией обеспечения сейсмостойкости, особенно для зданий, к которым предъявляются повышенные требования по обеспечению надежности, механической безопасности и эксплуатационной пригодности во время и после землетрясений расчетной интенсивности, например дошкольные, общеобразовательные и медицинские учреждения, многоэтажные и высотные здания, здания с ценным оборудованием и т. д. В современных условиях, когда растет плотность застройки и повышаются требования к безопасности городской инфраструктуры, значение систем сейсмоизоляции приобретает особую актуальность. Сопоставление экспериментальных данных, полученных в результате реальных землетрясений, с теоретическими моделями и подходами к расчетному анализу сейсмоизолированных зданий и сооружений имеет важное значение для более широкого внедрения систем сейсмоизоляции в строительную практику, особенно в регионах с высокой сейсмической активностью.

В настоящей статье рассматриваются особенности динамического поведения зданий с системами сейсмоизоляции во время наиболее разрушительных землетрясений XXI века. Представленные данные позволяют обоснованно судить об эффективности технологии и ее потенциале для широкого применения в сейсмоопасных регионах.

Материалы и методы

Настоящее исследование представляет собой обзор и критический анализ результатов оценки последствий разрушительных землетрясений, касающихся поведения сейсмоизолированных зданий и эффективности систем сейсмоизоляции. Методология исследования включала систематизацию и структурирование информации, сравнительный анализ особенностей динамического поведения зданий с системами сейсмоизоляции во время

разрушительных землетрясений, а также теоретическое обобщение эмпирических данных с выделением ключевых факторов, влияющих на эффективность систем сейсмоизоляции. Особое внимание уделено последствиям разрушительных землетрясений, произошедших в Чили (2010), Новой Зеландии (2010), Японии (2011 и 2016), а также в Турции (2023), где наличие или отсутствие систем сейсмоизоляции существенно повлияло на сохранность зданий и сооружений критически важной инфраструктуры.

Результаты исследования

За последние десятилетия человечество неоднократно сталкивалось с разрушительными землетрясениями, которые не только унесли десятки тысяч жизней, но и продемонстрировали уязвимость даже современных конструктивных решений. Анализ последствий таких сейсмических событий играет ключевую роль в совершенствовании нормативных требований, подходов к расчету конструкций и внедрению инновационных технологий сейсмозащиты, таких как системы сейсмоизоляции. Особенно показательные с этой точки зрения землетрясения, произошедшие в Чили (2010), Новой Зеландии (2010), Японии (2011 и 2016), а также в Турции (2023). В табл. 1 приведены основные параметры указанных землетрясений.

Таблица 1
Основные параметры крупных разрушительных землетрясений XXI века

Table 1
Main parameters of large destructive earthquakes of the 21st century

№	Дата	Регион/ страна	Магнитуда	Глубина очага, км	Тип тектонического механизма	Погибших (оценочно), человек	Основные последствия
1	27.02.2010	Мауле, Чили	8,8	~35	Субдукция (океаническая плита)	≈525	Массовые разрушения в центральной части страны, цунами, повреждено >370 тыс. зданий
2	04.09.2010	Крайстчерч, Новая Зеландия	7,1	~11	Сдвиговое (разлом)	0	Разрушения в городской застройке, повреждена инфраструктура
3	11.03.2011	Тохоку, Япония	9,1	~32	Субдукция (океаническая плита)	~20 000	Цунами до 40 м, авария на АЭС Фукусима, более 400 000 зданий разрушено
4	16.04.2016	Кумамото, Япония	7,3	~11	Внутри- континентальное сдвиговое	>50	Серия толчков, разрушены мосты, дома, более 180 тыс. человек эвакуированы
5	06.02.2023	Турция и Сирия	7,8 и 7,5	~17	Сдвиговое (Анатолийский разлом)	>50 000	Обрушение или сильные по- вреждения более 160 000 зда- ний, гуманитарная катастрофа в приграничных регионах

Далее приведены результаты оценки поведения сейсмоизолированных зданий при рассмат-
риваемых разрушительных землетрясениях.

Поведение сейсмоизолированных зданий при землетрясении в Мауле, Чили (2010)

Землетрясение в Чили (2010) – одно из крупнейших за последние полвека, произошедшее 27 февраля вблизи побережья Чили. Очаг землетрясения находился на глубине 35 километров, в 90 километрах от столицы Био-Био Консепсьон. Регионы Био-Био и Мауле пострадали больше всего. По имеющимся данным, эпицентр землетрясения располагался в 150 километрах к юго-западу от столицы страны – Сантьяго [1].

В Университете Чили совместно с компанией Sarrazin & Moroni в 1992 году была разработана недорогая система сейсмоизоляции здания, которая в последующем была апробирована в проекте жилого комплекса в Андалусии, состоявшего из одного сейсмоизолированного здания и двух зданий без сейсмоизоляции. Для определения эффективности системы сейсмоизоляции здание было оборудовано станцией динамического мониторинга.

Рассматриваемый объект представляет собой 4-этажное здание габаритными размерами в плане 10×6 м, с интегрированной системой сейсмоизоляции в виде 8 резиновых опорных частей диаметром 31,5 см и высотой 32 см (рис. 1). Сейсмоизолирующие опоры выдерживают вертикальную нагрузку в 350 кН при горизонтальном смещении в 200 мм (100 %-ная деформация) [2].

Несмотря на магнитуду $M_w = 8,8$, землетрясение не причинило никакого ущерба сейсмоизолированному зданию или его содержимому. Наибольшие ускорения на уровне грунта основания здания составили $0,30g$ и $0,18g$ в горизонтальном и вертикальном направлениях

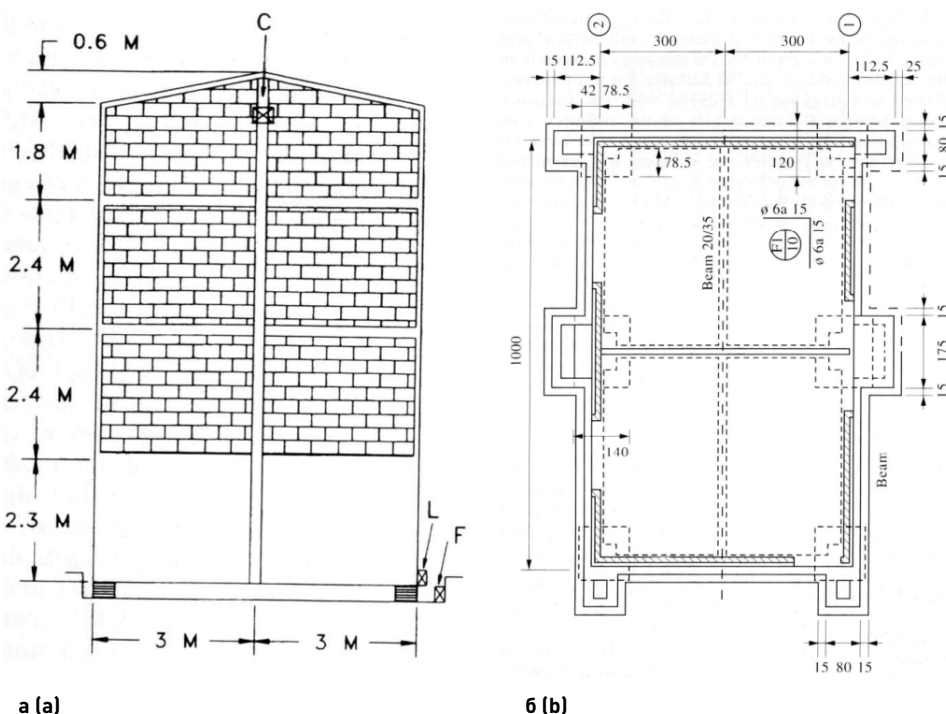


Рис. 1. Жилое сейсмоизолированное здание в Андалусии: а – поперечный разрез; б – габариты в плане [2]
Fig. 1. Residential base-isolated building in Andalusia: a – cross-section; b – dimensions in plan [2]

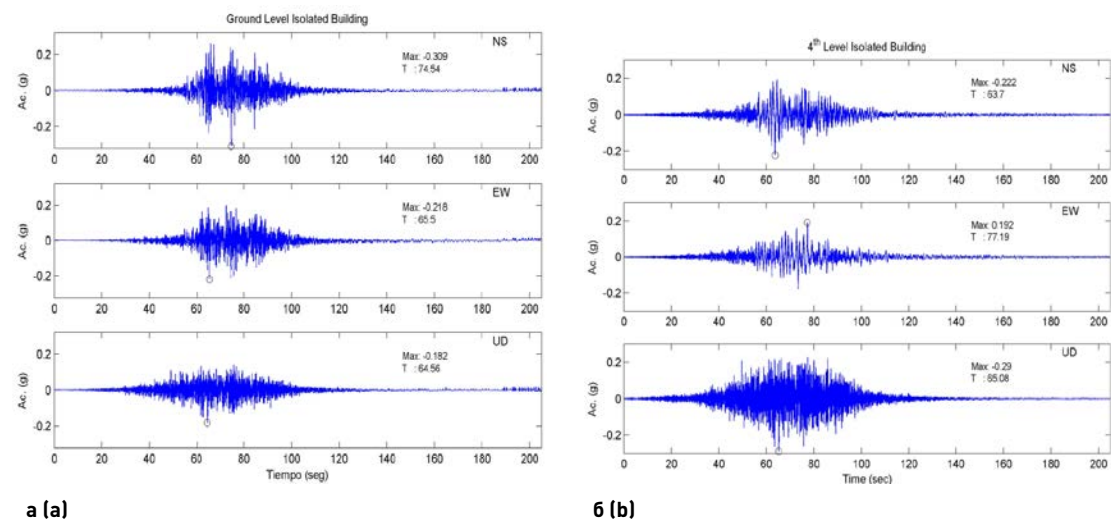


Рис. 2. Записи ускорений колебания сейсмоизолированного здания в Андалусии: а – на уровне грунта; б – на уровне 4-го этажа [1]
Fig. 2. Acceleration records for a base-isolated building in Andalusia: a – ground level; b – 4th floor level [1]

соответственно (рис. 2). Максимальное горизонтальное ускорение, зарегистрированное внутри сейсмоизолированного здания, составило 0,22g. В вертикальном направлении наблюдалось усиление ускорений, поскольку максимальное ускорение, зарегистрированное на уровне верха здания, составило 0,29g.

Для анализа динамических параметров сейсмоизолированного здания были выбраны три временных интервала, каждый продолжительностью 8 секунд. Этот подход позволяет идентифицировать изменения динамических параметров здания между выбранными временными интервалами. В табл. 2 показаны изменения резонансных частот и коэффициентов демпфирования здания, идентифицированные для каждого рассматриваемого временного интервала. По данным табл. 2 можно заметить, что резонансные частоты сильно зависят и изменяются в зависимости от амплитуды воздействия.

Таблица 2

Идентифицированные динамические параметры сейсмоизолированного здания в Андалусии во время основного землетрясения [1]

Table 2

Identified dynamic parameters of a base-isolated building in Andalusia during the major earthquake [1]

Модальные частоты, Гц			Модальные коэффициенты демпфирования, %		
30–38 с	70–78 с	110–118 с	30–38 с	70–78 с	110–118 с
1,86	0,62	1,89	2,7	23,7	22,3
2,23	0,78	2,00	12,7	41,8	–
2,99	2,34	3,06	17,9	50,5	19,9
14,11	16,42	18,63	3,9	3,0	2,3

Таблица 3

**Идентифицированные динамические параметры сейсмоизолированного здания
 в Андалусии во время афтершока 11 марта [1]**

Table 3

**Identified dynamic parameters of a base-isolated building in Andalusia during the aftershock
 of March 11 [1]**

Модальные частоты, Гц			Модальные коэффициенты демпфирования, %		
20–30 с	40–50 с	60–70 с	20–30 с	40–50 с	60–70 с
2,34	1,51	2,07	21,6	16,6	22,6
2,62	1,65	2,12	24,1	14,3	30,9
18,26	14,05	10,54	4,1	17,0	2,1

После основного землетрясения 11 марта произошел один из сильнейших афтершоков. Наибольшее ускорение в уровне грунта основания здания достигало в горизонтальной плоскости 0,03g в обоих направлениях. В вертикальном направлении максимальное зарегистрированное ускорение в уровне грунта основания здания составило 0,02g. Общая продолжительность землетрясения составила около 60 секунд. Фаза сильных колебаний длилась более 20 секунд в интервале от 30 до 50 секунд.

Из процесса анализа поведения и идентификации динамических параметров здания можно заметить, что первые две резонансные частоты связаны с системой сейсмоизоляции (табл. 3). Об этом свидетельствует уменьшение резонансных частот ниже 2 Гц во втором временном интервале по сравнению с соответствующими двумя частотами первого временного интервала. Самые высокие коэффициенты демпфирования системы наблюдаются в начале и конце записи, в первом и третьем временных интервалах, достигая значений, превышающих 20 % критического демпфирования. Важно отметить, что снижение резонансных частот во время сильных колебаний показывает, что система сейсмоизоляции эффективно воздействует на конструктивную систему здания, повышая ее гибкость.

Землетрясение 2010 года стало поворотным моментом в сейсмостойком строительстве в Чили. После этого землетрясения интерес к системам сейсмоизоляции в Чили значительно возрос. До данного землетрясения лишь несколько объектов предусматривали системы сейсмоизоляции, включая две крупные больницы, мосты и жилые здания. При этом в городах Талька, Курико и Каукенес разрушились больницы, в общей сложности пострадало 130 больниц, что составляет 71 % от всех государственных больниц Чили [3]. Многие мосты без систем сейсмоизоляции получили повреждения, например каменный арочный мост XIX века через Рио-Кларо (рис. 3). Всего было повреждено около 300 мостов.

После землетрясений в Мауле необходимость использования систем сейсмоизоляции стала обязательной как для больниц, так и для мостов. Жилые комплексы, центры обработки данных, высокотехнологичные лаборатории и офисные здания также преимущественно возводились с применением систем сейсмоизоляции (рис. 4).

Системы сейсмоизоляции на сегодняшний день хорошо зарекомендовали себя в Чили и нашли широкое применение. В 2014 и 2015 годах в Чили произошли два землетрясения магнитудой Mw более 8,0, которые стали еще одним напоминанием о высокой сейсмической активности в регионе. Опыт эксплуатации сейсмоизолированных зданий убедительно продемонстрировал целесообразность использования таких систем не только в малоэтажных



a (a)



б (b)

Рис. 3. Общий вид моста Рио-Кларо: *a* – после землетрясения; *б* – на этапе восстановления с применением систем сейсмоизоляции [3]

Fig. 3. General view of the Rio Claro Bridge: *a* – after the earthquake; *b* – at the stage of restoration using seismic base isolation systems [3]



a (a)



б (b)

Рис. 4. Примеры объектов в Чили, возводимых с применением систем сейсмоизоляции: *a* – жилой комплекс в коммуне Нюньоа; *б* – центр обработки данных Claro [3]

Fig. 4. Buildings constructed in Chile using seismic base isolation systems: *a* – residential complex in the Nuñoa commune; *b* – Claro data center [3]

зданиях, но и в зданиях средней этажности и многоэтажных зданиях, несмотря на прежние сомнения со стороны профессионального сообщества. Результаты исследований показали, что внедрение систем сейсмоизоляции существенно повышает надежность и механическую безопасность зданий, снижает вероятность повреждения и экономических потерь во время и после сильных землетрясений.

Поведение сейсмоизолированных зданий при Кентерберийском землетрясении, Новая Зеландия (2010)

Землетрясение магнитудой $M_w = 7,1$, произошедшее 4 сентября 2010 года в регионе Кентерберии на Южном острове Новой Зеландии, известно как «Крайстчерчское» или «Дарфилдское». По шкале Меркалли интенсивность землетрясения оценивалась в 10 баллов, эпицентр находился в 40 км западнее Крайстчерча, около городка Дарфилд, гипоцентр находился на глубине 11 км. Сильные афтершоки продолжались и в 2011 году: сильнейший из них, магнитудой $M_w = 6,3$, произошел 22 февраля 2011 года и ощущался от Инверкаргилла до Веллингтона. В результате землетрясения 2010 года пострадали более 100 человек, двое получили тяжелые травмы. Повреждения получили свыше половины зданий Крайстчерча и окрестностей. Общий экономический ущерб от землетрясения оценивался в 40 миллиардов новозеландских долларов [4].

Все медицинские учреждения региона, включая отделение неотложной помощи госпиталя Крайстчерча, сохраняли работоспособность как во время основного землетрясения, так и после него. Женская больница, введенная в эксплуатацию в 2005 году, до сих пор остается единственным сейсмоизолированным зданием на Южном острове [5]. Здание размерами 76×32 м в плане и высотой 33 м включает девять уровней, включая подвальный этаж, в котором расположена система сейсмоизоляции. Система сейсмической изоляции здания предусмотрена из 41 резинометаллической опоры со свинцовым сердечником (размером $830 \times 830 \times 275$ мм), изготовленной из натурального каучука. Система сейсмоизоляции рассчитана на максимальные перемещения в диапазоне ± 420 мм. Общий вид здания приведен на рис. 5.

Данные динамического мониторинга и результаты численных расчетов здания женской больницы Крайстчерча позволили проанализировать работу системы сейсмоизоляции здания во время Кентерберийского землетрясения. Максимальные смещения сейсмоизолирующих опор составили в диапазоне 80–100 мм, при этом остаточное смещение в северном направлении достигало примерно 25 мм (рис. 6) [6].

Сравнение ускорений и смещений между результатами численных расчетов и натурными данными показывает соответствие значений жесткости сейсмоизолирующих опор, примерно



Рис. 5. Общий вид здания женской больницы Крайстчерча [5]
Fig. 5. General view of the Christchurch Women's Hospital building [5]



Рис. 6. Остаточное смещение резинометаллической сейсмоизолирующей опоры в осях «F»–«3» [6]
Fig. 6. Residual displacement of the rubber-metal seismic base isolation support in *F*–3 axes [6]

в два раза превышающих значения, принятые в проекте и полученные в рамках испытаний. Однако предварительное упрощенное численное моделирование реакции здания женской больницы Крайстчерча на рассматриваемое землетрясение 4 сентября 2010 года показывает, что перемещения резинометаллических опор могли превысить их предел текучести [4].

Инспекции после землетрясения выявили незначительные повреждения только в несущих конструкциях перегородок и инженерных коммуникациях. Так были обнаружены повреждения водопроводных труб в зоне пересечения сейсмоизолирующего шва, выполненных без необходимых гибких соединений, позволяющих компенсировать значительные перемещения в уровне сейсмоизолирующего шва, а также трещины в гипсокартонных обшивках каркасно-обшивных перегородок [7]. Несмотря на большую магнитуду землетрясения, повреждения зданий и сооружений и причиненный экономический ущерб были относительно минимальными.

Поведение сейсмоизолированных зданий при землетрясении Тохоку, Япония (2011)

Великое восточно-японское землетрясение, произошедшее в 2011 году у восточного побережья острова Хонсю в Японии, магнитудой $M_w = 9,1$, является одним из сильнейших и крупнейших в мире. Эпицентр землетрясения был восточнее острова Хонсю, в 130 км к востоку от города Сендай и в 373 км к северо-востоку от Токио. Гипоцентр наиболее разрушительного подземного толчка находился на расстоянии около 70 км от ближайшей точки побережья Японии на глубине 32 км [8].

В табл. 4 приведен краткий список сейсмоизолированных зданий, оснащенных системой динамического мониторинга, с максимальными параметрами их колебаний при рассматриваемом землетрясении [9].

Таблица 4

**Результаты измерений колебаний сейсмоизолированных зданий во время землетрясения
Тохоку 2011 года [9]**

Table 4

Vibration data for base-isolated buildings during the Tohoku earthquake in 2011 [9]

Префектура	Тип здания	Этажность	Система изоляции	Макс. ускорение, см/с ²			Макс. смещение сейсмоизолирующего слоя, см
				Основание	1-й этаж	Верхний этаж	
Аомори	Офис	10	LRB	104	122	123	2
Ивате	Больница	6	NRB+ +LRB+SLB+SD	305	83	183	9
Мияги	Жилой дом	2	SLB	508	185	–	26
	Офис	5	HDR	345	177	224	11
	Офис	6	DR	381	200	209	18
	Офис	9	HDR+OIL	289	121	142	18
	Офис	18	NRB+SLB	311	173	194	23
Фукусима	Офис	2	NRB+ +LRB+SLB+OIL	756	213	155	24
	Офис	3	LRB+SLB+OIL	411	184	154	–
Ибараки	Исследовательская лаборатория	3	NRB+SD+LD	296	–	121	6
	Исследовательская лаборатория	5	NRB+LD	305	238	203	19
	Офис	7	NRB+LRB+SD	327	92	126	6
	Многоквартирный дом	21	NRB+SD+LD	402	185	181	15
Тиба	Многоквартирный дом	4	LRB	170	101	107	3
	Многоквартирный дом	4	HDR	169	149	139	5
	Офис	8	NRB+HDR	219	97,5	137	5
	Исследовательская лаборатория	2	NRB+SD	143	113	120	4
	Многоквартирный дом	3	NRB+OIL	90	54	90	5
	Музей	4	DR	100	76	104	4
	Офис	4	NRB+SLB	95	75	75	3
Токио	Исследовательская лаборатория	6	LRB	132	69	72	9
	Офис	11	NRB+LRB+OIL	104	55	94	5
	Многоквартирный дом	12	NRB+LRB	100	53	61	7
	Школа	26	NRB+OIL	98	29	46	9
	Многоквартирный дом	36	NRB+LRB	129	100	116	15
	Школа	7	HDR	147	51	99	7
Канагава	Школа	7	NRB+OIL	71	54	57	12

Примечание: NRB (Natural Rubber Bearing) – резинометаллическая опора из натурального каучука; HDR (High Damping Rubber Bearing) – резинометаллическая опора с высоким демпфированием; LRB (Lead Rubber Bearing) – резинометаллическая опора со свинцовым сердечником; SLB (Sliding Bearing) – скользящая опора; OIL (Oil Damper) – масляный (гидравлический) демпфер; SD (Steel Damper) – стальной демпфер; LD (Lead Damper) – свинцовый демпфер.

Анализ применения различных систем сейсмоизоляции в сейсмоопасных регионах, представленных в табл. 4, показал, что использование комбинаций различных видов сейсмоизолирующих опор и различных видов демпферов позволяет эффективно снижать воздействие сейсмических нагрузок на здания. Разнообразие систем сейсмоизоляции, применяемых в разных префектурах Японии, свидетельствует о высоком уровне индивидуализации решений в зависимости от конструктивных решений зданий и возможной интенсивности сейсмических воздействий на конкретной площадке.

Наибольшее использование получили комбинации из резинометаллических опор без и со свинцовым сердечником, а также скользящих опор, что подтверждает их эффективность в обеспечении сейсмостойкости зданий различного назначения, включая офисы, школы, исследовательские лаборатории и жилые дома. В то же время для многоэтажных и высотных зданий (например, в префектурах Мияги и Фукусима) часто применяются более сложные системы сейсмозащиты, включающие сочетания резинометаллических и скользящих опор и гидравлических демпферов, что позволяет обеспечить высокие показатели сейсмостойкости.

Максимальные значения ускорений и смещений сейсмоизолирующего слоя, приведенные в табл. 4, варьируются в зависимости от типа используемой системы сейсмоизоляции, этажности зданий и интенсивности сейсмических воздействий на площадке. Важно отметить, что увеличение этажности зданий вызывает более высокие значения ускорений и смещений сейсмоизолирующего слоя, что подтверждает необходимость учета этого фактора при проектировании. Для малоэтажных и среднеэтажных зданий применяются более простые системы сейсмоизоляции, что отражает специфику сейсмостойкого проектирования для этих объектов.

Таким образом, результаты анализа подтверждают важность выбора подходящей системы изоляции с учетом этажности здания, его назначения и локальных сейсмических условий на конкретной площадке строительства. Внедрение комплексных решений сейсмоизолирующих систем и дальнейшая оптимизация конструктивных решений играют ключевую роль в обеспечении сейсмостойкости современных зданий, возводимых в сейсмоопасных районах.

После Великого восточно-японского землетрясения 2011 года Японское общество по сейсмической изоляции (JSSI) провело обследование 327 сейсмоизолированных зданий [10]. Выяснилось, что сейсмоизолированные части зданий практически не получили повреждений. Это доказало эффективность примененных систем сейсмоизоляции, обеспечивших снижение сейсмических нагрузок на здание. С другой стороны, в некоторых элементах систем сейсмозащиты были зафиксированы различные повреждения, свидетельствующие о значительных нагрузках, воспринятых данными устройствами. Например, в свинцовых демпферах системы сейсмоизоляции было обнаружено множество трещин (рис. 7). Ослабленные болты, отслаивающаяся краска и остаточные деформации наблюдались у стальных демпферов (рис. 8а). Были обнаружены незначительные повреждения защитной панели антисейсмического шва между полом и изолированной частью здания (рис. 8б), однако они не повлияли на общую работоспособность систем сейсмоизоляции.

Таким образом, проведенное обследование позволило сделать вывод о высокой надежности и механической безопасности зданий с примененными системами сейсмоизоляции, а также указало на необходимость периодических инспекций и обслуживания элементов систем сейсмоизоляции после сильных сейсмических воздействий.

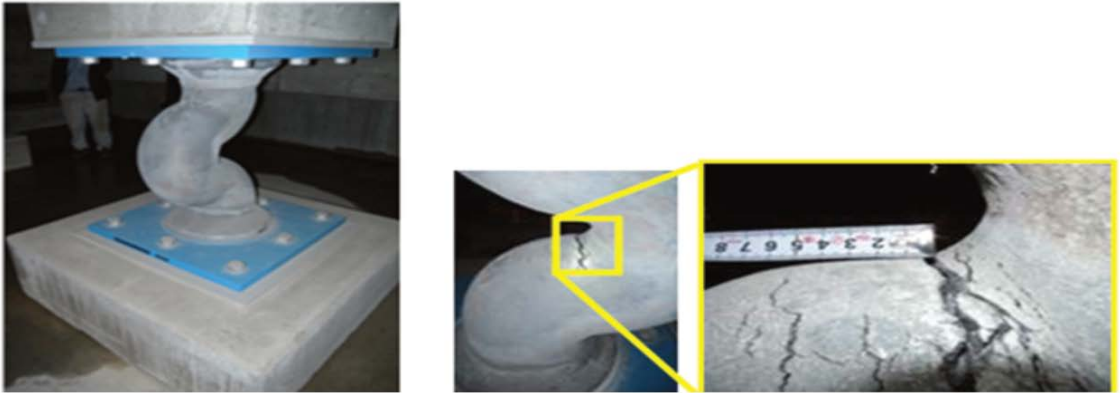


Рис. 7. Трещина на поверхности свинцового демпфера [11]
Fig. 7. Surface crack of the lead damper [11]



а (a)

б (b)

Рис. 8. Примеры обнаруженных повреждений: а – остаточная деформация U-образного стального демпфера; б – повреждение защитной ограждающей панели антисейсмического шва [12]

Fig. 8. Examples of detected damage: а – residual deformation of the U-shaped steel damper; б – damage to the protective cover panel of the seismic gap [12]

Поведение сейсмоизолированных зданий при землетрясении Кумамото, Япония (2016)

В районе префектуры Кумамото произошла серия разрушительных землетрясений: первое (магнитудой $M_w = 6,5$) произошло 14 апреля 2016 года, а второе, основное (магнитудой $M_w = 7,3$) 16 апреля 2016 года, с гипоцентром на глубине около 11 километров [13]. На момент этих сейсмических событий в префектуре эксплуатировались 24 здания различного функционального назначения, оснащенные системами сейсмоизоляции. В восьми из этих зданий были установлены специальные устройства – так называемые «скретч-пластины» (scratch plates), предназначенные для регистрации горизонтальных перемещений сейсмоизолирующего слоя здания. Эти устройства позволяют регистрировать перемещения сейсмоизолирующего слоя здания путем нанесения царапин на металлическую пластину.

В табл. 5 приведены максимальные амплитуды, зарегистрированные на скретч-пластинах зданий различного назначения префектуры Куамото.

На рис. 9 представлены общий вид скретч-пластины, предусмотренной в больнице города Машики, и амплитуды перемещений сейсмоизолирующего слоя, зарегистрированные скретч-пластиной.

Согласно данным сейсмографа, установленного в городе Машики, амплитуда сейсмического воздействия на грунте превысила предельные значения, регламентированные действующими стандартами [15]. В работе [16] отмечается, что здания, возведенные после 1981 года и относящиеся к категории «новых сейсмостойких зданий», получили минимальные повреждения. В то же время постройки более ранних лет испытали значительные повреждения и потребовали проведения серьезных восстановительных работ.

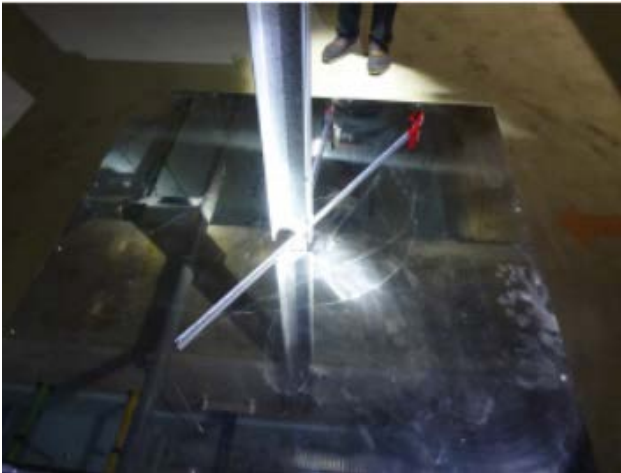
Таблица 5

Максимальные амплитуды, записанные на скретч-пластинах [13]

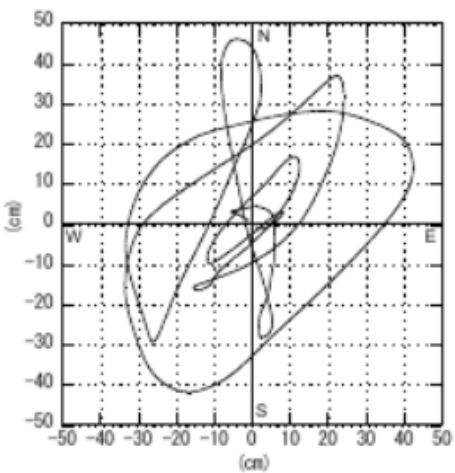
Table 5

Maximum amplitudes recorded on scratch plates [13]

Здание	Максимальный раз- мах амплитуды, см	Максимальный полу- размах амплитуды, см
Стационарное отделение больницы Куамото	60	38
Амбулаторное отделение больницы Куамото	72	41
Офисное здание в Куамото	74	40
Больница города Ямага	19	10
Офисное здание в городе Ямага	16	8
Склад в Кичигане	50	32,5
Больница города Асо	90	46



a (a)



б (b)

Рис. 9. Общий вид скретч-пластины, предусмотренной в больнице города Машики (a); амплитуды перемещений сейсмоизолирующего слоя, зарегистрированные скретч-пластиной (б) [13, 14]

Fig. 9. General view of the scratch plate in the Mashiki hospital (a); recorded displacement amplitudes of the seismic base isolation layer (b) [13, 14]

В ряде исследований также приведены данные обследований многоэтажных жилых зданий [17]. В частности, опрос жителей 15-этажного сейсмоизолированного железобетонного жилого дома в городе Кумамото, построенного в 1998 году, показал их удовлетворенность эксплуатационными характеристиками здания после землетрясения, а повседневная жизнь могла продолжаться в обычном режиме.

Еще одним наглядным примером является ситуация в городе Яцусиро, находящемся на значительном расстоянии от гипоцентра. Жители верхних этажей сейсмоизолированного многоквартирного жилого дома отмечали плавное раскачивание здания во время основного толчка, без падения мебели и каких-либо повреждений несущих и ограждающих конструкций сейсмоизолированной части здания. В то же время жильцы расположенного поблизости 10-этажного жилого здания без предусмотренных специальных систем сейсмозащиты были вынуждены эвакуироваться на улицу и ожидать завершения мероприятий по проверке безопасности здания после землетрясения.

В статье [13] отмечается наличие повреждений элементов ограждения антисейсмических швов здания в зоне устройства сейсмоизолирующего слоя (рис. 10). Причиной выявленных повреждений элементов ограждения антисейсмических швов стала не только превышающая расчетную величину сила сейсмического воздействия, но и недостаточное внимание проектировщиков к возможным относительным смещениям отдельных частей сейсмоизолированного здания в процессе землетрясения.



Рис. 10. Поврежденный элемент ограждения антисейсмического шва [13]

Fig. 10. Damaged element of the seismic gap cover [13]

Поведение сейсмоизолированных зданий при землетрясении в провинции Кахраманмараш, Турция (2023)

6 февраля 2023 года в южной части Центральной Турции и на северо-западе Сирии произошло мощное землетрясение магнитудой $M_w = 7,8$. Спустя примерно 9 часов в соседнем районе провинции Кахраманмараш было зафиксировано еще одно сильное землетрясение магнитудой $M_w = 7,5$. Расстояние между эпицентрами этих двух событий составило около 100 км. Данная серия землетрясений стала крупнейшей в Турции со времен разрушительного Эрзинджанского землетрясения 1939 года. Стихийное бедствие затронуло не менее 13,5 миллионов человек, что составляет примерно 16% населения Турции, и привело к разрушению или сильным повреждениям около 160 000 зданий [18].

Среди наиболее пострадавших объектов инфраструктуры провинций городов оказались медицинские учреждения. На рис. 11 показано расположение 12 обследованных зданий больниц, а также эпицентров землетрясений и станций регистрации сильных движений грунта в регионе [19, 20]. Каждое здание обозначено заглавной

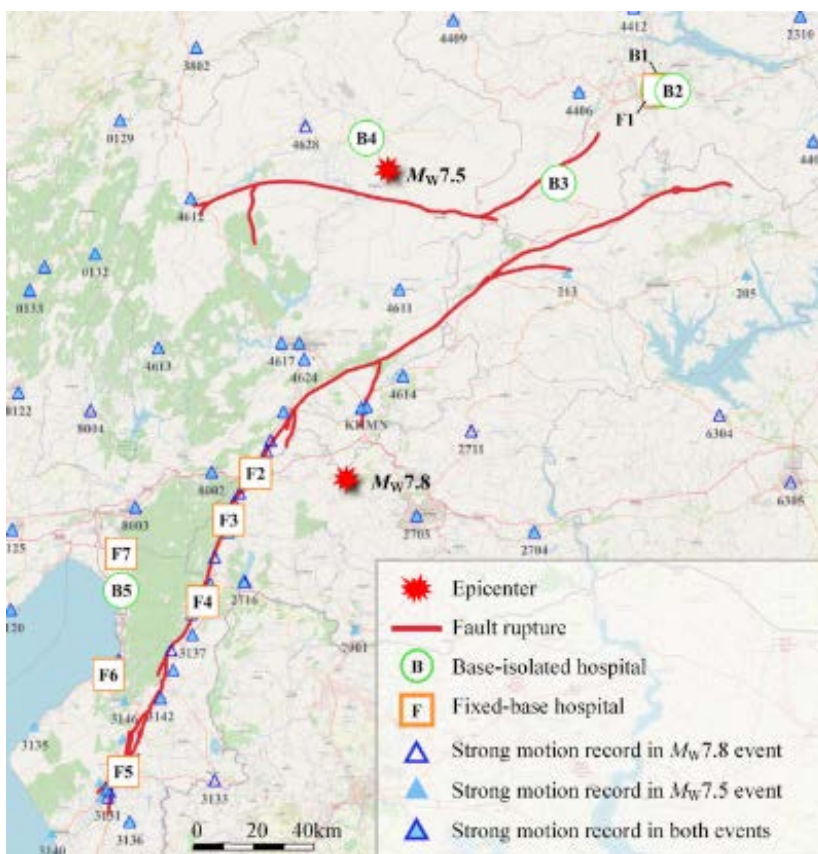


Рис. 11. Расположение зданий больниц и станций регистрации сильных движений грунта в регионе, пострадавшем от землетрясения 2023 года [19, 20]

Fig. 11. Location of hospital buildings and strong-motion recording stations in the region affected by the 2023 earthquake [19, 20]

буквой и номером: буква «В» указывает на наличие системы сейсмоизоляции, а «F» – на ее отсутствие.

Пять больниц, расположенных в северной части региона, испытали наибольшее воздействие от второго землетрясения магнитудой $M_w = 7,5$. В их числе – здания больниц B1, B2, B3 и F1, находящиеся в провинции Малатья, а также больница B4, расположенная в провинции Кахраман-мараш. Оставшиеся семь больниц, размещенные в юго-западной части пострадавшего региона, подверглись более сильному воздействию от первого землетрясения магнитудой $M_w = 7,8$. При этом здания F2 и F3 располагались на территории провинции Газиантеп, а остальные пять больниц – в провинции Хатай. Особенно следует отметить больницы F2, F3, F4 и F5, которые находились в пределах 2 км от линии поверхностного разрыва грунта. В частности, здание F3 было расположено всего в 50 метрах от зоны проявления разлома на поверхности [21].

В табл. 6 обобщена основная информация о 12 исследованных зданиях больниц. Все здания имеют не более 10 этажей.

За исключением больниц F6 и F7, большинство исследованных зданий были построены после 2001 года, когда в Турции были значительно обновлены и ужесточены требования

Таблица 6

Информация о больницах, подвергшихся воздействию землетрясения [21]

Table 6

Information on hospitals affected by the earthquake [21]

Наличие систем сейсмозащиты	Наименование	Кол-во этажей	Год возведения	Степень сохранности объекта	Расчетный период колебаний здания T_1 , с	Коэффициент, DR
Предусмотрены системы сейсмоизоляции	B1 – Больница Малатьи для беременных и детей	3; 7	2019	IO	2–3	2,06
	B2 – Государственная больница Батталгази	7	2020	IO	2–3	1,95
	B3 – Государственная больница Доганшехира	6	2019	OS	2–3	0,92
	B4 – Государственная больница Эльбистана	3; 9	2017	IO	2–3	0,81
	B5 – Государственная больница в Дертюле	3; 10	2021	IO	2–3	2,46
Отсутствуют системы сейсмоизоляции	F1 – Исследовательская больница в Малатье	3; 10	2013	OS	1,03	2,03
	F2 – Государственная больница Нургади	2	2003/2015	OS	0,31	1,59
	F3 – Государственная больница Ислахийе	4	2014	IO	0,52	1,62
	F4 – Государственная больница Хасса	3	2022	IO	0,42	2,05
	F5 – Исследовательская больница в Хатай	5; 8	2001/2013	NA	0,87	5,14
	F6 – Государственная больница Искендеруна	2; 6	1968	NA	0,70	1,55
	F7 – Эрзинская государственная больница	2	1994	NA	0,31	0,89

Примечание:

1. Степень сохранности объекта расшифровывается как: возможность бесперебойной эксплуатации (IO); эксплуатация здания приостановлена (OS) и отсутствие возможности эксплуатации (NA).
2. Коэффициент DR отражает, насколько фактическое сейсмическое воздействие при землетрясениях превысило проектные значения уровня DD2 по национальному стандарту для рассматриваемого здания.

к сейсмостойкому проектированию зданий и сооружений [22, 23]. Все пять зданий больниц с системами сейсмоизоляции введены в эксплуатацию после 2013 года, когда нормативные положения для таких объектов в сеймоопасных регионах стали еще более строгими [21, 24, 25].

На рис. 12а представлен график спектров реакции максимальных ускорений зарегистрированного землетрясения и нормативных сейсмических воздействий уровня DD1 и DD2 (в соответствии с национальным стандартом), отражающий превышение (коэффициент DR) уровня фактического сейсмического воздействия над принятым при проектировании рассматриваемых зданий больниц с системами сейсмоизоляции и без них. Эти значения также сопоставлены со степенями сохранности каждой больницы (рис. 12б), что позволяет приблизительно оценить то, насколько сильными были фактические сейсмические воздействия, испытанные зданиями в ходе двух последовательных землетрясений, по сравнению с учтенными в проекте.

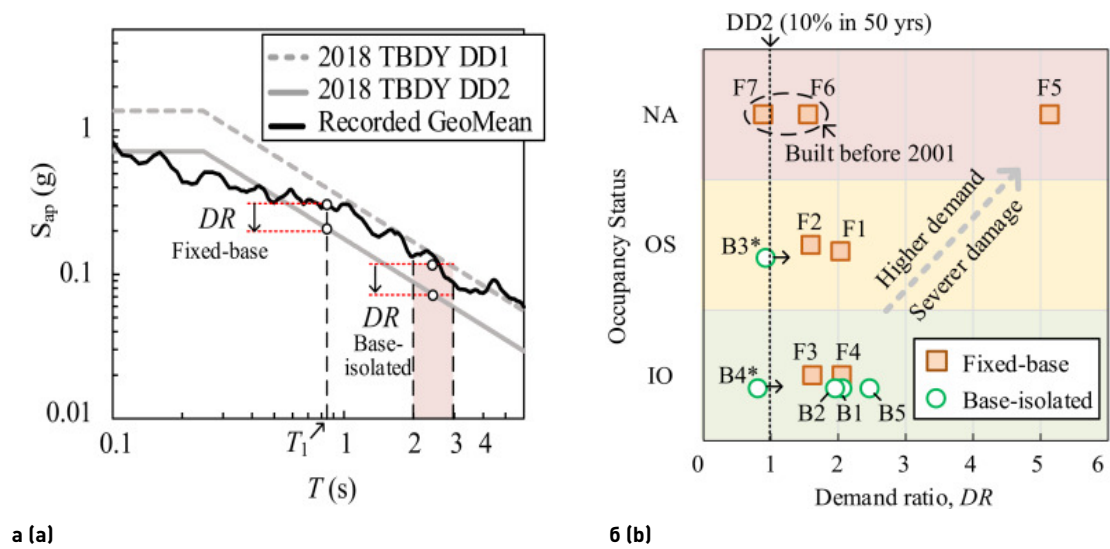


Рис. 12. Спектры реакции максимальных ускорений зарегистрированного землетрясения и нормативных сейсмических воздействий уровня DD1 и DD2 [а] [24]; взаимосвязь степени сохранности зданий после землетрясения и коэффициента DR для исследованных зданий больниц [б] [24]
Fig. 12. Ratios of DR coefficients to response spectra [a] [24]; relationship between the degree of building preservation after an earthquake and DR coefficients for the studied hospital buildings [b] [24]

По результатам рассмотрения рис. 12б можно сделать следующие выводы:

1. Для большинства исследованных зданий фактическое сейсмическое воздействие превысило проектный уровень землетрясения (DD2), регламентированный нормативными требованиями. Учитывая, что уровень DD1 (вероятность превышения 2% за 50 лет) примерно в два раза выше DD2, пять объектов испытали нагрузки, превосходящие даже максимально допустимые расчетные значения.
2. За исключением здания В3, большая часть зданий с системой сейсмоизоляции успешно обеспечила требуемый уровень функциональности сразу после землетрясения, несмотря на превышение проектного уровня воздействия.

Четыре из пяти зданий больниц с системами сейсмоизоляции расположены в северной части региона, пострадавшего от землетрясений. Повреждения зданий в этом районе в большей степени связаны с землетрясением магнитудой $M_w = 7,5$, а не с более ранним, хотя и более сильным событием магнитудой $M_w = 7,8$ [26].

Особого внимания заслуживает больничный комплекс в городе Малатья, включающий два корпуса: В1 – главное лечебное здание с системой сейсмоизоляции (построено в 2019 году), F1 – учебно-исследовательский корпус без систем сейсмоизоляции, соединенный с В1 крытым переходом. В корпусе В1 предусмотрено 246 фрикционных маятниковых опор с расчетной амплитудой перемещений ± 360 мм, установленных в подземном паркинге.

Несущие конструкции обоих корпусов серьезных повреждений не получили, однако степень разрушений ненесущих конструкций существенно различалась. В здании В1 повреждения ограничились зоной сейсмоизолирующего слоя: зафиксированы трещины в кирпичной кладке перегородок подземного паркинга, смещения металлических пластин в зоне антисейсмических швов сейсмоизолирующего слоя. Инженерные коммуникации,

проходящие через сейсмоизолирующий слой, остались невредимыми благодаря гибким соединениям. Самым значительным повреждением оказалось разрушение металлических накладок в зоне антисейсмического шва сейсмоизолирующего слоя между корпусом В1 и переходом [26]. Корпус F1 без систем сейсмоизоляции получил при этом более серьезные повреждения: обширные трещины в кладке, разрушение подвесных потолков, падение керамической плитки.

Примерно в 5 км к востоку от больницы в г. Малатъя находилось еще одно сейсмоизолированное здание больницы В2 (государственной больницы Батталгази). Оно было построено в 2020 году и имеет 7 надземных этажей. По данным обследования, в здании не было выявлено ни конструктивных, ни неконструктивных повреждений, и оно продолжило работу сразу после землетрясения. Также отсутствовали признаки остаточных деформаций сейсмоизолирующего слоя [27].

Здание В3 государственной больницы, расположенной в провинции Малатъя в небольшом городе Догансэхир, хоть и было построено в 2019 году, а также было оснащено системой сейсмоизоляции, получило значительные повреждения. Здание расположено примерно в 123 км от эпицентра землетрясения магнитудой $M_w = 7,8$ и в 57 км от землетрясения магнитудой $M_w = 7,5$. Изучение причин значительных повреждений показало, что при обратной засыпке котлована во время строительства сейсмоизолирующий слой был заблокирован и не включался в работу во время землетрясения. Таким образом, эффективность систем сейсмоизоляции зависит не только от их наличия, но и от качества реализации проектных решений и строительных работ. Произошедшие в феврале 2023 года землетрясения показали, что большинство сейсмоизолированных зданий выдержали сейсмические воздействия, превышающие расчетные значения, принятые при проектировании.

Заключение и обсуждение

Результаты исследований, представленные в данной статье, свидетельствуют о высокой эффективности современных систем сейсмоизоляции в обеспечении надежности и механической безопасности зданий при сейсмических воздействиях. Применение систем сейсмоизоляции позволяет существенно снизить уровень инерционных сейсмических нагрузок, передаваемых на сейсмоизолированную часть здания, тем самым снижая нагрузку на несущие и ограждающие конструкции, их повреждаемость, а также обеспечивая сохранность инженерного оборудования и внутреннего содержимого зданий.

Применение систем сейсмоизоляции позволяет значительно сократить объемы восстановительных работ и сопутствующие финансовые затраты после землетрясений. Это делает системы сейсмоизоляции не только технически эффективными, но и экономически целесообразными при долгосрочной эксплуатации зданий в сейсмоопасных районах.

Эмпирические данные по разрушительным землетрясениям XXI века подтверждают, что применение систем сейсмической изоляции зданий позволяет более чем в 2 раза снизить горизонтальные сейсмические нагрузки, в зависимости от характеристик сейсмического воздействия и конструктивных особенностей здания и системы сейсмоизоляции. Подобное снижение расчетных сейсмических нагрузок обеспечивает значительный экономический эффект при сохранении высокого уровня надежности и механической безопасности здания.

Эффективность применения систем сейсмоизоляции получила наглядное подтверждение в ходе последних разрушительных землетрясений, произошедших в Турции в 2023 году. Характерным примером служит больничный комплекс в городе Малатья, состоящий из двух корпусов, возведенных в различные годы. Новый корпус, оснащенный системой сейсмоизоляции, сохранил эксплуатационную пригодность и продолжил работу во время и после землетрясения, в то время как старое здание, не имеющее системы сейсмоизоляции, получило значительные повреждения, что привело к временному ограничению его в эксплуатации. Не менее показательным является случай с больницей в городе Догансэхир, где ненормативные повреждения сейсмоизолированного здания были обусловлены ошибками, допущенными в процессе строительства. Данный инцидент подчеркивает не только необходимость внедрения систем сейсмоизоляции, но и важность надлежащего проектирования, строительства и технического обслуживания зданий с их применением.

Проектирование сейсмоизолированных зданий и сооружений предъявляет повышенные требования к точности и обоснованности всех этапов инженерного анализа. Ключевое значение приобретает корректный выбор расчетных моделей сейсмического воздействия, включая спектральные характеристики, продолжительность колебаний грунта на площадке, а также сценарии возможных землетрясений. Во многих случаях интенсивность землетрясений оказывается фактически намного выше, чем расчетная интенсивность, определяемая в рамках проектирования объекта. Не менее важен научно обоснованный выбор математических моделей сейсмоизолирующих устройств, учитывающих их фактическое поведение при знакопеременных циклических нагрузках, а также применение адекватных численных методов расчета и инженерных методик упрощенного анализа, обеспечивающих достоверный расчет конструкций на сейсмические воздействия. Вследствие низкой жесткости сейсмоизолирующего слоя, горизонтальные перемещения конструктивной системы здания, расположенной выше систем сейсмоизоляции, могут при сильных землетрясениях достигать десятков сантиметров. Это обстоятельство делает критически важным контроль не только усилий в элементах конструктивной системы здания, но и предельных перемещений.

Широкое внедрение систем сейсмоизоляции должно сопровождаться обязательным научно-техническим сопровождением проектирования и строительства здания. Это позволяет минимизировать риски отступлений от нормативных требований и проектных параметров, гарантирует соблюдение технологии изготовления и монтажа сейсмоизолирующих устройств и, как следствие, обеспечивает требуемую эффективность системы сейсмозащиты, надежность и механическую безопасность здания в целом.

Для контроля безопасности и возможности использования зданий и сооружений необходимо регулярное техническое обслуживание и мониторинг состояния сейсмоизолирующих устройств. Система динамического мониторинга позволяет своевременно предупреждать возникновение чрезвычайных ситуаций, оценивать техническое состояние зданий и сооружений по изменению их динамических параметров в результате сейсмических воздействий, собирать и анализировать данные по поведению здания в условиях реальных сейсмических воздействий. При этом результаты динамического мониторинга позволяют оперативно принимать решение о механической безопасности здания на основе данных мониторинга, накопленных в прошлом, а не просто на основе поверхностной визуальной инспекции.

Применение систем сейсмоизоляции продемонстрировало высокую эффективность на ряде объектов различного назначения и конструктивного исполнения. Этот факт подтверждается данными сейсмометрических наблюдений, зафиксированными во время последних разрушительных землетрясений. Это свидетельствует о целесообразности более широкого внедрения сейсмоизолирующих систем, особенно в районах с повышенной сейсмической активностью.

Список литературы/References

1. Boroschek R., Retamales R., Aguilar A. Seismic response of isolated structures subjected to Mw 8.8 Chile earthquake of February 27, 2010. In: Proceedings the International Symposium for CISMID 25th Anniversary, Paper No. M-2, Peru; 2012. Available at: https://boroschek.com/wp-content/uploads/2013/01/2012_cismid-boroschek.pdf.
2. Moroni M., Sarrazin M., Boroschek R. Experiments on a base-isolated building in Santiago, Chile. Engineering Structures. 1998;20(8):720–725. [https://doi.org/10.1016/s0141-0296\(97\)00086-2](https://doi.org/10.1016/s0141-0296(97)00086-2).
3. Eriksen K.B., Mohammed M.S., Coria C.B. Seismic Isolation in North and South America. In: 2018 NZSEE Conference, New Zealand; 2018. Available at: https://dis-inc.com/pdf_files/DIS%20Seismic%20Isolation%20in%20North%20and%20South%20America.pdf.
4. Learning from Earthquakes. The Mw 7.1 Darfield (Canterbury), New Zealand Earthquake of September 4, 2010. EERI Special Earthquake Report – November 2010. Oakland: Earthquake Engineering Research Institute; 2010.
5. Ken Elwood (Group Leader), Roberto Leon, Arturo Schultz, Henri Gavin, Jose Restrepo, Amit Kanvinde, G. Kumar Venayagamoorthy with input from several New Zealand colleagues: D. Bull; D. Brunsdon; D. Hopkins; J. Ingham; W. Kam; S. Oliver; S. Pampanin; E. Seville. NZ Structures Group. Japan and NZ RAPID and Research Needs Workshop February 9 and 10, 2012.
6. Gavin H.P., Wilkinson G. Preliminary Observations of the 2010 Darfield Earthquake on the Base Isolated Christchurch Women's Hospital. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering. 2010;43(4):360–367. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.43.4.360-367>.
7. Kuang A., Sridhar A., Garven J., Gutschmidt S., Rodgers G.W., Chase J.G., Gavin H.P., Nigbor R.L., MacRae G.A. Christchurch Women's Hospital: Performance Analysis of the Base-Isolation System during the Series of Canterbury Earthquakes 2011–2012. Journal of Performance of Constructed Facilities. 2016;30(4). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0000846](https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0000846).
8. By Courtesy of Tohoku Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism.
9. Iba M., Kashima T., Morita K., Azuhata T., Inoue N., Tanuma T. Behavior of seismically isolated buildings based on observed motion records during the 2011 Great East Japan earthquake. In: 13th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures, commemorating JSSI 20th Anniversary, 24–27 September 2013. Sendai Japan; 2013.
10. Saito T. Behavior of response controlled and seismically isolated buildings during severe earthquakes in Japan. Energia, Ambiente e Innovazione [internet]. 2015;(5). Available at: <https://www.eai.enea.it/archivio/n-5-settembre-ottobre-2015/behavior-of-response-controlled-and-seismically-isolated-buildings-during-severe-earthquakes-in-japan.html>.
11. Strong Motion Records at Nuclear Power Plants in the CD-ROM provided by Japan Association for Earthquake Engineering, No.10, 2011.
12. Kashima T., Koyama S., Okawa I., Iba M. Strong Motion Records in Buildings from the 2011 Great East Japan Earthquake. In: Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE); 2012. Available at: https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_1768.pdf.
13. Takayama M., Morita K. Observed response of seismically isolated buildings during the 2016 Kumamoto earthquake. In: 17th U.S.-Japan-New Zealand Workshop on the Improvement of Structural Engineering and Resilience. New Zealand; 2018. Available at: <https://atcouncil.org/docman/atc-15-16-papers/193-p5-01-takayama/file>.

14. *Morita K., Takayama M.* Behavior of Seismically Isolated Buildings during the 2016 Kumamoto Earthquakes. Available at: <https://studyres.com/doc/14250162/behavior-of-seismically-isolated-buildings-during-the-2016>.
15. Strong Motion Seismograph Network (K-NET, KiK-net) [internet]. Available at: http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/docs/overview_kyoshin_index_en.html.
16. *Morita K., Takayama M.* Lessons learned from the 2016 Kumamoto earthquake: Building damages and behavior of seismically isolated buildings. AIP Conference Proceedings. 2017;1892(1):020007. <https://doi.org/10.1063/1.5005638>.
17. Condominium Management Companies Association [internet]. Available at: <http://www.kanrikyo.or.jp/news/data/160614kyusyu2.pdf>. (In Japanese).
18. AFAD. Disaster and emergency management authority [internet]. Available at: <https://deprem.afad.gov.tr/stations>.
19. *Qu Z., Wang F., Chen X., Wang X., Zhou Z.* Rapid report of seismic damage to hospitals in the 2023 Turkey earthquake sequences. Earthquake Research Advances. 2023;3(4):100234. <https://doi.org/10.1016/j.eqrea.2023.100234>.
20. The 2023 Kahramanmaraş, Turkey, earthquake sequence. USGS – Geologic Hazards Science Center and Collaborators [internet]. Available at: <https://earthquake.usgs.gov/storymap/index-turkey2023.html>.
21. *Erdik M., Tuzun C., Ulker O.* Evaluation of Seismic Isolation Applications of Health Care Facilities in turkey. In: Proceedings of the 14th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures San Diego (CA), USA; 2015.
22. *Akkar S., Azak T., Çan T., Çeken U., Demircioğlu Tümsa M.B., Duman T.Y., Erdik M., et al.* Evolution of seismic hazard Maps in Turkey. Bulletin of Earthquake Engineering. 2018;16(8):3197–3228. <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0349-1>.
23. Middle East Technical University. Preliminary Reconnaissance Report on February 6, 2023, Pazarcik Mw=7.7 and Elbistan Mw=7.6, Kahramanmaraş-Türkiye Earthquakes. Report NO: METU/EERC 2023-01. Earthquake Engineering Research Center; 2023. Available at: <https://avesis.tedu.edu.tr/yayin/06737146-9296-4ee9-9e8b-e47459a89d04/preliminary-reconnaissance-report-on-february-6-2023-kahramanmaras-pazarcik-mw-7-7-and-elbistan-mw-7-6-earthquakes>.
24. *Erdik M., Ülker Ö., Şadan B., Tüzün C.* Seismic isolation code developments and significant applications in Turkey. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2018;(115):413–437. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.09.009>.
25. *Dilsiz A., Gunay S., Mosalam K., Miranda E., Arteta C., Sezen H., Fischer E., et al.* StEER-EERI: 2023 Mw 7.8 Kahramanmaras, Türkiye Earthquake Sequence Joint Preliminary Virtual Reconnaissance Report (PVRR). ETH Zurich [internet]. Available at: <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/645478>.
26. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Resmi Gazete [internet]. 2018; 18 Mart. Available at: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>. (In Turkey).
27. Malatya Battalgazi state hospital. TİS [internet]. Available at: <https://www.tis.com.tr/en/projeler/malatya-battalgazi-state-hospital/> [2023].

Информация об авторах / Information about the authors

Ильнур Раззевич Гизятуллин , заведующий сектором расчета сооружений лаборатории сейсмостойких сооружений и инновационных методов сейсмозащиты (ЛССИМС) центра исследований сейсмостойкости сооружений (ЦИСС), ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», академический советник РИА, Москва

e-mail: ilnur@seismic-research.ru

Ilnur R. Giziattullin , Sectotal Head, Sector for Calculation of Structures, Laboratory of Earthquake-Resistant Structures and Innovative Methods of Earthquake Protection, Center for Research of Earthquake Resistance of Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Academic Advisor of the Russian Academy of Engineering, Moscow

e-mail: ilnur@seismic-research.ru

Алсу Ильсуровна Фаттахова, канд. техн. наук, старший научный сотрудник сектора сейсмостойкости конструкций ЛССИМС ЦИСС, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Alsu I. Fattakhova, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, Sector for Calculation of Structures, Laboratory of Earthquake-Resistant Structures and Innovative Methods of Earthquake Protection, Center for Research of Earthquake Resistance of Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

Инна Артемовна Петросян, младший научный сотрудник сектора расчета сооружений ЛССИМС ЦИСС, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Inna A. Petrosyan, Junior Researcher, Sector for Calculation of Structures, Laboratory of Earthquake-Resistant Structures and Innovative Methods of Earthquake Protection, Center for Research of Earthquake Resistance of Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

Татьяна Евгеньевна Бутикова, техник сектора расчета сооружений ЛССИМС ЦИСС, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Tatiana E. Butikova, Technician, Sector for Calculation of Structures, Laboratory of Earthquake-Resistant Structures and Innovative Methods of Earthquake Protection, Center for Research of Earthquake Resistance of Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Чуркин А.А., Капустин В.В., Модин И.И., Шевнин В.А. Методы технической геофизики. Учебное пособие. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2025. 272 с.

ISBN 978-5-6053295-2-7

Книга посвящена особенностям проведения малоглубинных геофизических исследований при решении специализированных геотехнических задач. Рассматривается применение методов сейсмоакустики, георадиолокации и электроразведки постоянным током при обследовании действующих подземных сооружений. Объектом исследования технической геофизики являются железобетонные, металлические, грунтоцементные свайные фундаменты; фундаментные плиты; мостовые опоры; ленточные фундаменты и ростверки; обделка тоннелей и шахтная крепь; стены в грунте; земляные плотины, дамбы и их конструктивные элементы; дорожные и аэродромные покрытия; искусственно закрепленные массивы грунта; железнодорожные и дорожные насыпи; грунтовое основание сооружений; подземные трубопроводы и др. виды инженерных коммуникаций.

Учебное пособие предназначено для магистрантов и студентов старших курсов, а также для аспирантов, преподавателей и специалистов, занимающихся вопросами применения геофизических методов для решения геотехнических задач при строительстве сооружений и контроле их технического состояния.

Рекомендовано УМС геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению «геология».

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Владов М.Л., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой сейсмометрии и геоакустики геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

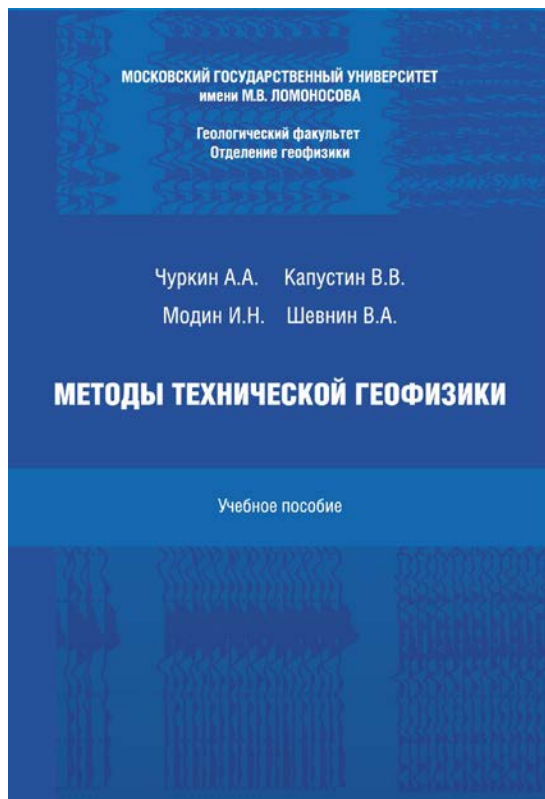
Тер-Мартиросян А.З., д.т.н., проректор, профессор кафедры механики грунтов и геотехники НИУ МГСУ

Конюхов Д.С., д.т.н., доцент кафедры строительства подземных сооружений и горных предприятий Горного университета НИТУ МИСИС

Контакты:

e-mail: chaa92@mail.ru

тел.: 8 (903) 559-20-32



[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-45-67](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-45-67)
УДК 624.075.22

EDN: PIRRYM

РАЗВИТИЕ МЕТОДА ЭФФЕКТИВНОЙ РАСЧЕТНОЙ ДЛИНЫ В РАСЧЕТАХ ОДНОЭТАЖНЫХ РАМ

А.О. ИЛЬЮШЕНКОВ

АО «Территориальный проектный институт «Хабаровскпромпроект»,
ул. Уссурийский бульвар, д. 2, г. Хабаровск, 680000, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Настоящие нормы по стальным конструкциям (СП 16.13330.2017) предлагают два метода решения задачи устойчивости рамных конструкций – единые нелинейные системы и метод эффективных расчетных длин. Первый метод не востребован, поэтому метод расчетных длин остается единственным для расчетов. В текущем своде правил содержится ограниченное количество расчетных схем для определения коэффициента расчетной длины, не дающее в полной мере ответы на текущие инженерные запросы, что приводит к трудностям в поиске быстрого ответа и заставляет использовать численный анализ, который хоть и дает достаточно надежные результаты, но требует большего времени на вычисления. В статье предлагается возможный путь развития метода расчетных длин, демонстрируются конкретные примеры решения задач, что поможет не только решить приличное количество типичных случаев одноэтажных зданий, но и предоставить необходимую теорию для решения многоэтажных случаев.

Цель. Развитие метода эффективной расчетной длины.

Материалы и методы. Разработка уравнений коэффициента расчетной длины путем модификации метода сдвига, сравнение полученных аналитических решений в программном комплексе ЛИРА-САПР.

Результаты. Проведенная аналитическая работа предлагает набор уравнений в поддержку развития метода эффективных расчетных длин. Предлагаемые решения дополняют документ СП 16.13330.2017. Результаты численного анализа подтверждают полученные аналитические решения.

Выводы. Возможность расширения свода правил по стальным конструкциям – СП 16.13330.2017.

Ключевые слова: устойчивость, коэффициент расчетной длины, эффективная длина, рама, жесткость, геометрически нелинейный анализ, перемещение, дифференциальное уравнение

Для цитирования: Ильюшенков А.О. Развитие метода эффективной расчетной длины в расчетах одноэтажных рам. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2025;45(2):45–67. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-45-67](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-45-67)

Вклад автора

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 19.11.2024

Поступила после рецензирования 15.01.2025

Принята к публикации 23.01.2025

DEVELOPMENT OF THE EFFECTIVE LENGTH METHOD FOR SINGLE-STORY FRAME ANALYSIS

A.O. ILYUSHENKOV

Territorial Design Institute Khabarovskpromproekt JSC, Ussuriysky Boulevard, 2, Khabarovsk, 680000, Russian Federation

Abstract

Introduction. The current steel structure standards (SP 16.13330.2017) propose two methods that are used to solve the stability problem of frame structures: unified nonlinear systems and the effective length method. The former is not widely used, making the latter the primary approach for calculations. However, the current code contains only a few calculation schemes for determining the effective length factor, which does not fully address current engineering needs. This limitation makes it difficult to find quick solutions and necessitates the use of numerical analysis. Furthermore, the effective length method provides reliable results, but it takes more time to perform the calculations. This paper proposes a pathway for developing the effective length method and provides specific examples of problem-solving. This approach addresses a significant number of typical cases for single-story buildings and provides the necessary theory for solving multi-story cases.

Aim. This article aims to develop the effective length method.

Materials and methods. Development of effective length factor equations through modification of the shift method and comparison of analytical solutions in the LIRA-SAPR Software complex.

Results. The analytical work presented here offers a set of equations that support the development of the effective length method. These solutions complement document SP 16.13330.2017. The numerical analysis results confirm the obtained analytical solutions.

Conclusions. There is potential to expand the code of practice for steel structures, SP 16.13330.2017.

Keywords: stability, effective length factor, effective length, frame, rigidity, geometrically nonlinear analysis, displacement, differential equation

For citation: Ilyushenkov A.O. Development of the effective length method for single-story frame analysis. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2025;45(2):45–67. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-45-67](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-45-67)

Author contribution statement

The author takes responsibility for all aspects of the paper.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 19.11.2024

Revised 15.01.2025

Accepted 23.01.2025

Предпосылки

Любому отечественному инженеру известно, что такое эффективная расчетная длина. Прошло более века с того времени, когда профессор Ф.С. Ясинский предложил данное понятие. Согласно его мысли, мы всегда можем найти некоторый эквивалентный по устойчивости шарнирно-закрепленный стержень Эйлера физически реальному стержню с заданным

набором опорных связей. Для наглядности интерпретации мысли достаточно посмотреть на рис. 1, на котором показана П-образная рама с заделкой в фундаментах в момент упругой потери устойчивости поперек. Эффективная расчетная длина h_{ef} – это расстояние между двумя точками перегиба изогнутой оси стержня.

Согласно [1, п. 4.7.1], эффективные длины следует устанавливать в случаях, когда выполнить расчет конструкций как единых систем по деформированной схеме с учетом пластических деформаций стали не представляется возможным. Допускается принимать приближенные расчетные схемы, которые должны отображать действительные условия нагружения колонн и закрепления их концов; при этом следует учитывать неравномерность распределения вертикальной нагрузки между колоннами, различие жесткостей колонн [1, п. 4.7.6].

Но нормативный подход в основном предлагает нам рассматривать расчетные схемы равномерно нагруженными, что говорит о возможности расчета при условии потери устойчивости всех колонн одновременно. Первой теряет устойчивость более нагруженная колонна, другие же колонны делают это вынуждено. При этом, конечно же, мы принимаем во внимание и требование по предельной гибкости [2].

Похоже, что раздел единых нелинейных систем [3] в инженерной практике сегодня не используется. Вместе с этим за рубежом [4] растет интерес к прямому анализу (direct analysis). Расчеты по этому методу выполняются по деформированной схеме с включением геометрических и физических несовершенств и $\mu = 1$. Однако такая методика пока что недоступна для отечественного инженера, поэтому метод эффективных длин остается единственным актуальным в нормах способом расчета конструкций на устойчивость. Вместе с тем в стальных конструкциях существует немало задач, решение которых не найти в аналитическом виде. Это мотивирует к тому, чтобы изыскать возможность улучшить метод эффективных длин, дабы разрешить наиболее частые, остро значимые проблемы в определении расчетных длин и представить инженеру более гибкую аналитическую методику расчета.

Для верификации использованы программные комплексы ЛИРА-САПР и ABAQUS. Так как, согласно п. 4.2.5 [2], допускается выполнять проверку устойчивости стержневых конструкций (в том числе пространственных) с использованием сертифицированных вычислительных комплексов как идеализированных систем в предположении упругих деформаций стали.

В связи с объемностью теории в статье рассматриваются только одноэтажные рамы.

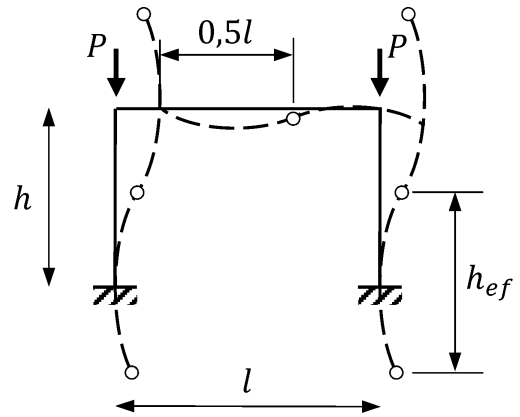


Рис. 1. Геометрическая интерпретация эффективной расчетной длины на примере однопролетной рамы
Fig. 1. Geometric interpretation of effective length using a single-span frame as an example

Нормативный подход в решении задачи о коэффициенте расчетной длины

Коэффициент расчетной длины определяется из решения приближенного дифференциального уравнения изогнутой оси стержня (1б), полученного путем упрощения точного уравнения (1а):

$$-\frac{EIy''}{\left(1+(y')^2\right)^{\frac{3}{2}}}=M(x) . \quad (1a)$$

$$-EIy''=M(x) . \quad (1б)$$

Если рассмотреть деформированное состояние стержня (рис. 2а) под воздействием внешних сил и составить уравнение равновесия изгибающего момента в точке на расстоянии x (рис. 2б):

$$M(x)=Py-Hx-M_1 , \quad (2)$$

а затем подставить (2) в (1б), получим неоднородное дифференциальное уравнение (ДУ) сжато-изогнутой оси стержня:

$$y''+\frac{P}{EI}y=\frac{M_1}{EI}+\frac{H}{EI}x . \quad (3)$$

Решая такое ДУ, приходим к известному трансцендентному уравнению для сжато-изогнутого стержня с тремя упругими опорами (рис. 2в):

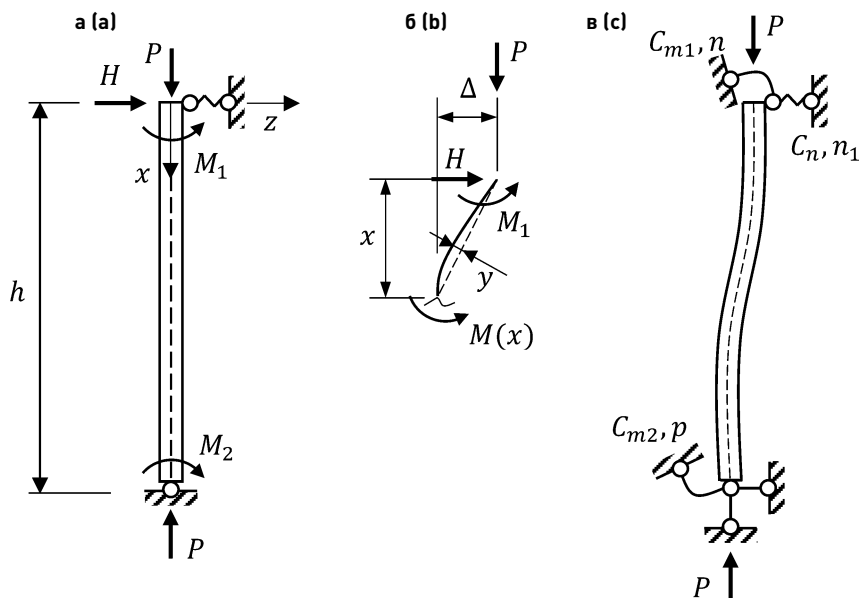


Рис. 2. Шарнирно-закрепленная колонна, подверженная действию сжимающей и моментной нагрузкам
 Fig. 2. Pinned column subjected to compressive and moment loads

$$\frac{n_1 p}{2} \times \frac{1}{\gamma_u} + \frac{p+n}{n} \times \frac{1}{\bar{\alpha}_u} (n_1 + \bar{\gamma}_u) + p - \frac{1}{n} (u^2 - n_1) = 0, \quad (4)$$

где $\gamma_u = \frac{1}{2} \times \frac{u^3}{2 \operatorname{tg} \frac{u}{2} - u}$; $\bar{\alpha}_u = \frac{u^2 \operatorname{tg} u}{\operatorname{tg} u - u}$; $\bar{\gamma}_u = \frac{u^3}{\operatorname{tg} u - u}$ – тригонометрические функции, обладающие общим свойством быть разложенными в ряд в форме неполных квадратичных функций вида $f(u) = a(1 - bu^2)$;

$n = \frac{C_{m1} h}{EI_1}$; $n_1 = \frac{C_n h^3}{EI_1}$; $p = \frac{C_{m2} h}{EI_2}$ – безразмерные нормативные параметры жесткости угловой и линейной опор (связей);

C_m – коэффициент жесткости упругого защемления, равный значению реактивного момента, возникающего в опорном сечении при повороте его на угол, равный 1;

C_n – коэффициент жесткости упругой опоры, равный значению реактивной силы, возникающей в опорном сечении при смещении его на 1;

u – критический параметр устойчивости.

Критический параметр u можно выразить либо через коэффициент расчетной длины:

$$u = \frac{\pi}{\mu}, \quad (5a)$$

либо через степень нагружения стержня:

$$u = h \sqrt{\frac{P}{EI}}. \quad (5b)$$

Угловые опоры можно связать при помощи коэффициента ψ :

$$C_{m2} \psi = C_{m1} \rightarrow p \psi = n. \quad (6)$$

В самом общем случае рассматривается стержень с тремя упругими опорами, но, исключая из уравнения (4) безразмерные параметры жесткости n , n_1 , p , приходят к набору частных случаев коэффициентов расчетных длин μ , которые для удобства сведены в таблицы [2, табл. 31] и [3, табл. 24].

Геометрически нелинейный расчет

В геометрически нелинейной постановке задачи уравнения равновесия следует записывать в деформированном состоянии, например (2). Поэтому ДУ (3) позволяет связывать деформации изгиба и сжатия (деформации сдвига и кручения в расчет не принимаются). Хотя уравнение (3) и линеаризовано, его можно применять до границы умеренно больших перемещений и углов поворота сечений $y' = \varphi < 10^\circ$.

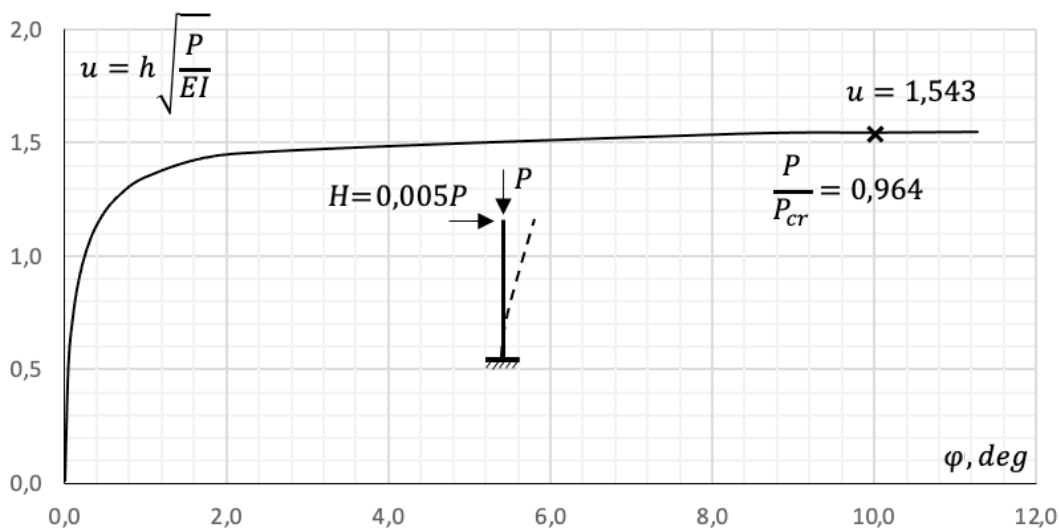


Рис. 3. График зависимости « $\varphi - u$ » угла поворота от критического параметра устойчивости

Fig. 3. Relationship between rotation angle φ and critical stability parameter u

Для наглядной демонстрации применимости (3) построена кривая зависимости « $\varphi - u$ » угла поворота от критического параметра (5б) для сжато-изогнутого консольного стержня (рис. 3). Угол поворота φ подсчитывается по известной формуле (7), полученной из решения ДУ (3) методом прямого интегрирования:

$$\varphi(0) = \frac{Hh^2}{2EI} \left[\frac{2}{u^2} \times \frac{1 - \cos u}{\cos u} \right]. \quad (7)$$

При уровне нагружения идеально упругого стержня на 96 % результат, полученный через ДУ (3), ничем не отличается от расчета, выполненного в ABAQUS в геометрически нелинейной постановке в предположении бесконечно упругой работы.

То есть мы можем заключить, что квадраты углов поворота элементов $\varphi^2 = (y')^2$ в точном ДУ (1а) являются величинами того же порядка малости, что и компоненты деформаций.

Отсюда и возникает допустимость принятия знаменателя ДУ $\left(1 + (y')^2\right)^{\frac{3}{2}} \approx 1$ и приведения его к (1б) для стержней, изгибаемых в области умеренно больших значений.

Для сравнения перемещений по результатам расчета поперечного смещения оголовка идеально упругого консольного стержня в процессе нагружения составлена сравнительная табл. 1. Перемещения первого порядка Δ_1 без учета влияния функции второго порядка $\bar{\gamma}_u$ по (8) согласуются только при нагружении стержня до 10 %, то есть в области малых перемещений (или «перемещения в малом»). Перемещения второго порядка Δ_2 , вычисленные по формулам (8) и (9) через приближенное ДУ (3), полностью согласуются с численным расчетом в ABAQUS вплоть до ~90 %. Далее приближенное уравнение отстает, и с ростом сжимающей силы все больше и больше занижает перемещения. При этом, как известно, при максимуме, то есть $u = 0,5\pi$, перемещения в (8) и (9) становятся бесконечными.

Таблица 1

Сравнительная таблица перемещений первого и второго порядков

Table 1

Comparative analysis of first- and second-order displacements

$\frac{P}{P_{cr}}$	$\Delta_1, \text{ см}$	$\Delta_2, \text{ см}$		
		(8)	(9)	ABAQUS
0,000	0			
0,106	0,22	0,24	0,24	0,25
0,213	0,44	0,55	0,56	0,56
0,426	0,88	1,52	1,52	1,53
0,638	1,31	3,60	3,63	3,65
0,851	1,75	11,66	11,76	11,93
0,957	1,97	46,33	46,29	47,19
0,964	1,98	55,67	55,47	101,9

Соответственно, в области больших перемещений следует применять только точное дифференциальное уравнение изогнутой оси (1а), позволяющее определить конечные «перемещения в большом» и закритическое поведение стержня.

В реализации учета геометрически нелинейных эффектов важен также порядок приложения нагрузок. Принцип суперпозиции здесь не работает: $A + B \neq B + A$.

При рассмотрении задачи через ДУ вида (3) перемещения второго порядка Δ_2 увязаны с перемещениями первого порядка Δ_1 при помощи специальных тригонометрических функций из уравнения (4). Например для рассматриваемого консольного стержня (рис. 3), уравнение перемещение Δ_2 верха имеет вид:

$$\Delta_2 = \frac{Hh^3}{3EI} \left[3 \frac{\operatorname{tg} u - u}{u^3} \right] = \Delta_1 \frac{3}{\bar{\gamma}_u}, \quad (8)$$

где Δ_1 – перемещения первого порядка только от действия горизонтальной силы H ;

$\bar{\gamma}_u$ – нелинейная функция второго порядка, увязывающая сжимающую силу и перемещения.

Аппроксимация тригонометрической функции $\bar{\gamma}_u$ в (8) в границах $0 \leq u \leq 0,5 \pi$:

$$\bar{\gamma}_u = 3 \left(1 - \frac{4u^2}{\pi^2} \right). \quad (9)$$

Если критический параметр u заменить (5б), то получим обобщенное выражение, связывающее перемещения первого и второго порядков через коэффициент расчетной длины μ :

$$\Delta_2 = \frac{\Delta_1}{1 - \frac{P_i}{P_{cr}}}, \quad (10)$$

где P_i – осевая сжимающая сила, действующая в рассматриваемом i -м стержне;

P_{cr} – упругая критическая сила i -го стержня, которая может быть приведена к силе Эйлера шарнирно-закрепленного стержня через коэффициент расчетной длины $P_e = \mu^2 P_{cr}$.

Другой способ рассмотрения геометрически нелинейной задачи – прямое суммирование перемещений первого порядка и перемещений, возникающих при расчете по деформированной схеме. А именно: отклонение стержня от вертикальности ($P-\Delta$ эффект); отклонение стержня от прямолинейности ($P-\delta$ эффект). $P-\Delta$ эффект определяет глобальное отклонение системы, а $P-\delta$ эффект распространяется на отдельно выбранный стержень, находящийся под действием сжимающей силы P_i .

Суммарные перемещения второго порядка:

$$\Delta_2 = \Delta_H + \Delta_{P-\Delta} + \Delta_{P-\delta} \tag{11}$$

Горизонтальная сила H (рис. 4) является действительной и создает действительную работу внешних сил, так как она совершается на перемещениях, вызванных этой же силой. Сила H позволяет создать отклоненную, но не конечную форму деформаций. И перемещения $\Delta_H = \Delta_1$ только от H меньше Δ_2 . Вертикальная сила P совершает возможную работу на перемещениях по их направлению и вызвана силой H . При этом силы, совершающие возможную работу, должны предварительно достичь своего окончательного значения. Это объясняет принцип $P-\Delta$ анализа и расчетов по деформированной схеме.

Перемещения $\Delta_{P-\Delta}$ и $\Delta_{P-\delta}$ можно вычислить, например, методом сил. Для этого достаточно построить единичную эпюру M_1 и поочередно перемножить с эпюрами $M_{P-\Delta}$ и $M_{P-\delta}$, как это показано на рис. 4. Опуская математические детали решения, приведем сразу полное уравнение перемещений Δ_2 для консольного стержня:

$$\Delta_2 = \frac{Hh^3}{3EI_1} + P\Delta_2 \frac{h^2}{3EI_1} + P\Delta_2 \frac{h^2}{3EI_1} \left(\frac{12}{\pi^2} - 1 \right). \tag{12}$$

Из равенства (12) выражаем перемещение второго порядка:

$$\Delta_2 = \frac{\frac{Hh^3}{3EI_1}}{1 - 1,216 \frac{P\Delta_1}{Hh}} = \frac{\Delta_1}{1 - \beta \frac{P\Delta_1}{Hh}} \tag{13}$$

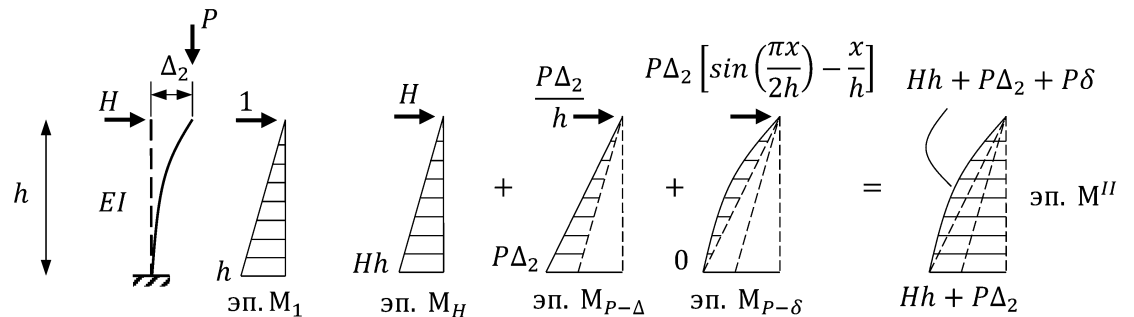


Рис. 4. Эпюры изгибающих моментов по деформированной схеме
Fig. 4. Bending moment diagrams along the deformed shape

Уравнение (13) по виду повторяет (10). Числовой коэффициент β варьируется в разных случаях закреплений стержня по концам. Он определяет сжато-изогнутое состояние стержня или $P - \delta$ эффект. Очевидное следует из построенной эпюры $M_{P-\delta}$ на рис. 4.

Также следует учитывать, что перемещения могут определяться для цепочки или ряда связанных друг с другом стержней в одном уровне, когда речь идет о поперечном смещении (сдвиге) целого этажа или покрытия, а не только изолированного стержня. Поэтому в общем случае в уравнении (13) силу P следует заменить на сумму сил ΣP :

$$\Delta_2 = \frac{\Delta_1}{1 - \beta \frac{\Sigma P \Delta_1}{Hh}}. \quad (14)$$

Метод сдвига

В 1977 году ЛеМессурье в работе [5] предложил практический метод расчета строительных конструкций на устойчивость по деформированной схеме, известный сегодня как метод жесткости или сдвига (ориг. Story stiffness approach) [4]. Приравнивая формулы (10) и (14), полученные из геометрически нелинейного анализа, мы приходим к обобщенному уравнению коэффициента расчетной длины методом сдвига:

$$\mu = \sqrt{\frac{\pi^2 E I_i}{P_i h^3} \beta \frac{\Sigma P \Delta_1}{H}}. \quad (15)$$

Данный метод может считаться эффективным в расчетах на устойчивость многопролетных одно- и многоэтажных рам. Он удобен в использовании при непосредственном участии вычислительных комплексов, когда перемещения или сдвиг выбранного этажа Δ_1 вычисляются численным способом, а ΣP , P_i и H выбираются из соответствующей комбинации усилий. Вместе с этим метод по-своему непрост в интерпретации. Коэффициент β весьма труден для точной калькуляции даже для самых простых конструктивных схем. И у данного метода по сути никогда не было аналитического аппарата, позволяющего вычислить коэффициент расчетной длины без применения вычислительных комплексов.

Модификация уравнения

Однако существует вполне четкая видимость в улучшении интерпретации метода сдвига. Работа над модификацией уравнения (15) может представить дополнительные возможности, позволит серьезным образом расширить технику расчетов коэффициента расчетной длины согласно [2, 3], при этом не нарушая его целостности.

По названию метода можно заметить, что в уравнении (15) присутствует коэффициент жесткости упругой опоры C_n , определяющий смещение или сдвиг выбранного этажа. Для одноэтажной рамы это обычно смещение поперек в уровне покрытия:

$$C_n = \frac{H}{\Delta_1}. \quad (16)$$

Поперечная жесткость, которую способна создать рама, может быть вычислена от единичной силы $H = 1$. При этом любое единичное перемещение для любой рамы может быть определено через следующее обобщенное уравнение:

$$\Delta_1 = \frac{h^3}{12EI_1} \alpha_s, \quad (17)$$

где α_s – это обобщенный коэффициент жесткости рамы, который зависит от n и p ;

EI_1 – изгибная жесткость колонны, относительно которой выражается перемещение Δ_1 .

Подставляем (17) в (15):

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum P \times EI_i}{P_i \times EI_1} \times \frac{\pi^2}{12} \beta \times \alpha_s}. \quad (18)$$

Сейчас отчетливо видно, что коэффициент расчетной длины (18) может быть разбит на три понятных множителя.

Первый множитель обозначим через μ_{ef} :

$$\mu_{ef} = \sqrt{\frac{\sum P \times EI_i}{P_i \times EI_1}}, \quad (19)$$

где $\sum P$ – суммарная действующая сила в уровне выбранного этажа;

P_i и EI_i – сжимающая сила и изгибная жесткость i -й колонны, для которой вычисляется коэффициент расчетной длины;

EI_1 – изгибная жесткость колонны, относительно которой было определено смещение этажа.

Коэффициент μ_{ef} выполняет часть условий [1, п. 4.7.6]. Он учитывает различия жесткостей колонн, действительные условия нагружения колонн и неравномерность распределения вертикальной нагрузки между колоннами.

Если считается, что колонны нагружены одинаковой сжимающей силой по своду правил [2], то следует очевидный вывод:

$$\frac{\sum P}{P_i} = \frac{P_i(k+1)}{P_i} = k+1, \quad (20)$$

где k – количество пролетов, при $k = 1$, $\mu_{ef} = 1$, при $k = 2$, $\mu_{ef} = \sqrt{2}$ и т. д.

Второй множитель обозначим через η :

$$\eta = \sqrt{\frac{\pi^2 \beta}{12}}. \quad (21)$$

Коэффициент η учитывает закрепления концов колонны и влияние $P - \delta$ согласно [1, п. 4.7.6]. Для простоты понимания коэффициент η можно истолковать как коэффициент, зависящий от формы потери устойчивости колонны. Форма потери устойчивости в свою

очередь зависит от вида закреплений стержня на концах. Поэтому для консольного стержня максимальный случай $\beta_{\max} = 1,216$, при котором $\eta = 1$. Для рамного стержня это не так. Любой стержень многоэтажной рамы обычно имеет две упругие опоры защемления, поэтому форма потери устойчивости таких колонн чаще выражается в виде двух антисимметричных полуволн. В свою очередь колонны первого этажа сопряжены либо шарнирно, либо имеют заделку в фундаментах, но все равно имеют одну упругую опору защемления. Подход с $\beta_{\max}$ и $\eta = 1$ часто применяется для упрощения решения одноэтажных рам. В связи с этим коэффициент расчетной длины немногим будет завышен. Н. В. Корноухов [6] в свое время распознавал коэффициент β как некоторый поправочный коэффициент, устанавливающий взаимосвязь между углами касательной, хорды и поворотов колонны для повышения точности расчетов. И для стержня многоэтажной рамы с одинаковой жесткостью примыкающих ригелей пришел к абсолютно такому же выражению, как и ЛеМессурье. Н. В. Корноухов останавливается на среднем значении коэффициента $\beta_{\text{avg}} = 1,1$, указывая, что даже грубые формулы при значении $\beta = 1,1$ дают достаточную точность. С этим утверждением нельзя не согласиться. Детальная работа над коэффициентом β и его аналитические формулировки были рассмотрены в работе [7]. Здесь же ограничимся только выводами и формулами для расчетов.

Для всех рамных систем, включая одноэтажные рамы с шарнирным прикреплением колонн к фундаментам (включая рамы переменного сечения), рекомендуется следующая линейная зависимость:

$$\beta = 1 + 0,1n \leq 1,216. \quad (22)$$

Для одноэтажных рам в запас возможно принимать $\beta_{\max} = 1,216$ и $\eta = 1$. Для регулярных одно- и многоэтажных многопролетных рам, рассчитываемых в упругой области, безопасно принимать усредненное значение $\beta_{\text{avg}} = 1,1$ и $\eta_{\text{avg}} = 0,95$. Данные значения подтверждаются результатами исследований и расчетами на устойчивость. Исключение составляет рама с заделкой баз колонн в фундаментах. Рекомендуется принимать осредненное значение $\eta_{\text{avg}} = 0,97$. Применять формулу (22) для этого случая не рекомендуется, так как необъективно создается занижение расчетной длины колонны.

Используя введенные сокращенные обозначения (19) и (21), коэффициент расчетной длины может быть представлен в новом виде:

$$\mu = \mu_{ef} \times \eta \times \sqrt{\alpha_s}. \quad (23)$$

Коэффициент α_s может быть получен методами строительной механики. Он достаточно хорошо известен в расчетах, в том числе и на сейсмическое воздействие, и представляет собой обыкновенную функцию $\alpha_s(n, p)$.

Согласно общепринятому подходу, многоэтажные рамы делят на простые равноустойчивые этажи-ячейки (рис. 5) [6]. В выделяемой ячейке колонны имеют одинаковую изгибную жесткость EI_1 , а примыкающие к ним сверху и снизу ригели имеют разные изгибные жесткости EI_2 и EI_3 . При этом жесткость ригелей между этажами обычно делится пополам.

В самом общем случае сдвиг контурной рамы от единичной горизонтально приложенной силы:

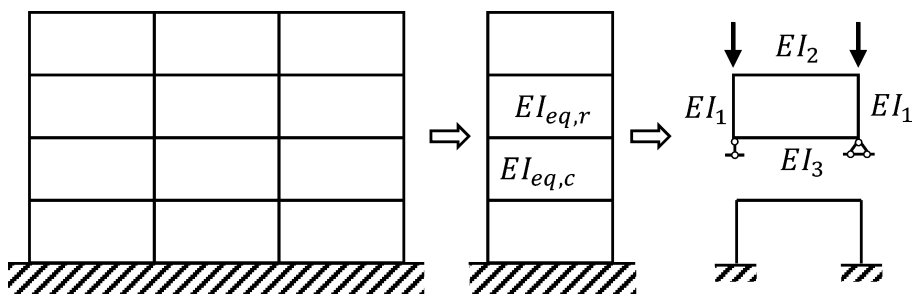


Рис. 5. Принцип деления многоэтажной рамы на простые равноустойчивые ячейки
 Fig. 5. Principle of dividing a multi-story frame into simple equally stable cells

$$\Delta_1 = \frac{h^3}{12EI_1} \times \frac{\psi + 2n(1+\psi) + 3n^2}{n(1+\psi) + 6n^2} = \frac{h^3}{12EI_1} \alpha_s, \quad (24)$$

где $n = \frac{EI_2 \times h}{EI_1 \times l}$;

$$p = \frac{EI_3 \times h}{EI_1 \times l} ;$$

$n = p\psi$ – безразмерные погонные жесткости контурной рамы по [2];

EI_2, EI_3 – изгибные жесткости ригелей, примыкающие сверху и снизу соответственно.

Другие (частные) случаи получаются путем изменения параметров n, p и ψ .

Например, если жесткости ригелей равны $p = n$ или $\psi = 1$, тогда:

$$\Delta_1 = \frac{h^3}{12EI_1} \times \frac{1+n}{2n}. \quad (25)$$

Аналогичным образом составляются и другие коэффициенты α_s . Можно использовать готовые формулы с эпорами моментов для последующего нахождения поперечного смещения рамы, например по книге Д. В. Бычкова [8]. Для удобства составлена табл. 2 коэффициентов жесткости рамы α_s и коэффициентов расчетных длин μ для элементарных случаев по формулам (23) и (24) при $\eta = 1$.

По величине α_s можно также установить тип смещения рамы поперек. При более высоких значениях n и p коэффициент α_s будет стремиться к минимальному значению. Такую раму следует относить к конструкции, работающей преимущественно по сдвиговому механизму (недеформируемый ригель). При более низких значениях n и p коэффициент α_s приближается к максимуму, а рассматриваемая рама относится к изгибаемому типу (ригель имеет крайне низкую изгибную жесткость либо шарнирное примыкание $n < 0,1$). Колонны многоэтажных каркасов в таких случаях работают преимущественно как свободные консольные стержни. В более общих и практически реализуемых случаях коэффициент α_s оказывается между двумя крайними значениями как функция отношения погонных жесткостей балки и колонны $\alpha_s = f(n, p)$. Работа каркаса происходит по изгибно-сдвиговому механизму и может меняться от этажа к этажу.

Примеры решения задач устойчивости

На основании изложенной теории рассмотрим несколько практических случаев, позволяющих оценить возможности метода сдвига и формулы (23) в создании универсальных аналитических решений для одноэтажных рам.

1. Исследуем двухпролетную раму, показанную на рис. 6а. В результате реконструкции к П-образной раме была пристроена Г-образная рама. Требуется определить μ для каждой из колонн. Исходные данные для расчета: колонны П-образной рамы 20К1, $EI_1 = 7923 \text{ кНм}^2$, ригель 40Б1, $EI_2 = 41\,239 \text{ кНм}^2$. Колонна пристройки 25К1,

Таблица 2

Таблица коэффициентов α_s и μ для элементарных рам

Table 2

Table of 2 α_s and μ factors for elementary frames

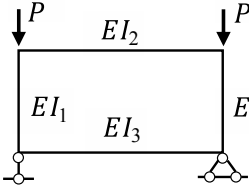
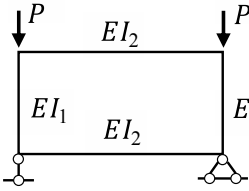
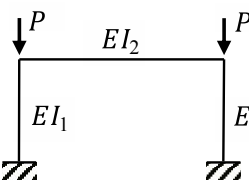
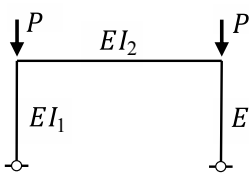
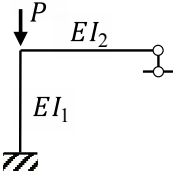
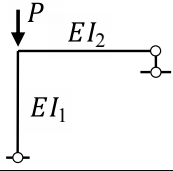
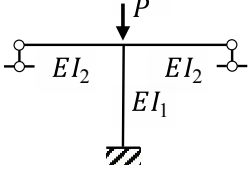
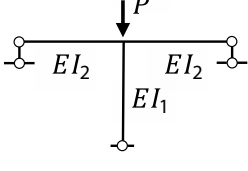
Расчетная схема	α_s	Параметры	$\mu = \mu_{ef} \sqrt{\alpha_s}$
	$\frac{\psi + 2n(1 + \psi) + 3n^2}{n(1 + \psi) + 6n^2}$	$n = \frac{EI_2 \times h}{EI_1 \times l}, \quad P = \frac{EI_3 \times h}{EI_1 \times l},$ $n = p\psi, \quad \mu_{ef} = \sqrt{2}$	$\mu = \sqrt{\frac{\psi + 2n(1 + \psi) + 3n^2}{0,5(n(1 + \psi) + 6n^2)}}$
	$\frac{1 + n}{2n}$		$\mu = \sqrt{1 + \frac{1}{n}}$
	$\frac{2 + 3n}{1 + 6n}$	$n = \frac{EI_2 \times h}{EI_1 \times l},$ $\mu_{ef} = \sqrt{2}$	$\mu = \sqrt{\frac{4 + 6n}{1 + 6n}}$
	$2\left(1 + \frac{0,5}{n}\right)$		$\mu = 2\sqrt{1 + \frac{0,5}{n}}$

Таблица 2. Продолжение
Table 2. Continuation

	$\frac{4+3n}{1+3n}$	$n = \frac{EI_2 \times h}{EI_1 \times l}$ $\mu_{ef} = 1$	$\mu = \sqrt{\frac{4+3n}{1+3n}}$
	$4\left(1+\frac{1}{n}\right)$		$\mu = 2\sqrt{1+\frac{1}{n}}$
	$\frac{4+6n}{1+6n}$		$\mu = \sqrt{\frac{4+6n}{1+6n}}$
	$4\left(2+\frac{0,5}{n}\right)$		$\mu = 2\sqrt{1+\frac{0,5}{n}}$

Обозначения, принятые в табл. 2:
 I_2, I_3 – моменты инерции сечения ригелей, примыкающих соответственно к верхнему и нижнему концу проверяемой колонны;
 I_1 – момент инерции колонны;
 h – высота колонны;
 l – пролет рамы;
 μ_{ef} – коэффициент перераспределения жесткости и нагрузки;
 α_s – коэффициент жесткости рамы.

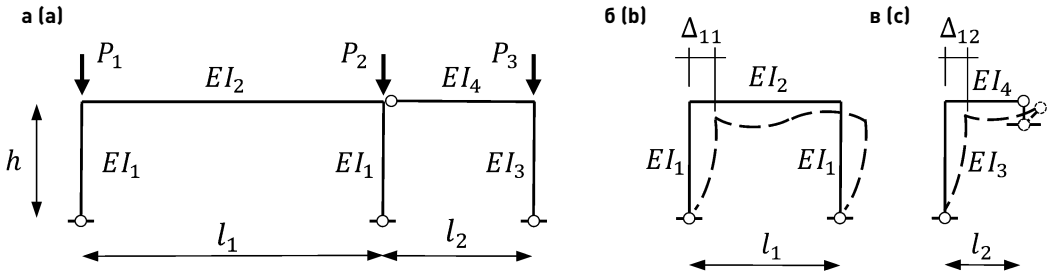


Рис. 6. Схема рамы № 1
Fig. 6. Scheme of frame No. 1

$EI_3 = 18\,892 \text{ кНм}^2$, ригель 45Б1, $EI_4 = 59\,117 \text{ кНм}^2$. Размеры рамы: $h = 6 \text{ м}$, $l_1 = 15 \text{ м}$, $l_2 = 10 \text{ м}$. $P_1 = 90 \text{ кН}$, $P_2 = 140 \text{ кН}$, $P_3 = 65 \text{ кН}$. $\Sigma P = 295 \text{ кН}$, $\eta_{avg} = 0,95$.

Поперечная жесткость, которую способна создать двухпролетная рама (рис. 6а), состоит из суммы поперечных жесткостей П-образной (рис. 6б) и Г-образной (рис. 6в) рам свободно смещаться поперек:

$$C_n = C_{n,1} + C_{n,2} \quad (26)$$

или в перемещениях:

$$\frac{1}{\Delta_1} = \frac{1}{\Delta_{11}} + \frac{1}{\Delta_{12}}. \quad (27)$$

Из (27) находим приведенное поперечное смещение Δ_1 целой конструкции:

$$\Delta_1 = \frac{\Delta_{11}\Delta_{12}}{\Delta_{11} + \Delta_{12}},$$

где $\Delta_{11} = \frac{h^3}{12EI_1} \times 2 \left(1 + \frac{0,5}{n} \right)$ – поперечное смещение П-образной рамы по табл. 2 (рис. 6б);

$$n = \frac{EI_2 \times h}{EI_1 \times l_1};$$

$\Delta_{12} = \frac{h^3}{12EI_3} \times 4 \left(1 + \frac{1}{n_2} \right) = \frac{h^3 r}{12EI_1} \times 4 \left(1 + \frac{1}{n_2} \right)$ – поперечное смещение Г-образной рамы по табл. 2 (рис. 6в);

$$n_2 = \frac{EI_4 \times h}{EI_3 \times l_2};$$

$$r = \frac{EI_1}{EI_3}.$$

Коэффициент жесткости рамы, показанной на рис. 6, по формуле (27) и подстановке аналитических выражений Δ_{11} и Δ_{12} :

$$\alpha_s = \frac{4r \left(1 + \frac{0,5}{n} \right) \left(1 + \frac{1}{n_2} \right)}{\left(1 + \frac{0,5}{n} \right) + 2r \left(1 + \frac{1}{n_2} \right)} = \frac{4r \times \alpha_{s,1} \times \alpha_{s,2}}{\alpha_{s,1} + 2r \times \alpha_{s,2}}. \quad (28)$$

Подсчитываем характеристики рамы:

$$n = \frac{41239 \times 6}{7923 \times 15} = 2,082, \quad n_2 = \frac{59117 \times 6}{18892 \times 10} = 1,878, \quad r = \frac{7923}{18892} = 0,419, \quad \alpha_{s1} = 1,240, \quad \alpha_{s2} = 1,532.$$

$$\alpha_s = \frac{4 \times 0,419 \times 1,240 \times 1,532}{1,240 + 2 \times 0,419 \times 1,532} = \frac{3,183}{2,524} = 1,261.$$

Коэффициенты перераспределения μ_{efi} :

Для левой колонны $\mu_{ef,1} = \sqrt{\frac{\sum P \times EI_1}{P_1 \times EI_1}} = \sqrt{\frac{295}{90}} = 1,810.$

Центральная колонна $\mu_{ef,2} = \sqrt{\frac{\sum P \times EI_1}{P_2 \times EI_1}} = \sqrt{\frac{295}{140}} = 1,452.$

Правая колонна $\mu_{ef,3} = \sqrt{\frac{\sum P \times EI_3}{P_3 \times EI_1}} = \sqrt{\frac{295 \times 18892}{65 \times 7923}} = 3,290.$

По формуле (23) вычисляем коэффициенты расчетных длин. Результаты сводим в табл. 3, куда также заносим результаты проверки, сделанные в ЛИРА-САПР, а также расчеты в предположении равномерного нагружения колонн $P_1 = P_2 = P_3$. Таким же образом можно решить раму со смешанным креплением к фундаментам, используя табл. 2.

2. В качестве следующего примера рассмотрим одноэтажную k -пролетную раму (рис. 7а). Задача – создать обобщенную аналитическую формулу для быстрой калькуляции коэффициента расчетной длины μ_i любой колонны.

За эквивалентную систему принимаем Г-образную раму с половиной пролета (рис. 7б).

Эквивалентная изгибная жесткость ригеля складывается из суммы половин пролетов и изгибных жесткостей ригеля:

$$EI_{eq,r} = 2k \times EI_3. \tag{29}$$

Таблица 3

Сравнительная таблица результатов аналитического и численного решений

Table 3

Comparison of analytical and numerical solution results

	Левая колонна, P_1	Центральная колонна, P_2	Правая колонна, P_3
Неравномерное нагружение колонн			
$\mu_{ef,i}$	1,810	1,452	3,290
Формула [23], μ_i	1,896	1,521	3,447
ЛИРА-САПР, μ_i	1,962	1,574	3,565
Равномерное нагружение колонн			
$\mu_{ef,i}$	1,732	1,732	2,676
Формула [23], μ_i	1,815	1,815	2,803
ЛИРА-САПР, μ_i	1,871	1,871	2,889

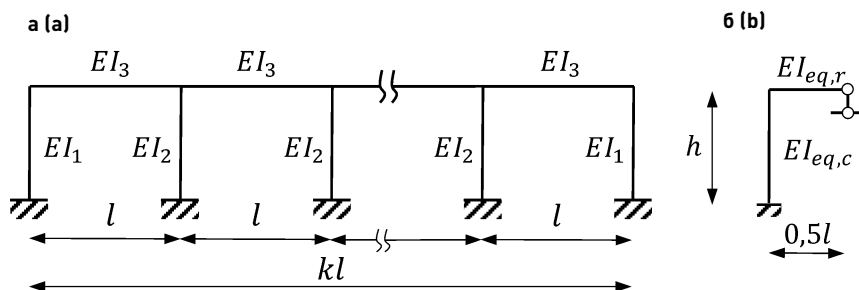


Рис. 7. Схема рамы № 2
Fig. 7. Scheme of frame No. 2

Эквивалентная изгибная жесткость колонны складывается из суммы крайних (которых всегда две) и рядовых колонн:

$$EI_{eq,c} = 2EI_1 + EI_2(k-1) = EI_1(2 + r(k-1)), \quad (30)$$

где $r = \frac{EI_2}{EI_1}$ – параметр отношения жесткости колонн;

k – число пролетов.

Эквивалентный параметр жесткости рамы n_{eq} при k одинаковых пролетах с учетом (29) и (30):

$$n_{eq} = \frac{h \times EI_{eq,r}}{0,5l \times EI_{eq,c}} = \frac{h \times 2kEI_3}{0,5l \times EI_1(2 + r(k-1))} = n \frac{4k}{2 + r(k-1)}, \quad (31)$$

где $n = \frac{EI_3 \times h}{EI_1 \times l}$ – нормативный безразмерный параметр жесткости.

Единичное перемещение Г-образной рамы с жестким креплением к фундаменту от единичной горизонтальной силы, приложенной в рамном узле по табл. 2:

$$\Delta_1 = \frac{h^3}{12EI_{eq,c}} \left(\frac{4 + 3n_{eq}}{1 + 3n_{eq}} \right) = \frac{h^3}{12EI_1} \alpha_s, \quad (32)$$

где $\alpha_s = \frac{1}{2 + r(k-1)} \left(\frac{4 + 3n \frac{4k}{2 + r(k-1)}}{1 + 3n \frac{4k}{2 + r(k-1)}} \right)$ с учетом подстановки (30) и (31).

Для случая, если рама имеет шарнирное сопряжение с фундаментами, следует использовать другое выражение и коэффициент α_s :

$$\Delta_1 = \frac{h^3}{12EI_{eq,c}} 4 \left(1 + \frac{1}{n_{eq}} \right) = \frac{h^3}{12EI_1} \alpha_s, \quad (33)$$

$$\alpha_s = \frac{4nk + 2 + r(k - 1)}{nk(2 + r(k - 1))}.$$

Суммарная сила, когда колонны нагружены неравномерно:

$$\Sigma P = 2P_1 + P_2(k - 1) = P_1 \left(2 + \frac{P_2}{P_1}(k - 1) \right). \tag{34}$$

Пусть жесткость крайних колонн $EI_1 = 4002 \text{ кНм}^2$, жесткость рядовых колонн $EI_2 = 7286 \text{ кНм}^2$ и изгибная жесткость ригелей $EI_3 = 7286 \text{ кНм}^2$. Сжимающие силы: крайняя колонна $P_1 = 10 \text{ кН}$, рядовая колонна $P_2 = 30 \text{ кН}$. Размеры рамы: $h = 6 \text{ м}$, $l = 15 \text{ м}$. $\eta_{avg} = 0,97$.

Вычисляем характеристики рамы: $n = \frac{6 \times 7286}{15 \times 4002} = 0,728$, $r = \frac{7286}{4002} = 1,821$.
Создадим сравнительную табл. 4. Посчитаем раму с защемлением в фундаментах по рис. 7а с числом пролетов до $k = 8$ и сравним значения μ по (23) и ЛИРА-САПР.
Между коэффициентами расчетных длин μ_1 и μ_2 существует взаимосвязь. Если приравнять выражения коэффициентов расчетных длин μ_1 и μ_2 через сумму сил ΣP , то будет получено равенство:

$$\mu_2 = \mu_1 \sqrt{\frac{P_1}{P_2}} r. \tag{35}$$

3. Следующим примером разберем один из частых случаев в расчетах на устойчивость. Задача – создать универсальное уравнение коэффициента расчетной длины при любой комбинации сил и длинах колонн. Две консольные колонны шарнирно соединены балкой (или фермой), которая загружена силой P . Сила P находится не на середине пролета,

Таблица 4
Сравнительная таблица результатов аналитического и численного решений

Table 4

Comparison of analytical and numerical solution results

k	ΣP (34)	$\mu_{ef,1} = \sqrt{\frac{\Sigma P}{P_1}}$	r	$\mu_{ef,2} = \sqrt{\frac{\Sigma P}{P_2}} r$	α_s (32)	μ (23)		ЛИРА-САПР	
						μ_1	μ_2	μ_1	μ_2
1	20	1,41	1,82	0	0,779	1,211	–	1,201	–
2	50	2,24		1,74	0,403	1,376	1,072	1,365	1,064
3	80	2,83		2,20	0,271	1,429	1,114	1,418	1,105
4	110	3,32		2,58	0,205	1,456	1,134	1,444	1,125
5	140	3,74		2,92	0,164	1,471	1,146	1,460	1,137
6	170	4,12		3,21	0,137	1,482	1,155	1,470	1,145
7	200	4,47		3,48	0,118	1,489	1,160	1,477	1,151
8	230	4,80		3,74	0,103	1,495	1,165	1,483	1,155

что имитирует комбинацию с неравномерным распределением нагрузки в пролете. Расчетная схема показана на рис. 8а.

Деление сжимающей силы между колоннами на P_1 и P_2 (рис. 8б) принимается на основании линейного закона:

$$P_1 = (1 - a)P \text{ и } P_2 = aP. \quad (36)$$

Коэффициент расчетной длины для такого случая не будет $\mu_1 = \mu_2 = 2$. Как и перемещения оголовков колонн, при приложении единичной горизонтальной силы не будут равны своему консольному значению. Очевидно, что перед нами один раз статически неопределимая система (рис. 9), предварительно требующая раскрытия неопределимости.

Изгибающие моменты в расчетной системе при действии горизонтально действующей силы $H = 1$, найденные методом сил:

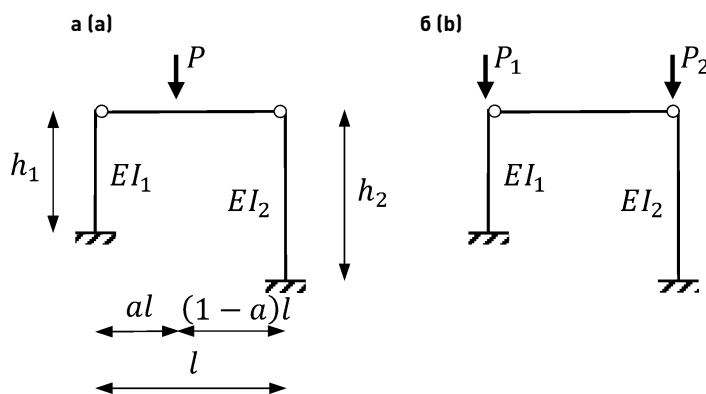


Рис. 8. Схема рамы № 3
Fig. 8. Scheme of frame No. 3

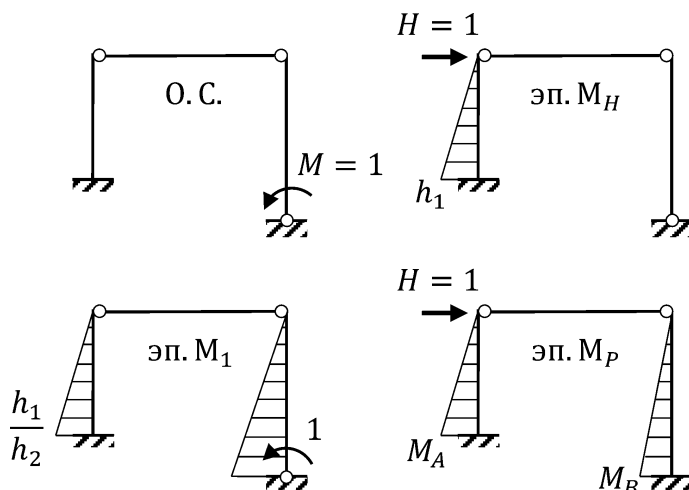


Рис. 9. Эпюры изгибающих моментов
Fig. 9. Bending moment diagrams

$$M_A = \frac{h_1}{1 + m^3 r_s}, \quad M_B = \frac{h_2}{1 + \frac{1}{m^3 r_s}}, \quad (37)$$

где $r_s = \frac{EI_2}{EI_1}$;

$$m^3 = \frac{h_1^3}{h_2^3}.$$

Перемещение статически неопределимой системы получим путем перемножения расчетной M_p и единичной эпюр M_1 методом Верещагина (рис. 9):

$$\Delta_1 = \frac{h_1^3}{3EI_1} \left(\frac{1}{1 + m^3 r_s} \right). \quad (38)$$

Из формул (37) и (38) становится вполне очевидно, что взаимосвязь значительно сложнее, чем можно подумать. Соответственно, можно уже сказать, что $\mu = 2$ – это всего лишь частный случай.

Далее (38) подставляем в уравнение коэффициента расчетной длины (23):

$$\mu_1 = 2 \sqrt{\frac{1}{1-a} \times \frac{1}{1 + m^3 r_s}}, \quad (39)$$

$$\mu_2 = 2 \sqrt{\frac{1}{a} \times \frac{m^3 r_s}{1 + m^3 r_s}}. \quad (40)$$

Либо составляя пропорцию, как и для (35), при которой коэффициенты расчетных длин будут выражены как:

$$\mu_2 = \mu_1 \sqrt{\frac{1-a}{a} m^3 r_s}. \quad (41)$$

Если же сила приложена на левой опоре, то есть $a = 0$, тогда уравнение (39) обратится в:

$$\mu_1 = 2 \sqrt{\frac{1}{1 + m^3 r_s}}. \quad (42)$$

При $m^3 r_s = 3$ $\mu_1 = 1$. Если $m^3 r_s \approx 1$, то имеем тривиальный случай, при котором $\mu_1 = 1,414$. Если же $m^3 r_s \approx 0$, система обращается в консольный случай. Такое возможно, если жесткость EI_2 чрезвычайно мала либо высота левой колонны значительно больше правой $h_1 \gg h_2$. Задачу можно решить и методом приведенной жесткости по (26), в том числе и для n -го количества

стержней. Данный подход полезен при рассмотрении эстакад, галерей и объектов реконструкции с присоединением новых элементов.

Согласно [3, табл. 24] и уравнению (4), приведена частная схема (рис. 10а), когда $C_m = 0$, но $C_n \neq 0$.

Для этой схемы коэффициент расчетной длины μ_1 подсчитывается по следующей формуле:

$$\mu_1 = \sqrt{\frac{n_1 + 18}{2n_1 + 4,5}}, \quad 2 \geq \mu_1 \geq 0,7, \quad (43)$$

где $n_1 = \frac{C_n h_1^3}{EI_1}$, C_n – коэффициент жесткости упругой опоры, равный значению реактивной силы, возникающей в опорном сечении при смещении его на 1.

Согласно [3, табл. 25], для рассматриваемого случая:

$$C_n = \frac{3EI_2}{h_2^3}. \quad (44)$$

Подставляем (44) в n_1 :

$$n_1 = \frac{3EI_2}{h_2^3} \times \frac{h_1^3}{EI_1} = 3m^3 r_s.$$

Затем (44) в коэффициент расчетной длины (43):

$$\mu_1 = \sqrt{\frac{3m^3 r_s + 18}{6m^3 r_s + 4,5}}. \quad (45)$$

Получили по виду аналогичное уравнению (42). При $m^3 r_s \approx 4,5$ $\mu_1 = 1$. Если то $m^3 r_s \approx 0$, то $\mu_1 = 2$. Если $m^3 r_s \approx 1$, то $\mu_1 = 1,414$.

Сравним полученные формулы (42) и (45) с расчетом в ЛИРА-САПР. Для этого составим табл. 5. Будем варьировать отношение $\frac{h_1}{h_2}$, а $EI_2 = EI_1$. Результаты по трем вариантам расчета согласуются друг с другом. При этом нормативное уравнение (45) будет стремиться к минимуму, $\mu = 0,7$ при росте n_1 . А решение (42), как и численный расчет, при росте n_1 будет стремиться к нулю.

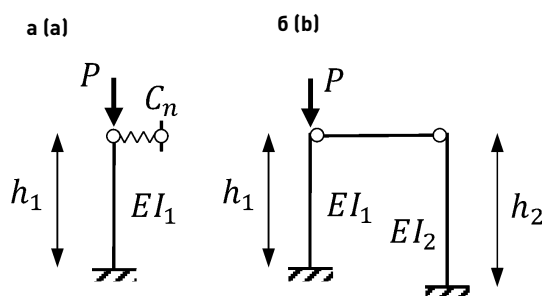


Рис. 10. Схема рамы № 4
Fig. 10. Scheme of frame No. 4

Таблица 6

Дополнительная таблица коэффициентов α_s и μ для элементарных рам

Table 6

Supplementary table of coefficients α_s and μ for elementary frames

Расчетная схема	α_s	Параметры	Коэффициент расчетной длины
	$\frac{4}{2+r_3} + \frac{0,5}{n}$	$n = \frac{EI_2 \times h}{EI_1 \times l}$ $r_3 = \frac{EI_3}{EI_1}$	$\mu_i = \mu_{ef,i} \times \eta \times \sqrt{\alpha_s}$
	$\frac{\frac{24n}{2+r_3} + 4}{24n + 2 + r_3}$		

Таблица 5

Сравнительная таблица результатов аналитического и численного решений

Table 5

Comparison of analytical and numerical solution results

$m = \frac{h_1}{h_2}$	$n_i = m^3 r_s$	[45]	[42]	ЛИРА-САПР
1,553	3,748	1,041	0,918	0,932
1,333	2,370	1,158	1,089	1,097
1,000	1,000	1,414	1,414	1,414
0,800	0,512	1,606	1,627	1,623
0,727	0,385	1,677	1,700	1,696
0,615	0,233	1,781	1,801	1,796
0,533	0,152	1,847	1,864	1,858
0,320	0,033	1,963	1,968	1,961
0	0	2,000		

Заключение

Продемонстрированная методика расчета может быть распространена на множество других задач, в том числе и на любого вида многоэтажные рамы, рамы переменного сечения, системы с колоннами, теряющими устойчивость вынуждено, и т.д. Метод весьма гибок и представляет возможность создать дополнительный набор уравнений μ , не противоречащий своду правил [2]. В качестве такого примера в дополнительной табл. 6 приведены две частные формулы для наиболее часто встречаемого случая двухпролетных рам.

Список литературы

1. СТ СЭВ 3972-83. Надежность строительных конструкций и оснований. Конструкции стальные. Москва: Издательство стандартов; 1985.
2. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. Москва: Минстрой России; 2017.
3. СП 294.1325800.2017. Конструкции стальные. Правила проектирования. Москва: Минстрой России; 2017.
4. ANSI/AISC 360-22. Specification for Structural Steel Buildings [internet]. American Institute of Steel Construction; 2022. Available at: <https://www.aisc.org/globalassets/product-files-not-searched/publications/standards/a360-22w.pdf>.
5. LeMessurier W.J. Practical method of second order analysis. Part 2; Rigid frames. Engineering journal. 1977;14(2):49–67. <https://doi.org/10.62913/engj.v14i2.292>.
6. Корноухов Н.В. Прочность и устойчивость стержневых систем. Москва: Стройиздат; 1949.
7. Ильюшенко А.О. Устойчивость стальных строительных конструкций. Москва: АСВ; 2023.
8. Бычков Д.В. Формулы и графики для расчета рам. Москва: Госиздат; 1957.

References

1. ST SEV 3972-83. Reliability of building structures and foundations. Steel structures. Moscow: Publishing standards; 1985. (In Russian).
2. SP 16.13330.2017. Steel structures. Updated version of SNiP II-23-81*. Moscow: Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation; 2017. (In Russian).
3. SP 294.1325800.2017. The construction of steel. Design rules. Moscow: Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation; 2017. (In Russian).
4. ANSI/AISC 360-22. Specification for Structural Steel Buildings [internet]. American Institute of Steel Construction; 2022. Available at: <https://www.aisc.org/globalassets/product-files-not-searched/publications/standards/a360-22w.pdf>.
5. LeMessurier W.J. Practical method of second order analysis. Part 2; Rigid frames. Engineering journal. 1977;14(2):49–67. <https://doi.org/10.62913/engj.v14i2.292>.
6. Kornoukhov N.V. Strength and stability of rod systems. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1949. (In Russian).
7. Ilyushenkov A.O. Stability of steel building structures. Moscow: ASV Publ.; 2023. (In Russian).
8. Bychkov D.V. Formulas and graphs for frame calculations. Moscow: Gosizdat Publ.; 1957. (In Russian).

Информация об авторе / Information about the author

Александр Олегович Ильюшенко, инженер промышленного и гражданского строительства, АО «Территориальный проектный институт «Хабаровскпромпроект», Хабаровск
e-mail: revivaltree@gmail.com

Alexander O. Ilyushenkov, Civil and Industrial Engineer, Civil and Industrial Engineer, Territorial Design Institute Khabarovskpromproekt JSC, Khabarovsk
e-mail: revivaltree@gmail.com

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-68-82](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-68-82)
УДК 624.072.2.014

EDN: JVBYMQ

ПРОВЕДЕНИЕ МОНИТОРИНГА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ РАДИОТЕЛЕВИЗИОННОЙ ПЕРЕДАЮЩЕЙ СТАНЦИИ В ГОРОДЕ ВЛАДИКАВКАЗЕ

Д.В. КОНДРАШОВ
Д.Ю. КОНЯШИН✉

Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В.А. Кучеренко
АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Представлены материалы по мероприятиям, проводимым сотрудниками Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций имени В.А. Кучеренко, в период с июля 2022 г. по март 2024 г. в процессе монтажа радиотелевизионной башни высотой 210 м в г. Владикавказе. В наиболее напряженных элементах конструкции, находящихся на отм. +1,700 и +40,047, были установлены механические тензометры, с которых снимались показания для получения картины напряженного состояния конструкции в целом. При этом проводился анализ данных, полученных от заказчика по результатам геодезической службы, выполняющей работы при строительстве.

Цель. Проведение мониторинга по разработанной в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко методике для наблюдения за состоянием отдельных конструкций и ответственных узлов антенно-башенного сооружения, а также для заблаговременного предупреждения и своевременного предотвращения возможных нештатных ситуаций при его возведении.

Материалы и методы. В статье приведены чертежи КМ и представлены выполненные авторами статьи фотографии используемых на возводимых стальных конструкциях измерительных приборов.

Результаты. Проведение мониторинга в процессе монтажа стальных строительных конструкций башни обеспечивало механическую безопасность сооружения путем контроля напряжений его наиболее нагруженных конструкций, а также путем анализа их перемещений и деформаций.

Выводы. Измерения напряженно-деформированного состояния и проведенный по полученным данным анализ показали, что напряжения и имеющиеся отклонения от проектного положения контрольных точек не превышали допустимых величин, приведенных в нормативных документах, действующих на территории Российской Федерации.

Ключевые слова: сталь, стальная конструкция, антенно-мачтовое сооружение, несущая способность, перемещения, деформации, жесткость, стержень

Для цитирования: Кондрашов Д.В., Коняшин Д.Ю. Проведение мониторинга напряженного состояния конструкций радиотелевизионной передающей станции в городе Владикавказе. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2025;45(2):68–82. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-68-82](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-68-82)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование выполнялось за счет заказчика – РТПС.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 28.03.2025

Поступила после рецензирования 04.05.2025

Принята к публикации 15.05.2025

STRESS-STRAIN STATE MONITORING FOR THE STRUCTURES OF THE RADIO AND TELEVISION TRANSMITTING STATION IN VLADIKAVKAZ

D.V. KONDRASHOV

D.Yu. KONYASHIN✉

Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract

Introduction. The article presents data on the activities carried by the Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko from July 2022 to March 2024 during the installation of a 210 m high radio and television transmitting tower in Vladikavkaz, Russian Federation. The most stressed structural elements located at 1.700 and 40.047 elevations were equipped with mechanical strain gauges to collect data on the stress-strain state of the whole structure. In addition, data of the geodetic survey performed during construction were analyzed.

Aim. To conduct stress-strain state monitoring according to the method developed by the Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko for individual structures and critical components of an antenna tower, as well as for early warning and timely preventing possible emergency situations during its construction.

Materials and methods. The article presents drawings of metal structures and photographs of measuring instruments used during construction.

Results. Mechanical safety of the tower steel structures was ensured by monitoring the stresses of their most heavily loaded elements, as well as their movements and deformations.

Conclusions. The analysis of the stress-strain state measurements showed that the stresses and existing deviations of control points from the design position are within the permissible values specified in the regulatory documents in force on the territory of the Russian Federation.

Keywords: steel, steel structure, antenna mast structure, bearing capacity, movement, strain, rigidity, rod

For citation: Kondrashov D.V., Konyashin D.Yu. Stress-strain state monitoring for the structures of the radio and television transmitting station in Vladikavkaz. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2025;45(2):68–82. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-68-82](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-68-82)

Authors contribution statement

All authors made equal contributions to the study and the publication.

Funding

The study was carried out at the expense of the customer Russian Television and Radio Broadcasting Network.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 28.03.2025

Revised 04.05.2025

Accepted 15.05.2025

Введение

В соответствии с ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» [1] мониторингу технического состояния подлежат уникальные здания и сооружения для повышения степени обеспечения их безопасного функционирования, а также для отслеживания степени и скорости изменения технического состояния их несущих конструкций и своевременного принятия в случае негативного изменения напряженно-деформированного состояния конструкций, экстренных мер по предотвращению их обрушений.

По терминологии Градостроительного Кодекса РФ [2] и статьи 15 Федерального закона № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [3] к уникальным относятся здания и сооружения с высотой, превышающей 100 м, а также сооружения, где используются конструкции и конструктивные схемы с применением нестандартных или специально разработанных методов расчета или требующих проверки на физических моделях.

Радиотелевизионная передающая станция (РТПС), возводимая в г. Владикавказе, имеет уровень ответственности сооружения «повышенный», класс сооружения КС-3, высоту по проекту 210 м, поэтому она относится к уникальным сооружениям, подлежащим мониторингу.

Первым положительным опытом проведения мониторинга с использованием разработанных сотрудниками ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» приборов был мониторинг покрытия Большой спортивной арены (БСА) «Лужники», проводившийся с 1996 года [4, 5].



Рис. 1. Патенты на используемые при мониторинге приборы
Fig. 1. Patents for monitoring instruments



Рис. 2. Прикрепление приборов ТМИ-500М к различным элементам конструкций
Fig. 2. Attachment of TMI-500M instruments to various structural elements

Используемые приборы

В процессе мониторинга в элементах конструкций радиотелевизионной передающей станции в г. Владикавказе [6] деформации (напряжения) измерялись запатентованными (рис. 1) ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко механическими тензометрами ТМИ-500М с использованием деформометров ИЧ-10 (рис. 2).

При определении деформаций учитывались поправки на температуру. Измерение температуры конструкции, штанги и калибра проводилось электронным контактным термометром ТК5-01П, изготовленным фирмой Техно АС (рис. 3).

Пределы измерений термометра расположены в диапазоне от -20 до $+200$ °С.



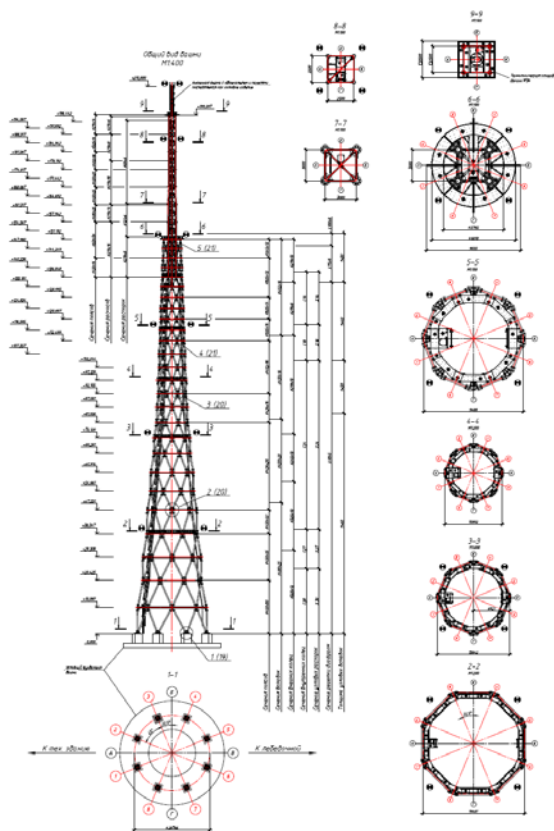
Рис. 3. Измерение температуры конструкции контактным термометром ТК5-01П
Fig. 3. Temperature measurements with a TK5-01P contact thermometer

Конструктивные особенности башни

Взамен устаревшей телевизионной вышки (рис. 4а) в 2022 г. в городе Владикавказе началось строительство новой башни. Радиотелевизионная передающая станция в городе Владикавказе по проекту представляет собой антенно-башенное сооружение – восьмиугольную решетчатую башню общей высотой 210 м с уменьшающимся кверху диаметром (от 28,766 м в основании и до 3 м вверху). Выше – квадратное сечение со стороной от 3 м, уменьшающееся по высоте до 2,5 м. Выше устанавливается готовая антенная ферма с обтекателями и панелями (рис. 4б).



a (a)



б (b)

Рис. 4. Устаревшая мачта (a) и геометрическая схема новой башни радиотелевизионной передающей станции (б) в г. Владикавказе

Fig. 4. Obsolete mast (a) and geometric scheme of a new radio and television transmitting tower (b) in Vladikavkaz

Сечения элементов башни – из круглых труб, собираемых в узлах на болтовых фланцевых соединениях. Узлы конструкции и стержни башни поставлялись заводом в готовом виде с фланцами (рис. 5). Конструкция монтировалась на каждом уровне по периметру башни с помощью кранов (рис. 6).

Организация и методика проведения измерений

Как известно, в случае использования электромеханических или электронных систем измерений возможна реальная угроза повреждения или утраты закрепленных на конструкциях самих приборов или соединительных кабелей для электромеханических датчиков. Также может привести к их повреждению воздействие на электромеханические или электронные датчики атмосферных осадков и электромагнитного излучения от сварочных работ или другого строительного-монтажного оборудования.

Принятая для проведения измерений система регистрации напряжений в элементах конструкций РТПС в г. Владикавказе с помощью механических тензометров типа ТМИ со съемными деформометрами является более надежной.

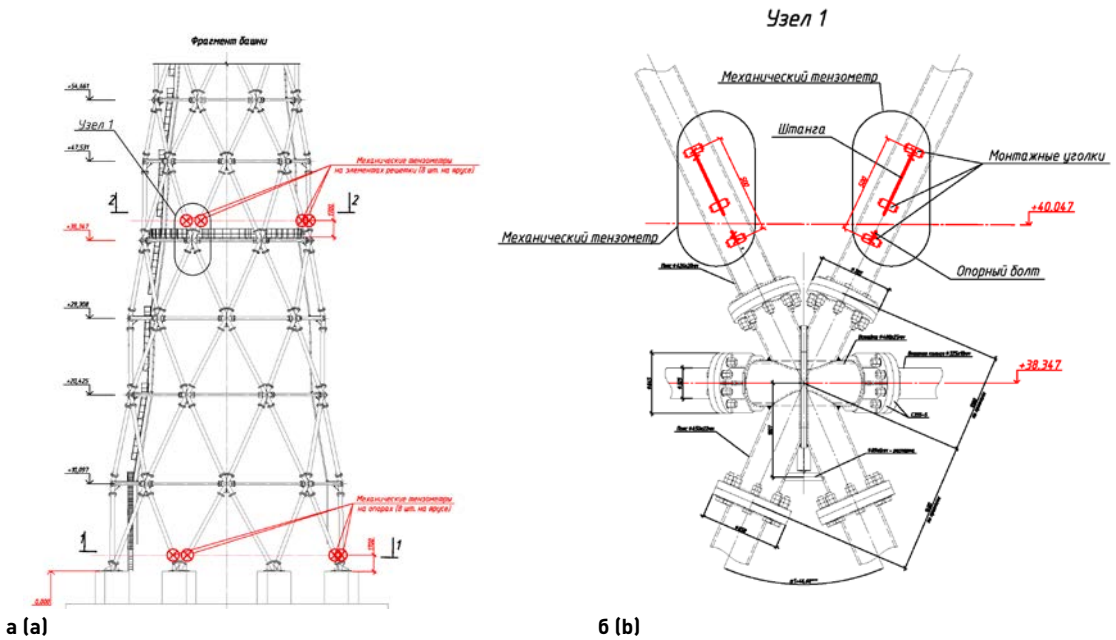


Рис. 5. Готовые к монтажу узлы и элементы и начало сборки конструкции башни
Fig. 5. Ready-to-install units and components and start of tower assembly

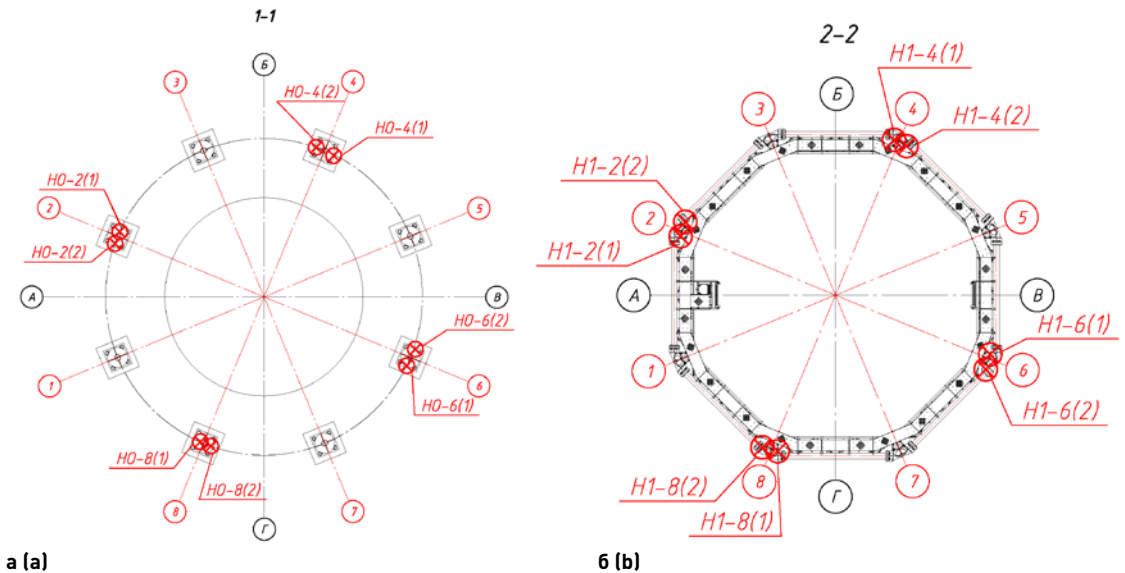




Рис. 6. Процесс монтажа уникальной башни радиотелевизионной передающей станции в г. Владикавказе
Fig. 6. Installation of a unique radio and television transmitting tower in Vladikavkaz



а (a) **б (b)**
Рис. 7. Общий вид фрагмента башни с местами установки тензорезисторов (а) и типовой узел фиксации их на высоте 1,7 м от отм. 0,000 и от отм. +38,347 (б)
Fig. 7. General view of a tower fragment with locations of strain gauges (a) and typical unit for fixing them at a height of 1.7 m from 0.000 and +38.347 elevations (b)



а (a) **б (b)**
Рис. 8. Схемы расположения механических тензорезисторов на высоте 1,7 м от отм. 0,000 (а) и от отм. + 38,347 (б)
Fig. 8. Schemes of arranging mechanical strain gauges at the height of 1.7 m from 0.000 (a) and +38.347 elevations (b)

Места расположения измерительных механических тензометров для проведения работ по мониторингу напряженного состояния конструкций башни в процессе монтажа представлены на рис. 7 и 8.

Установка приспособлений под механические тензометры типа ТМИ со съемными деформометрами и защитными устройствами для них показана на рис. 9.

Тензометр ТМИ-500М представляет собой базу с удлиненным стержнем, стационарно закрепляемую на исследуемой строительной конструкции, и съемное измерительное устройство (деформометр), выполненное на основе серийного индикатора часового типа ИЧ-10, с помощью которого определяется изменение длины измерительной базы, принятой для данного типа тензометра (500 мм).

Тарировка механического деформометра производится при помощи специально изготовленного в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко калибра (рис. 10 и 11) и осуществляется при проведении каждого цикла измерений.

После каждого этапа монтажа башни с деформометров снимались показания (рис. 12), которые сравнивались с нулевыми. По результатам измерений деформаций с помощью деформометров по закону Гука определялись напряжения в элементах башни. При этом учитывалась вся история нагружения конструкции с момента ее возведения до проведения измерения на текущем этапе.

Показание деформометра в составе механического тензометра позволяет определить напряжение, возникающее в месте установки прибора, по закону Гука:

$$\sigma = E\varepsilon,$$

где σ – напряжение в конструкции;

E – модуль упругости материала;

$\varepsilon = \Delta L/L$ – относительная деформация;

ΔL – абсолютная деформация;

L – измерительная база прибора (в данном случае 50 см).

Если одно деление шкалы прибора ИЧ-10 (ΔL) составляет 0,01 мм, или 0,001 см, абсолютная деформация, соответствующая одному делению шкалы прибора, будет соответствовать напряжению $\sigma = 2,1 \times 10^6 \times (0,001/50) = 42 \text{ кг/см}^2 = 4,2 \text{ МПа}$.

При определении деформации волокна сечения элемента конструкции, полученная от внешних нагрузок, при измерении ее механическим тензометром ТМИ-500М, суммировалась с температурными деформациями.

Учет температурных поправок вводится из-за того, что температура самой конструкции, температура штанги базы механического тензометра и температура контрольного калибра прибора могут различаться. В общем виде база тензометра, штанга и скоба калибра характеризуются длиной (L , $L_{\text{ш}}$, $L_{\text{к}}$) и температурой (t , $t_{\text{ш}}$, $t_{\text{к}}$) соответственно.

Штанга, база тензометра и контрольный калибр изготовлены из одинаковой стали и имеют коэффициент линейного расширения, равный $\alpha = 12 \times 10^{-6}$. В зависимости от базы тензометра длина штанги $L_{\text{ш}} = \beta \times L$ и длина калибра $L_{\text{к}} = \xi \times L$. Здесь β и ξ – части базы тензометра, $\beta + \xi = 1$.

Разность температуры базы тензометра и штанги $\Delta t_{\text{ш}} = t - t_{\text{ш}}$. Деформация штанги от действия температуры будет равна $\Delta_{\text{ш}} = \alpha \times \Delta t_{\text{ш}} \times L_{\text{ш}}$.



Рис. 9. Приварка элементов базы тензометра к конструкции башни и его настройка. Установка защитного устройства на тензомер

Fig. 9. Welding of strain gauge elements to the tower structure and its adjustment. Installation of a protective device on a strain gauge

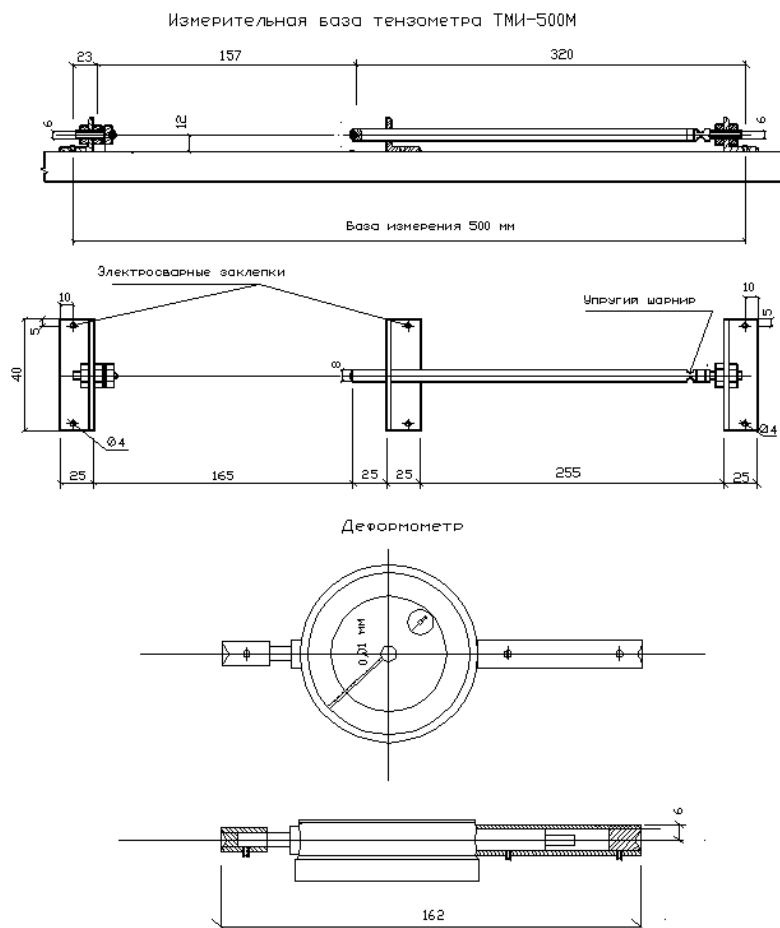


Рис. 10. Схема и общий вид механического тензомера ТМИ-500М и деформометра типа ИЧ-10
Fig. 10. Scheme and general view of the TMI-500M mechanical strain gauge and ICH-10 strainmeter

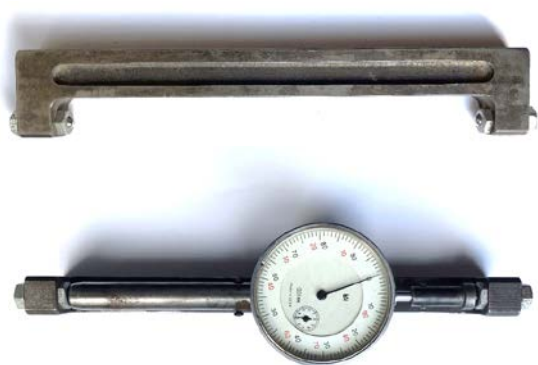


Рис. 11. Вид калибра и тарировка деформометра с его помощью
Fig. 11. Calibrating device and strain gauge calibration

Разность температуры базы тензомера и калибра $\Delta t_c = t - t_c$. Деформация калибра от действия температуры $\Delta \epsilon_c = \alpha \times \Delta t_c \times L_c$.

Общая деформация от действия температуры $\Delta t = \Delta_{\text{ш}} + \Delta_c$, или:

$$\Delta t = \alpha \times (t - t_{\text{ш}}) \times \beta \times L + \alpha \times (t - t_c) \times \xi \times L = \alpha \times L \times [t(\beta + \xi) - \beta \times t_{\text{ш}} - \xi \times t_c].$$

Учитывая, что $\beta + \xi = 1$, а одно деление деформометра ТМИ-500М составляет 0,01 мм, температурную деформацию следует вычислять по формуле:

$$\Delta t = 100 \times \alpha \times L \times (t - \beta \times t_{\text{ш}} - \xi \times t_c).$$



Рис. 12. Снятие показаний с деформометров
Fig. 12. Taking readings from strain gauges

Для механического тензометра ТМИ-500М (при $L = 500$ мм; $L_{\text{ш}} = 305$ мм; $L_c = 195$ мм; $\alpha \times L = 12 \times 10^{-6} \times 500 = 0,006$ мм; $\beta = 0,61$; $\xi = 0,39$) формула для вычисления температурной деформации принимает вид:

$$\Delta t = 0,234 \times (t - t_c) + 0,366 \times (t - t_{\text{ш}}),$$

здесь Δt измеряется в количестве делений индикатора.

Результаты измерений напряженного состояния

В период проведения мониторинга **снятие отсчетов** производилось с деформометров, установленных на фактических местах: на отм. +1,700 и на отм. +40,047 (отметка 1,7 м принята исходя из удобства расположения приборов во время монтажа и дальнейшей работы по выполнению замеров), и фиксировалось в промежуточных отчетах по 9-ти этапам.

В результате анализа полученных данных было выявлено, что элементы башни испытывают сжатие от веса вышевозведенных элементов. Фактическая ветровая нагрузка не оказывала существенного влияния на напряженное состояние башни на момент проведения измерений. Однако на отдельных элементах она начинает уменьшать сжатие от собственного веса элементов башни. С увеличением высоты сооружения этот факт более нагляден.

Максимальные напряжения в элементах конструкции (без учета сейсмической нагрузки) составили 462 кгс/см², что позволяет прогнозировать обеспечение несущей способности конструкции при возможном увеличении действующих нагрузок.

Геодезическое наблюдение за состоянием конструкций башни выполнялось с периодичностью, совпадающей с периодичностью мониторинга напряженного состояния.

Для оценки перемещений конструкции башни был выполнен анализ данных геодезических измерений, проводимых ПСК «БелЭнергоСтрой» [7], где представлены исполнительные геодезические схемы вертикальности ствола секций от 0,2 до 199,967 м по высоте, а также выполнена съемка вертикальности всех конструкций башни.

Анализ представленных результатов съемки в период мониторинга показал, что измеренные реальные величины отклонений не превышали предельных допустимых значений, указанных в СП 70.13330.2012 [8].

Выводы

1. Элементы смонтированных стальных конструкций радиотелевизионной башни в г. Владикавказе испытывали в основном сжимающие напряжения от собственного веса конструкций башни.
2. Ветровая нагрузка в момент измерений не оказывала существенного влияния на несущую способность элементов башни.
3. Сейсмическая нагрузка на башню на момент измерений не зафиксирована.
4. Максимальные напряжения в элементах конструкции (без учета сейсмической нагрузки) составили 462 кгс/см².
5. Измерения параметров деформированного состояния и проведенный по полученным данным анализ показали, что имеющиеся отклонения от проектного положения контрольных

точек не превышали допустимых величин, приведенных в нормативных документах, действующих на территории Российской Федерации.

6. Работу по измерению напряженно-деформированного состояния следует считать законченной. Каркас башни успешно собран и ее несущая способность **обеспечена**.

7. Результаты научно-технического сопровождения (в т. ч. мониторинга) строительства башни позволили считать техническое состояние смонтированной башни **исправным** (по ГОСТ 31937-2011 [1]).

Список литературы

1. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Москва: Стандартинформ; 2014.
2. Градостроительный Кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ [интернет]. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=489371>.
3. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Ст. 15 [интернет]. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=475858>.
4. Фарфель М.И., Гукова М.И., Кондрашов Д.В., Коняшин Д.Ю. Апробированная методика проведения мониторинга в зданиях и сооружениях. Вестник НИЦ «Строительство». 2021;28(1):110–123. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1\(28\)-110-123](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1(28)-110-123).
5. Егоров М.И., Баранов Д.С. Мониторинг напряженно-деформированного состояния несущих конструкций уникальных сооружений Москвы. Промышленное и гражданское строительство. 2001;(10):14–17.
6. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство». Программа проведения работ по мониторингу конструкций антенно-мачтового сооружения высотой 210 м объекта «Строительство радиотелевизионной передающей станции (РТПС) в г. Владикавказе. Москва; 2022.
7. ООО «ПСК «БелЭнергоСтрой». Строительство радиотелевизионной передающей станции (РТПС) в городе Владикавказе. Шифр ДТР-257-15-1-КМ. Исполнительные схемы геодезического контроля: положения вертикальности ствола с отм. +0.200 до отм. +199.967м. Исполнительные схемы №1/С21-2024 г.
8. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. Москва: Минрегион России; 2012.

References

1. State Standard 31937-2011. Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of the technical condition. Moscow: Standartinform Publ.; 2014. (In Russian).
2. Urban Development Code of the Russian Federation of December 29, 2004 No. 190-FZ [internet]. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=489371>. (In Russian).
3. Federal Law of December 30, 2009 No. 384-FZ “Technical regulations on the safety of buildings and structures”. Article 15 [internet]. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=475858>. (In Russian).
4. Farfel M., Gukova M., Kondrashov D., Konyashin D. Proven methods of monitoring in buildings and structures. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2021;28(1):110-123. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1\(28\)-110-123](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1(28)-110-123).
5. Egorov M.I., Baranov D.S. Monitoring the stress-strain state of load-bearing structures of unique buildings in Moscow. Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering. 2001;(10):14–17. (In Russian).
6. Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction. Program for monitoring the structures of a 210-meter-high antenna-mast structure of the “Construction of a radio and television transmitting station (RTPS) in Vladikavkaz”. Moscow; 2022. (In Russian).

- 7.** BelEnergostroy PSC LLC. Construction of a radio and television transmitting station (RTPS) in Vladikavkaz. Code DTR-257-15-1-KM. Executive schemes of geodetic control: shaft verticality positions from elevation +0.200 to elevation +199.967 m. Executive schemes No. 1/C21-2024. (In Russian).
- 8.** SP 70.13330.2012. Load-bearing and separating constructions. Updated version of SNiP 3.03.01-87. Moscow: Ministry of Regional Development of Russia; 2012. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Дмитрий Владимирович Кондрашов, ведущий научный сотрудник отдела металлических конструкций, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: dkondras@mail.ru

тел.: +7 (499) 174-73-25

Dmitry V. Kondrashov, Leading Researcher, Department of Metal Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: dkondras@mail.ru

tel.: +7 (499) 174-73-25

Дмитрий Юрьевич Коняшин[✉], старший научный сотрудник отдела металлических конструкций, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: dkon10@yandex.ru

тел.: +7 (499) 174-77-93

Dmitry Yu. Konyashin[✉], Senior Researcher, Department of Metal Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: dkon10@yandex.ru

tel.: +7 (499) 174-77-93

[✉]Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-83-94](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-83-94)
УДК 699.941; 624.07; 699.81699.81

EDN: HZYGZI

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЖАРА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКТИВНОЙ ОГНЕЗАЩИТЫ КАБЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ АЭС

Д.И. ПУЦЕВ¹, д-р техн. наук

А.В. БЕСПАЛОВ²

С.Ю. МИШИНА²

Ю.М. ГРОШЕВ^{2,✉}, канд. техн. наук

¹ ООО «Научно-технический центр «Промышленная и пожарная безопасность» (ООО «НТЦ ППБ»), ул. Свердлова, д. 65, офис 5, г. Балашиха, 143900, Российская Федерация

² АО «Атомэнергoproject», Бакунинская ул., д. 7, стр. 1, г. Москва, 107996, Российская Федерация

Аннотация

Введение. В статье приведено обоснование применения полевого моделирования пожара для обоснования эффективности конструктивной огнезащиты кабельных каналов в помещениях АЭС.

Цель. Расчетно-аналитическое обоснование проектных решений по защите систем безопасности в части физического разделения кабельных трасс разных каналов безопасности.

Материалы и методы. Представлены материалы исследований с применением полевого метода расчета локальных параметров пожара внутри кабельных конструкций, выполненных из огнезащитных материалов с нормируемым пределом огнестойкости.

Результаты. На основании анализа экспериментальных данных о развитии пожара закрытых кабельных трасс сделаны выводы о специфике развития внутреннего пожара в кабельных коробах. Расчетно-аналитические исследования с использованием полевого метода расчета динамики пожара позволили расширить область исследования и определить типичные параметры пожара в кабельных коробах, изготовленных из современных огнезащитных материалов. Представленный в статье аналитический метод использован для обоснования эффективности конструктивной огнезащиты кабельных каналов в помещениях АЭС.

Выводы. Проведенные расчетно-аналитические исследования протекания пожаров в кабельных каналах могут представлять интерес при разработке проектных решений по строительству, реконструкции и капитальному ремонту кабельного хозяйства АЭС, могут быть использованы для обоснования требований к противопожарной защите кабельных трасс и кабельных сооружений при проектировании и строительстве АЭС. Полученные результаты могут быть использованы при разработке/уточнении нормативных документов по обеспечению пожарной безопасности строящихся АЭС. Могут быть актуальны при разработке проектных решений по строительству, реконструкции и капитальному ремонту кабельного хозяйства АЭС, при перекладке и замене кабельной продукции на действующих АЭС.

Ключевые слова: полевой метод моделирования пожара, кабельные трассы, опасные факторы пожара, кабельный короб, огнезащита, АЭС, пожарная безопасность

Для цитирования: Пуцев Д.И., Беспалов А.В., Мишина С.Ю., Грошев Ю.М. Применение полевого моделирования пожара для обоснования эффективности конструктивной огнезащиты кабельных каналов

в помещениях АЭС. Вестник НИЦ «Строительство». 2025;45(2):83–94. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-83-94](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-83-94)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование выполнялось за счет средств ФГБУ ВНИИПО МЧС России, ООО «НТЦ ППБ».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 01.11.2024

Поступила после рецензирования 16.04.2025

Принята к публикации 24.04.2025

APPLICATION OF FIELD FIRE MODELING TO VALIDATE STRUCTURAL FIRE PROTECTION FOR CABLE DUCTS IN NUCLEAR POWER PLANTS

D.I. PUTSEV¹, Dr. Sci. (Engineering)

A.V. BESPALOV²

S.Yu. MISHINA²

Yu.M. GROSHEV^{2,✉}, Cand. Sci. (Engineering)

¹ Scientific and Technical Centre “Industrial and Fire Safety” (NTC PPB), Sverdlova str., 65, office 5, Balashikha, 143900, Russian Federation

² JSC Atomenergoproekt, Bakuninskaya str., 7, bld. 1, Moscow, 107996, Russian Federation

Abstract

Introduction. This article presents the validation of using field fire modeling to evaluate the effectiveness of structural fire protection for cable ducts in nuclear power plant (NPP) premises.

Aim. This article aims to provide computational and analytical validation of design solutions for protecting safety systems, particularly the physical separation of cable routes for different safety channels.

Materials and methods. In this study, the field method was used to calculate local fire parameters within cable structures made from fire-resistant materials with a regulated fire resistance limit.

Results. Based on an analysis of experimental data regarding the development of fires in enclosed cable routes, conclusions were drawn about the specifics of fire development within cable trays. Computational and analytical studies that used the field method to calculate fire dynamics expanded the scope of the research and identified typical fire parameters in cable trays made from modern, fire-resistant materials. The analytical method presented in this article was employed to validate the effectiveness of structural fire protection for cable ducts in NPP premises.

Conclusions. Computational and analytical studies of fire behavior in cable ducts are important for developing design solutions for constructing, reconstructing, and making major repairs to cable systems in nuclear power plants. These studies can validate fire protection requirements for cable routes and structures during the design and construction of NPP. The results may also be used to develop or refine regulatory documents that ensure fire safety in NPPs under construction. The results are also relevant for developing design solutions for constructing, reconstructing, and making major repairs to cable systems, as well as for replacing and re-laying cable products in operating NPPs.

Keywords: field fire modeling method, cable routes, hazardous fire factors, cable tray, fire protection, nuclear power plant, fire safety

For citation: Putsev D.I., Besspalov A.V., Mishina S.Yu., Groshev Yu.M. Application of field fire modeling to validate structural fire protection for cable ducts in nuclear power plants. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2025;45(2):83–94. [In Russian]. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-83-94](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-83-94)

Authors contribution statement

All authors made equal contributions to the study and the publication.

Funding

The study was carried out with the financial support of FGBU VNIPO EMERCOM of Russia, NTC PPB.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 01.11.2024

Revised 16.04.2025

Accepted 24.04.2025

Введение

Выполнено расчетно-аналитическое обоснование проектных решений по защите систем безопасности в части физического разделения кабельных трасс разных каналов безопасности. В результате расчетов полей скоростей и температуры при развитии и установившемся (развитом) режиме горения кабельных трасс различной конфигурации на свободном пространстве было установлено следующее.

Прокладки кабелей в конструктивной огнезащите, выполненные в виде огнестойких коробов или зашивок, уже реализованы на энергоблоках АЭС. При повышении температуры внутри коробов с конструктивной огнезащитой выше допустимой температуры эксплуатации кабелей применяются вентилируемые короба с установкой в них вентиляционных блоков (лючков), обеспечивающих требуемый предел огнестойкости при пожаре. Необходимость и количество вентиляционных блоков (лючков) обоснованы расчетом тепловыделений кабельных линий.

В объеме защитной герметичной оболочки здания реактора АЭС кабельные трассы разных каналов системы безопасности по требованиям нормативных документов должны прокладываться в металлических коробах. При такой прокладке, не обеспечивающей локализацию горения внутри кабельной конструкции, велика вероятность распространения пожара на соседние кабельные трассы, в том числе трассы систем безопасности реакторной установки.

Специфика методики расчета локальных параметров пожара

Для описания термогазодинамических параметров пожара применяются три основных группы детерминистических моделей: интегральные, зонные (зональные) и полевые.

Методики расчета локальных параметров пожара, полевые методы основаны на непосредственном решении изначально точных уравнений сохранения и переноса массы, энергии, количества движения. Расчеты выполняются для геометрии помещений, приближенной

к реальной. Указанные особенности полевых моделей позволяют получать результаты высокой достоверности для рассматриваемых случаев, несмотря на трудоемкость процесса моделирования.

Рассматриваемые огнезащитные кабельные конструкции имели нормированный предел огнестойкости по результатам сертификационных испытаний в условиях «стандартного» пожара. В проведенных исследованиях полевое моделирование использовалось для оценки устойчивости огнезащищенных кабельных конструкций к специфическому огневому воздействию внутреннего пожара.

Оценка защищенности кабельных линий при прокладке в конструктивной огнезащите

В соответствии с требованиями п. 3.4 СП 13.13130.2009 [1] при компоновке следует исключать размещение элементов разных каналов систем безопасности, а также элементов безопасности и нормальной эксплуатации в одной пожарной зоне. При выполнении этого условия обеспечение безопасности достигается при условии ликвидации пожара в пределах пожарной зоны в течение расчетного времени, равного минимальному пределу огнестойкости противопожарных преград.

При отсутствии возможности физического разделения и при размещении в одной пожарной зоне элементов разных каналов безопасности, элементов каналов безопасности и нормальной эксплуатации локализация пожара и его ликвидация должны быть обеспечены на начальной стадии развития в пределах одного канала системы безопасности.

В качестве меры по предотвращению отказов по общей причине систем безопасности, как правило, проектными решениями не допускается прокладка кабелей разных каналов систем безопасности в пределах одного помещения.

Применяются следующие способы защиты:

- прокладка кабелей к потребителям в трубах, заложенных в бетоне перекрытий и стен;
- прокладка кабелей к потребителям в трубах, заложенных в чистых полах;
- зашивка кабельных трасс в конструктивную огнезащиту из материалов, имеющих сертификаты для применения на АЭС, огнестойкостью не менее 1,5 часа.

При этом в зашивках кабельных трасс предусмотрены пассивные элементы – решетки для теплоотвода от кабелей, выполненные из материалов, вспучивающихся при пожаре таким образом, что решетки для теплоотвода при пожаре закрываются. Внутри таких зашивок может прокладываться термокабель пожарной сигнализации.

Обоснование достаточности принятых пределов огнестойкости конструктивной огнезащиты

Конструктивная огнезащита должна обеспечивать заданную проектом огнестойкость для:

- обеспечения безопасности выделенных кабельных потоков;
- локализации загорания в зоне, выделенной данными конструкциями, до полного выгорания пожарной нагрузки/кислорода или в течение времени тушения.

При проектировании АЭС можно выделить несколько вариантов конструктивной огнезащиты в соответствии с назначением:

1. Конструктивная огнезащита предназначена для выделения кабельной нагрузки от общего объема помещения в пределах своего канала безопасности.

2. Конструктивная огнезащита предназначена для отделения кабельных трасс канала систем безопасности от кабельных трасс нормальной эксплуатации.

3. Конструктивная огнезащита предназначена для отделения кабельных трасс одного канала систем безопасности от кабельных трасс другого канала.

В первом случае назначение требуемого предела огнестойкости конструктивной огнезащиты не менее 90 минут является консервативным требованием, по сути сформулированным по аналогии к требованию по огнестойкости к границам пожарных зон. Показано, что продолжительность стандартного пожара в технологических помещениях практически не превышает 60 минут. Причем эта продолжительность определена из условия, что пожарная нагрузка от кабельных трасс включена в суммарную пожарную нагрузку помещения.

Во втором и третьем случаях требуемый предел огнестойкости конструктивной огнезащиты также установлен по аналогии с требованиями к огнестойкости границ пожарных зон. При этом конструктивная огнезащита рассматривается как ограждающая строительная конструкция, на которую воздействуют опасные факторы пожара в помещении, то есть принятие требуемого предела огнестойкости конструктивной огнезащиты как для границы пожарной зоны также является консервативным подходом.

При возникновении пожара внутри короба конструктивная огнезащита также должна рассматриваться как ограждающая строительная конструкция, на которую воздействуют опасные факторы пожара. Однако в этом случае оценить параметры воздействия пожара внутри короба сложнее, отсутствуют какие-либо методики для проведения испытаний на внутреннее воздействие.

В ряде работ ФГБУ ВНИИПО МЧС России были проведены экспериментальные исследования пожарной опасности кабельных трасс при различных способах прокладки, в том числе при прокладке в коробах.

Обработка экспериментальных данных позволила получить зависимость вероятности перерастания загорания в скорость распространения пламени, которая представлена в виде аппроксимированной кривой.

Собранная в ФГБУ ВНИИПО МЧС России статистика пожаров показывает, что в случае локального загорания проводов и кабелей, проложенных в коробе, имеет место распространение пламени по всей трассе. Отсутствие экспериментально проверенных данных по этому вопросу вызвало необходимость проведения исследований по определению скорости распространения пламени по проводам и кабелям, проложенным в коробе. Исследования были проведены как для кабелей с пластмассовой, так и для кабелей с резиновой изоляцией. В проводимых экспериментах были использованы провода марки АПВ, кабели марки АВВГ и АПВГ различных сечений, которые располагались многослойно и пучками.

Программой исследований была предусмотрена проверка распространения пламени в зависимости от различного заполнения сечения короба. Образцы располагались горизонтально и вертикально, при этом температура окружающего воздуха поддерживалась 20 °С при скорости воздушного потока 0,35 м/с, направленного вдоль короба.

Зажигание проводов и кабелей осуществлялось пламенем газовой горелки, в одних опытах – с конца короба, в других – в средней его части, воздействуя на стенку короба. Воспламенение и распространение пламени по проводам и кабелям имело место при определенном

коэффициенте заполнения сечения короба как в первом, так и во втором случаях. Полученные значения скорости распространения пламени представлены в табл. 1.

При заполнении сечения короба до 7,5 % горючей загрузки, состоящей из ПВХ изоляции проводов и кабелей, недостаточно для перерастания каждого зажигания в устойчивое горение, поэтому значение вероятности может изменяться от 0 до 1. Увеличение же заполнения свыше 40 % дает плавное снижение вероятности до 0. Это можно объяснить тем, что при разложении изоляции свободный над электропроводкой промежуток заполняется продуктами разложения и вытесняет кислород, в результате чего его концентрация понижается до значения, исключающего распространение горения внутри короба.

При одинаковом заполнении короба скорость распространения пламени выше на вертикальном участке электропроводки, ее увеличение обусловлено большим тепловым потоком, направленным к верху от места горения, поэтому близлежащие к месту горения слои изоляции прогреваются до температуры воспламенения в верхней части быстрее, увеличивая тем самым скорость перемещения пламени вверх.

Провода и кабели в коробах разрешается прокладывать вплотную друг к другу в один или несколько слоев и пучками. Эти способы и были исследованы.

Эксперименты проводились с кабелем марки АВВГ и проводом АПВ.

При многослойной прокладке, когда все провода и кабели в коробе располагались строго параллельно, с увеличением заполнения сечения короба скорость распространения пламени увеличивается, а факторы, влияющие на ее величину, изложены выше.

В случае прокладки проводов и кабелей пучками распространение горения их происходило лишь при заполнении сечения короба на 15 % и отсутствовало при заполнении на 7,5 и 40 %. Это объясняется тем, что горение пучков происходит по их образующей поверхности, так как они лучшегреваются, чем участки кабелей и проводов, плотно соприкасающиеся друг с другом.

Для расширения области исследований параметров пожара кабелей, проложенных в кабельных коробах, в том числе анализа развития горения в кабельных коробах из современных огнезащитных материалов, которые не были рассмотрены в ходе экспериментальных исследований ВНИИПО, была приведена серия расчетов внутреннего пожара в коробах с использованием полевого метода моделирования пожара.

Для уточнения возможности распространения пожара между защищенными кабельными трассами были выполнены расчеты пожаров в типичных конструкциях, имеющих габариты 600 × 400 мм и длину 30 и 18 м.

Таблица 1

Скорость распространения пламени для различного заполнения сечения короба

Table 1

Flame spread rate for different fillings of the tray cross-section

Заполнение сечения короба, %	Скорость распространения пламени, м/с	
	прокладка горизонтально	прокладка вертикально
7,5	0,000317	0,001700
15	0,000333	0,000880
30	0,000400	0,000530
40	0,000000	0,000000

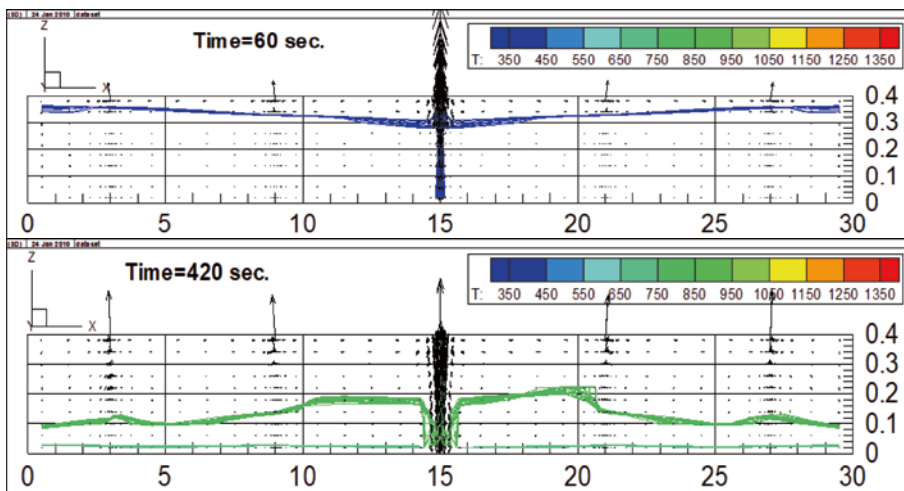
Проводился расчет распространения горения кабельной трассы при локальном возгорании и распространения пожара внутри короба. При расчете задавалось условие отсутствия теплового потока в конструкцию кабельного короба, поскольку физические свойства исследуемых огнезащитных материалов близки к свойствам теплоизоляции. Адиабатические условия на внутренней поверхности короба не приводят к значительной погрешности вследствие выполнения конструктивной огнезащиты из материалов с очень низкими значениями коэффициента теплопроводности и, соответственно, коэффициента температуропроводности. Кроме того, погрешность из-за принятия адиабатического граничного условия на границе конструкции приводит к некоторому занижению теплотерьер и оказывает влияние в сторону повышения требований по безопасности.

Анализ пожаров кабелей в конструктивной огнезащите проводился для огнезащиты трасс максимального сечения из представленных на момент проведения анализа, в том числе и для максимального участка между перегородками (30 м) при наиболее опасной загрузке короба ~30 %.

На рис. 1 приведена динамика полей распределения абсолютной температуры для конструкции 600×400 мм, длиной 30 м, на рис. 2 – динамика полей распределения массовой концентрации кислорода в конструкции 600×400 мм, длиной 30 м, на рис. 3 – динамика распределения массовой концентрации продуктов горения для конструкции 600×400 мм, длиной 30 м.

Выводы и мероприятия по обеспечению эффективности пассивной защиты

При рассмотрении результатов экспериментальных исследований выяснилось, что распространение пожара внутри кабельных конструкций во многих случаях происходит быстрее, чем при открытой проводке кабельных линий на лотках.



за

Рис. 1. Динамика полей распределения абсолютной температуры, К
Fig. 1. Dynamics of absolute temperature field distribution, K

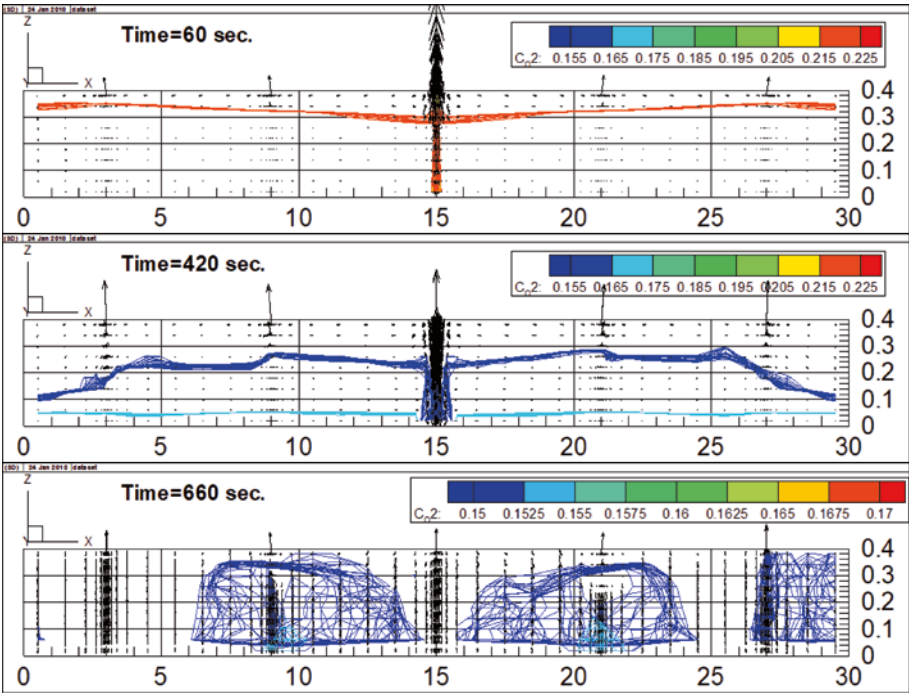


Рис. 2. Динамика полей распределения массовой концентрации кислорода
Fig. 2. Dynamics of oxygen mass concentration field distribution

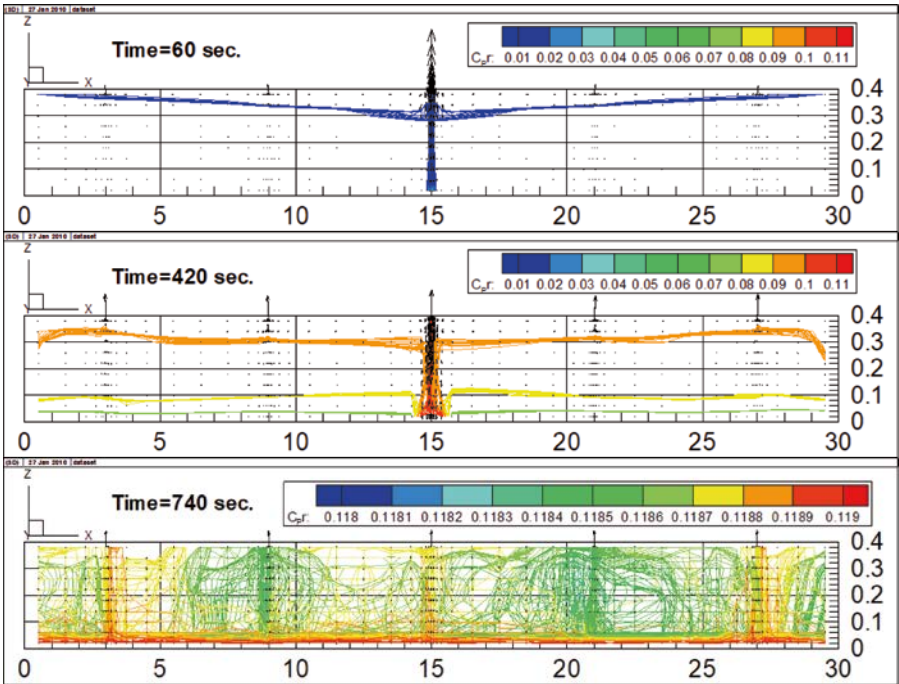


Рис. 3. Динамика полей распределения массовой концентрации продуктов горения
Fig. 3. Dynamics of combustion product mass concentration fields

Для изучения динамики возможных пожаров в кабельных конструкциях при прокладке в ряде помещений систем безопасности и для оценки уровня воздействия опасных факторов пожара на персонал и оборудование АЭС необходимо получить характеристики максимального термического воздействия и выброса продуктов непосредственно для помещения, в котором расположены кабельные трассы.

С целью получения максимальных параметров пожара и разработки вариантов оптимального использования конструктивной огнезащиты проведены следующие расчетные исследования:

- моделирование пожара участка кабельной конструкции максимального сечения 600×400 мм, длиной 30 м;
- влияние степени герметизации кабельной конструкции (расчет герметичной кабельной конструкции);
- влияние длины участка кабельной конструкции на параметры пожара и внешнее воздействие;
- влияние места загорания в кабельной конструкции на параметры пожара и внешнее воздействие.

При проведении расчетов использовались наиболее консервативные сценарии:

- минимальная нагрузка кабельной конструкции (максимальное количество кислорода и минимальное сопротивление распространению продуктов горения по длине), достаточная для распространения горения и поддержания горения в течение всего пожара;
- отсутствие теплопотерь в стенке кабельной конструкции и в окружающее пространство через стенки конструкции, поскольку материал стенок фактически является теплоизоляцией (адиабатические граничные условия на стенке);
- место пожара находится под вентиляционным отверстием (при его наличии), что приводит к выбросу продуктов горения с максимальной температурой и концентрацией.

Выводы по эффективности конструктивной огнезащиты для разделения каналов систем безопасности

Во всех расчетных случаях наблюдается начальное распространение горения по длине и начало объемного пожара после прогрева кабельной конструкции. Объемный пожар не носит длительный характер вследствие выгорания кислорода в объеме конструкции.

Максимальная среднеобъемная температура внутри конструкции: ~ 1000 К – для негерметичной конструкции, 1280 К – для герметичной. Максимальный выход продуктов горения в помещение равен $\sim 0,9$ кг.

Максимальная температура пожара внутри конструктивной огнезащиты не превышает значений «стандартного» пожара при времени, равном пределу огнестойкости конструктивной огнезащиты, при этом максимальная продолжительность пожара не превышает 10 минут. Поэтому интегральное термическое воздействие на огнезащитные конструкции, прошедшие огневые испытания в рамках сертификации, не превышает испытательные воздействия при проведении сертификации, огнезащитные конструкции при внутреннем пожаре не повреждаются и обеспечивают огнезащиту соседних кабельных трасс при их совместной прокладке.

Пожар в объеме конструктивной огнезащиты на участке меньшей длины приводит к снижению общего количества продуктов горения, поступающих в помещение. При этом

происходит более интенсивный выброс продуктов горения при развитии пожара вследствие большей интенсивности прогрева и скорейшего перехода в объемный режим пожара внутри конструкции. Изменение интенсивности незначительно.

Смещение места начала горения в конструкции к границе участка конструкции приводит к ускорению прогрева и скорейшему наступлению самовозгорания в пристеночной области. При этом значительного увеличения общей интенсивности пожара не происходит вследствие замедления прогрева остального объема конструкции в начале горения.

Таким образом, проектный уровень конструктивной огнезащиты кабельных трасс (90 минут) в рассмотренных случаях является достаточным для защиты трасс каналов СБ при совместной прокладке как при горении соседней трассы, так и при внешнем пожаре. При этом, с целью ограничения воздействия внешнего пожара на конструкции и оборудование АЭС, необходимы мероприятия для снижения длительности горения в помещениях с большой пожарной нагрузкой.

Заключение

1. Созданная и апробированная полевая модель динамики пожара предназначена для проведения расчетов с учетом специфики пожарной опасности и технологических особенностей атомной станции. Полевая модель динамики пожара оптимизирована с учетом специфики АЭС, ее реализация осуществлена в рамках комплекса программного обеспечения Fire Dynamics.

2. Полевой метод, основанный на непосредственном решении уравнений сохранения и переноса физических величин, является наиболее универсальным из существующих детерминистических методов, поэтому он широко может использоваться для определения/уточнения требований к огнестойкости несущих и ограждающих конструкций помещений АЭС.

3. Применение предложенной полевой модели поможет обосновать необходимость создания нормативного документа (атласа) обустройства кабельных линий (потоков) для организации линий, в том числе и каналов безопасности. Это позволит сократить расчеты при проектировании сложных участков АЭС, в том числе гермообъема, межболочного пространства, щитов управления, подщитовых помещений. Это позволит обосновать достаточность принятых пределов огнестойкости строительных конструкций и огнепреграждающих барьеров зданий и помещений исходя из обеспечения нераспространения пожара за пределы пожарной зоны в течение расчетного времени свободного выгорания всей пожарной нагрузки.

4. На основе проведенного анализа и расчетно-аналитического исследования протекания пожаров в кабельных каналах ряда атомных станций можно сделать вывод о возможности расчетно-аналитического обоснования и подтверждения того, что проектный уровень конструктивной огнезащиты кабельных трасс (90 минут) рассмотренных объектов является достаточным для защиты трасс каналов СБ при совместной прокладке как при горении соседней трассы, так и при внешнем пожаре.

5. Проведенные расчетно-аналитические исследования протекания пожаров в кабельных каналах могут представлять интерес при разработке проектных решений по строительству, реконструкции и капитальному ремонту кабельного хозяйства АЭС, могут быть использованы для обоснования требований к противопожарной защите кабельных трасс и кабельных сооружений при проектировании, строительстве и эксплуатации АЭС, при разработке проектных решений по строительству, реконструкции и капитальному ремонту кабельного хозяйства АЭС, при перекладке и замене кабельной продукции на действующих АЭС.

Список литературы

1. СП 13.13130.2009. Атомные станции. Требования пожарной безопасности. Москва: МЧС России; 2009.
2. Пуцев Д.И., Кривцов Ю.В., Грошев Ю.М., Лобанова Н.А. Оценка возможности применения полевого моделирования пожара для проведения расчетов пожаров в зданиях и помещениях. Вестник НИЦ «Строительство». 2023;37(2):37–70. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2\(37\)-37-70](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2(37)-37-70).
3. Пуцев Д.И., Мишина С.Ю., Грошев Ю.М. Обоснование мероприятий по обеспечению необходимых пределов огнестойкости ограждающих конструкций помещений АЭС с применением полевого моделирования пожара. Вестник НИЦ «Строительство». 2024;40(1):49–60. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1\(40\)-49-60](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1(40)-49-60).
4. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: Методические рекомендации [интернет]. Москва: ВНИИПО; 2003. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293808/4293808018.pdf>.
5. Карпов А.В., Рыжов А.М. Рекомендации по применению полевого метода математического моделирования пожара. Москва: ВНИИПО; 2002.
6. Рекомендации по оценке пожароуязвимости систем (элементов), важных для безопасности, на Российских АЭС. Москва: ВНИИАЭС; 2000.
7. Молчадский И.С., Астахова И.Ф. Математическая модель температурных полей начальной стадии пожара в помещении. Пожаровзрывобезопасность, 1995;4(2):31–33.
8. Кошмаров Ю.А., Пузач С.В., Андреев В.В., Козлов Ю.И. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. Москва: Академия ГПС МЧС России; 2012.
9. НП-001-15. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. Москва: ФБУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности»; 2016.
10. Молчадский И.С. Приведение температурного режима пожара к стандартному. В: Огнестойкость строительных конструкций: Сб. тр. М: ВНИИПО; 1979, Вып. 7, с. 3–7.
11. Методы расчета температурного режима пожара в помещениях зданий различного назначения. Рекомендации. Москва: ВНИИПО; 1988.
12. ГОСТ Р 12.3.047-2012. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. Москва: Стандартинформ; 2014.
13. Борисов В.Н., Пуцев Д.И., Угорелов В.А. Методика оценки теплового воздействия пожара на оборудование АЭС. В: Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков. Материалы XV научно-практической конференции. Москва: ВНИИПО; 1999.
14. Монахов В.Т., Смелков Г.И., Поединцев И.Ф., Гришин Е.В. Оценка пожарной опасности проводов и кабелей, проложенных на лотках и в коробах. Отчет о НИР. Москва: ВНИИПО; 1980.
15. Обоснование критериев обеспечения безопасности АЭС с реакторами ВВЭР-1000 при возникновении пожара в гермозоне. Отчет о НИР. Москва: ФГУ ВНИИПО МВД России; 2002.

References

1. SP 13.13130.2009. Nuclear power plants. Fire safety requirements. Moscow: Ministry of Emergency Situations of Russia; 2009. (In Russian).
2. Putsev D.I., Krivtsov Yu.V., Groshev Yu.M., Lobanova N.A. Evaluating feasibility of field modeling of fire to calculate fire characteristics in buildings and premises. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2023;37(2):37–70. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2\(37\)-37-70](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2(37)-37-70).
3. Putsev D.I., Mishina S.Yu., Groshev Yu.M. Justification of measures aimed at ensuring the required fire resistance of structures enclosing NPP premises using CFD fire modeling. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2024;40(1):49–60. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1\(40\)-49-60](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1(40)-49-60).
4. Application of the field method of mathematical modeling of indoor fires: Methodological recommendations [internet]. Moscow: VNIIPPO; 2003. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293808/4293808018.pdf> (In Russian).
5. Karpov A.V., Ryzhov A.M. Recommendations for the use of the field method of mathematical modeling of fire. Moscow: VNIIPPO; 2002. (In Russian).

6. Recommendations for assessing the fire resistance of systems (elements) important for safety at Russian nuclear power plants. Moscow: VNIIAES; 2000. (In Russian).
7. *Molchadsky I.S., Astakhova I.F.* Mathematical model of temperature fields of the initial stage of a fire in a room. Fire and Explosion Safety. 1995;4(2):31–33. (In Russian).
8. *Koshmarov Yu.A., Puzach S.V., Andreev V.V., Kozlov Yu.I.* Forecasting of fire hazards in the room. Moscow: Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia; 2012. (In Russian).
9. NP-001-15. Federal norms and rules in the field of nuclear energy use. General provisions for ensuring the safety of nuclear power plants. Moscow: Federal State Budgetary Institution “Scientific and Technical Center for Nuclear and Radiation Safety”; 2016. (In Russian).
10. *Molchadsky I.S.* Bringing the temperature regime of the fire to the standard. In: Fire resistance of building structures. Collection of works. Moscow: VNIIP0; 1979, Issue 7, pp. 3–7. (In Russian).
11. Methods for calculating the temperature regime of fire in the premises of buildings for various purposes. Recommendations. Moscow: VNIIP0; 1988. (In Russian).
12. State Standard R 12.3.047-2012. Occupational safety standards system. Fire safety of technological processes. General requirements. Methods of control. Moscow: Standartinform Publ.; 2014. (In Russian).
13. *Borisov V.N., Putsev D.I., Ugorelov V.A.* Methodology for assessing the thermal impact of fire on NPP equipment. In: Problems of gorenje and extinguishing at the turn of the century. Materials of the XV scientific and practical conference. Moscow: VNIIP0; 1999. (In Russian).
14. *Monakhov V.T., Smelkov G.I., Poedintsev I.F., Grishin E.V.* Assessment of the fire hazard of wires and cables laid on trays and in boxes. Research Report. Moscow: VNIIP0; 1980. (In Russian).
15. Justification of Safety Criteria for NPPs with WWER-1000 Reactors in Case of Fire in the Containment Zone. Research Report. Moscow: FGU VNIIP0 of the Ministry of Internal Affairs of Russia; 2002. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Дмитрий Игоревич Пуцев, д-р техн. наук, генеральный директор, ООО «НТЦ ППБ», Балашиха
e-mail: ntcpb@mail.ru

Dmitry I. Putsev, Dr. Sci. (Engineering), General Director, Scientific and Technical Centre “Industrial and Fire Safety” (NTC PPB), Balashikha
e-mail: ntcpb@mail.ru

Андрей Вячеславович Беспалов, главный инженер по электротехнике, АО «Атомэнергoproekt», Москва
e-mail: bespalov_av@aep.ru

Andrey V. Bespalov, Chief Electrical Engineer, JSC Atomenergoproekt, Moscow
e-mail: bespalov_av@aep.ru

Светлана Юрьевна Мишина, начальник отдела, АО «Атомэнергoproekt», Москва
e-mail: Michina_SY@aep.ru

Svetlana Yu. Mishina, Department Head, JSC Atomenergoproekt, Moscow
e-mail: Michina_SY@aep.ru

Юрий Михайлович Грошев✉, канд. техн. наук, главный специалист, АО «Атомэнергoproekt», Москва
e-mail: Groshev_YM@aep.ru

Yuri M. Groshev✉, Cand. Sci. (Engineering), Chief Specialist, JSC Atomenergoproekt, Moscow
e-mail: Groshev_YM@aep.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-95-106](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-95-106)
УДК 624.155.152

EDN: GINMIQ

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СТАЛЬНОГО БАШЕННОГО КОПРА ПРИ МОНТАЖЕ МЕТОДОМ НАДВИЖКИ

А.А. ТОЧЕНАЯ¹

А.М. ЮГОВ¹

С.О. ТИТКОВ¹, канд. техн. наук

А.В. ТАНАСОГЛО², канд. техн. наук

И.М. ГАРАНЖА^{2,✉}, канд. техн. наук

¹ ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» (ДонНАСА), ул. Державина, д. 2, г. Макеевка, 286123, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Укосные шахтные копры являются одним из наиболее ответственных видов горнотехнических сооружений шахтной поверхности. От длительности строительно-монтажных работ на данных объектах зависит эффективная работа всего предприятия. Поэтому на сегодняшний день является особенно актуальным исследование изменения напряженно-деформированного состояния стальных копров при монтаже методом надвигки, что позволит сократить сроки строительства данных объектов.

Цель. Проанализировать влияние монтажных нагрузок на напряженно-деформированное состояние башенного металлического копра в момент надвига.

Материалы и методы. Для анализа конструктивной схемы сооружения с устанавливаемым оборудованием создана BIM модель в программном комплексе для информационного моделирования Tekla Structures. Созданная модель позволяет дать более точную оценку массы сооружения. Численные исследования укосного копра проведены в отечественном программно-вычислительном комплексе ЛИРА-САПР 2024. Рассматриваемая система принята в общем виде, ее деформации и главные неизвестные представлены линейными перемещениями узловых точек вдоль осей X , Y , Z и поворотами вокруг этих осей.

Результаты. Выполнен анализ нагрузок и воздействий, прикладываемых для данного сооружения в момент надвигки с учетом действительной работы конструктивных элементов. Высота копра составляет 85 м, суммарная масса – 8028 т. Разработана математическая модель металлического копра скипо-клетевой конфигурации с двумя укосинами, позволяющая оценить влияние монтажа сооружения методом надвигки. С учетом коэффициента трения скольжения для монтажа принято 5 домкратов по 1000 т. Домкраты устанавливаются на самые нагруженные оси накаточного пути. Полученные результаты позволяют выполнить подбор оборудования для выполнения надвига.

Выводы. В результате расчета коэффициент удерживания составил 13,06 вдоль проведения надвигки башенного копра, что соответствует требованиям расчета на опрокидывание. Анализ изменения напряженно-деформированного состояния копра скипо-клетевой конфигурации при монтаже методом надвига показал необходимость применения пяти гидравлических домкратов по 1000 т с последующей корректировкой давления домкратов на каждую из осей во избежание поворота всей конструкции и последующего заклинивания стенда надвига. Также при проведении надвигки данных сооружений необходимо отказаться от укосины, расположенной поперек движения копра, что позволит уменьшить количество осей накаточного пути.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние (НДС), башенный металлический копер (БМК), метод надвигки, численная модель, гидравлические домкраты, предельное состояние, мозаика проверки сечений

Для цитирования: Точеная А.А., Югов А.М., Титков С.О., Танасогло А.В., Гаранжа И.М. Напряженно-деформированное состояние стального башенного копра при монтаже методом надвигки. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2025;45(2):95–106. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-95-106](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-95-106)

Вклад авторов

Точеная А.А., Югов А.М., Танасогло А.В. – концепция исследования, написание исходного текста, итоговые выводы.

Титков С.О., Гаранжа И.М. – идея, концепция исследования, написание исходного текста, обработка материала, итоговые выводы.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 14.11.2024

Поступила после рецензирования 25.01.2025

Принята к публикации 30.01.2025

STRESS-STRAIN STATE OF A STEEL TOWER CRANE DURING ERECTION BY THE PUSHING METHOD

A.A. TOCHENAYA¹

A.M. YUGOV¹

S.O. TITKOV¹, Cand. Sci. (Engineering)

A.V. TANASOGLO², Cand. Sci. (Engineering)

I.M. GARANZHA^{2,✉}, Cand. Sci. (Engineering)

¹ Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture (DNACEA),
Derzhavina str., 2, Makeevka, 286123, Russian Federation

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337,
Russian Federation

Abstract

Introduction. Inclined shaft headframes are among the most critical types of surface mining structures. The duration of construction and assembly of these structures directly affects the overall efficiency of the enterprise. Therefore, investigating the changes in the stress-strain state of steel headframes during installation by the pushing method is particularly relevant today, as it can help reduce the construction time of these structures.

Aim. This study aims to analyze the influence of assembly loads on the stress-strain state of the tower metal headframe during the moment of pushing.

Materials and methods. A BIM model was created in the Tekla Structures software for information modeling in order to analyze the structural scheme of the construction with the installed equipment. This model provides a more accurate assessment of the mass of the structure. Numerical studies of the inclined headframe were conducted using domestic software and the LIRA-SAPR 2024 computational complex. The system under consideration is presented in a general form, with deformations and main unknowns represented by linear displacements of nodal points along the X, Y, and Z axes, as well as rotations around these axes.

Results. An analysis was performed to determine the loads and influences applied to the structure while it was being pushed. The actual behavior of the structural elements was taken into account. The headframe is 85 meters high and has a total mass of 8,028 tons. A mathematical model of a two-bracing skip-cage headframe was developed to assess the influence of installing the structure by the pushing method. Considering the sliding friction coefficient, five jacks with a capacity of 1,000 tons each were selected for installation. The jacks are installed on the axes with the greatest load on the rolling path. The obtained results enable the selection of equipment for the pushing operation.

Conclusions. The calculation revealed that the retention coefficient is 13.06 in the direction of the tower headframe pushing, meeting the requirements for overturning resistance. Analysis of the stress-strain changes in the skip-cage headframe during installation using the pushing method revealed the need for five 1,000 ton hydraulic jacks. Adjusting the jack pressures on each axis prevents rotation of the entire structure and subsequent jamming of the pushing stand. Moreover, when these structures are being pushed, it is essential to remove the bracing that is perpendicular to the movement of the headframe. This will result in a reduction of the number of rolling path axes.

Keywords: stress-strain state (SSS), tower metal headframe (TMH), thrust method, numerical model, hydraulic jacks, limit state, cross-section verification mosaic

For citation: Tochenaya A.A., Yugov A.M., Titkov S.O., Tanasoglo A.V., Garanzha I.M. Stress-strain state of a steel tower crane during erection by the pushing method. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2025;45(2):95–106. [In Russian]. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-95-106](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-95-106)

Authors contribution statement

Tochenaya A.A., Yugov A.M., Tanasoglo A.V. – conceptualization of the study, writing of the original draft, final conclusions.

Titkov S.O., Garanzha I.M. – idea, conceptualization of the study, writing of the original draft, data processing, final conclusions.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 14.11.2024

Revised 25.01.2025

Accepted 30.01.2025

Введение

Укосные шахтные копры являются одним из наиболее ответственных видов горнотехнических сооружений шахтной поверхности [1]. От качества проводимых строительно-монтажных работ и сроков введения данных объектов в эксплуатацию напрямую зависит работа всего предприятия. Одним из вариантов сокращения сроков строительства данного объекта является способ надвижки возведенного башенного копра с установленным оборудованием, готовым к подключению.

В настоящее время метод надвижки в значительной степени распространен в мостостроении при монтаже пролетных строений. Метод монтажа «надвижка» применяется для особо тяжелых конструкций или больших по площади конструктивных блоков зданий или сооружений. В строительстве промышленных предприятий данный метод применяется исходя из экономических показателей. При строительстве копров предшествующим этапом

идет проходка ствола шахты и устройство крепи, которые занимают значительное время, как и строительство самого ствола шахты (надземное сооружение). Для уменьшения сроков строительства применяется метод «надвижки», который позволяет параллельно производить проходку подземной части ствола и строительство копра. Параллельность строительства обеспечивается за счет того, что ствол башенного копра строится рядом с местом, где проходит проходка, на специально разработанном стенде. По окончании проходки и строительства копра надземная часть перемещается по специально разработанному пути в проектное положение и в последующем соединяется со стволом проходки.

Метод «надвижки» (передвижения зданий и сооружений) не является новым. Первые упоминания о передвижении сооружений датируются тысячей лет до нашей эры. Ученые предполагают, что таким образом был передвинут фундамент Сфинкса в Египте. Впервые в России в 1770 г. таким образом был передвинут памятник Петру I в Санкт-Петербурге [2]. Применению данного метода способствовала индустриализация городов и сохранение памятников архитектуры. Данный метод был применен в СССР, Европе, США. Особое внимание данному методу было уделено в горнодобывающей промышленности Донбасса.

Анализ исследования

Значительный вклад в развитие проектирования копров внесли такие ученые, как В.Е. Андреев [1], Я.В. Бровман [3], В.М. Левин [4], S. Lagomarsino, L.C. Pagnini [5].

Исследованиями высотных сооружений, в том числе и исследованиями башенных металлических копров, занимались такие ученые, как Е.В. Горохов [6–9], В.Н. Кущенко [10, 11], А.С. Кострицкий [12], В.К. Kejriwal [13], V.V. Kulyabko [14], D.G. Elms [15], J. Murgewski [16].

Целью исследования является анализ влияния монтажных нагрузок на напряженно-деформированное состояние башенного металлического копра методом «надвижки».

Объект исследования – укосный шахтный копр со скипо-клетьевым подъемом.

Предмет исследования – напряженно-деформированное состояние несущих стальных элементов шахтного копра.

Основной материал

В данной статье рассматривается надвижка башенного металлического копра высотой 85 м со скипо-клетьевым подъемом полезных ископаемых (рис. 1).

Копер имеет две укосины, расположенные вдоль цифровых и буквенных осей сооружения. На отметке +22,000 м расположен бункер приема сырья объемом 600 м³. Эвакуационные выходы выполнены из монолитного железобетона. В осях Ж–Л располагаются тяжелые конвейеры для отгрузки добытого сырья.

На первом этапе проводится анализ конструктивной схемы сооружения с устанавливаемым оборудованием. Это требуется для оценки массы сооружения и нахождения центра тяжести. Для точной оценки массы сооружения была создана BIM-модель в программном комплексе Tekla Structures (рис. 2).

Данная модель позволяет более точно определить вес сооружения. Она создается по данным проектной организации, которая проводит проектирование копра в стадии эксплуатации.

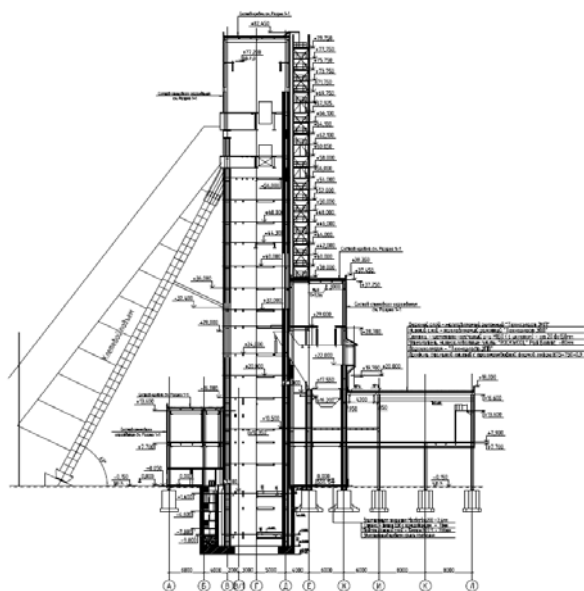


Рис. 1. Башенный металлический копер скипо-клетьевого подъема (разрез)
Fig. 1. Steel tower headframe of the skip-cage lift (cross-section)

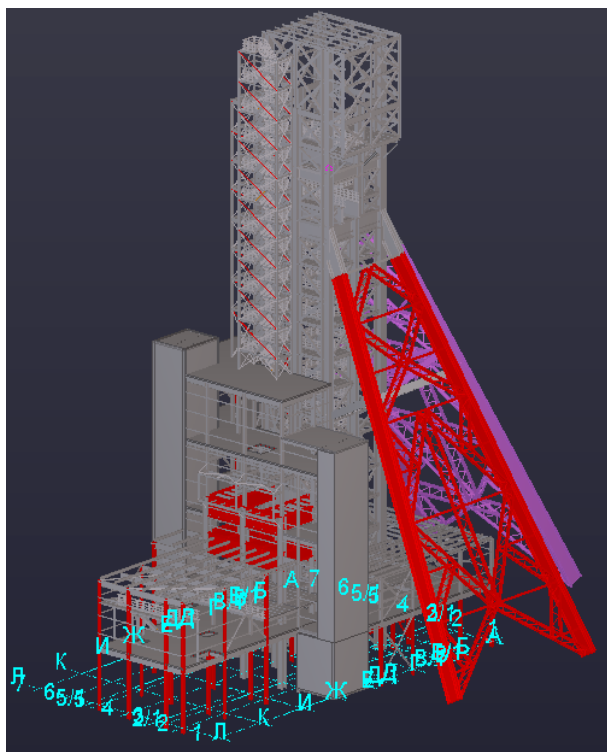


Рис. 2. BIM-модель башенного металлического копра
Fig. 2. BIM model of steel tower headframe

При разработке проектов организации строительства (ПОС) и производства работ (ППР) для проведения надвижки перед инженером стоят задачи: оценка несущей способности сооружения в процессе надвижки; разработка специального стенда сборки копра с учетом геологических изысканий объекта; разработка накаточного пути для перемещения сооружения в проектное положение; подбор материалов скольжения:

- металл по металлу, смазанный графитовой смазкой;
- металл по металлическим кругам, смазанный графитовой смазкой;
- применение специального волокна для надвижки пролетных строений мостов.

А также стоят задачи принятия решения по применению домкратов либо применению блоков и полиспастов тяговых механизмов; разработки узлов крепления монтажных приспособлений и узлов крепления сооружения в проектное положение.

Для решения вышеперечисленных задач разработана расчетная схема в программном комплексе ЛИРА-САПР 2024 (рис. 3, 4). Расчетная схема определена как система с признаком 5 (пространственная система). Это значит, что рассматривается система общего вида, ее деформации и главные неизвестные представлены линейными перемещениями узловых точек вдоль осей X , Y , Z и поворотами вокруг этих осей.

В расчетном комплексе к сооружению прикладывались нагрузки от веса копра с учетом установки ограждающих конструкций от отметки +6,000 м и расположения оборудования копра. Снеговая нагрузка рассчитывалась с учетом разновысотности блоков сооружения. Ветровое воздействие рассчитывалось с учетом пульсационной составляющей по направлению оси X и Y .

Проанализировав ВМ-модель, можно сделать вывод, что суммарная масса копра составляет 8028 тонн, предварительно с учетом коэффициента трения скольжения 0,4 (металл по металлу) принимаем 5 домкратов по 1000 тонн и устанавливаем их на самые нагруженные

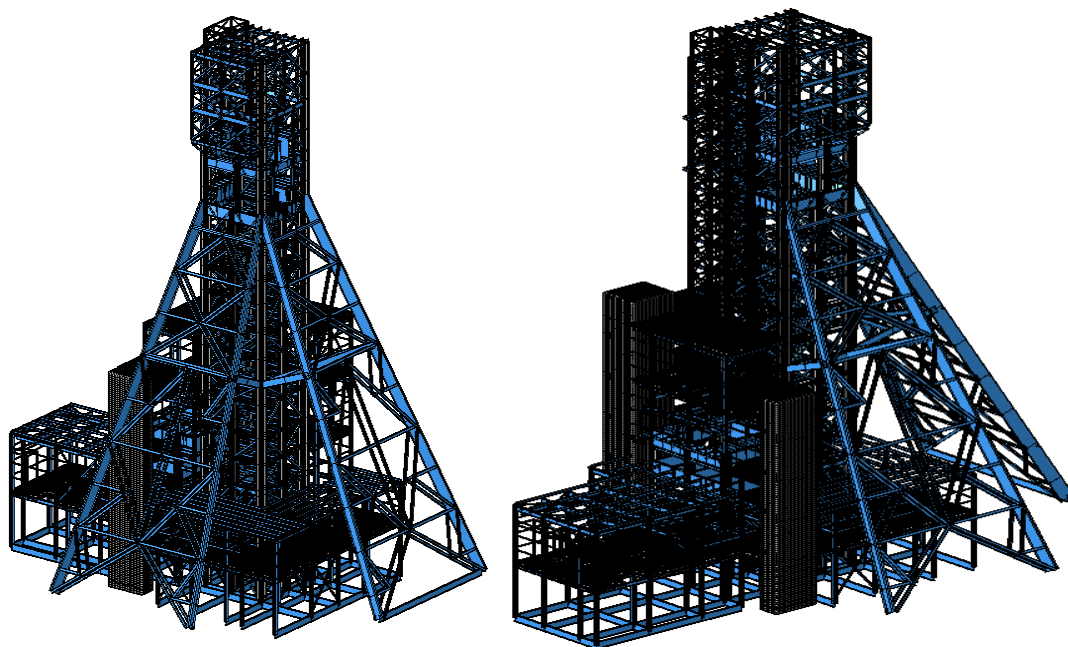


Рис. 3. 3D-модель
Fig. 3. 3D model

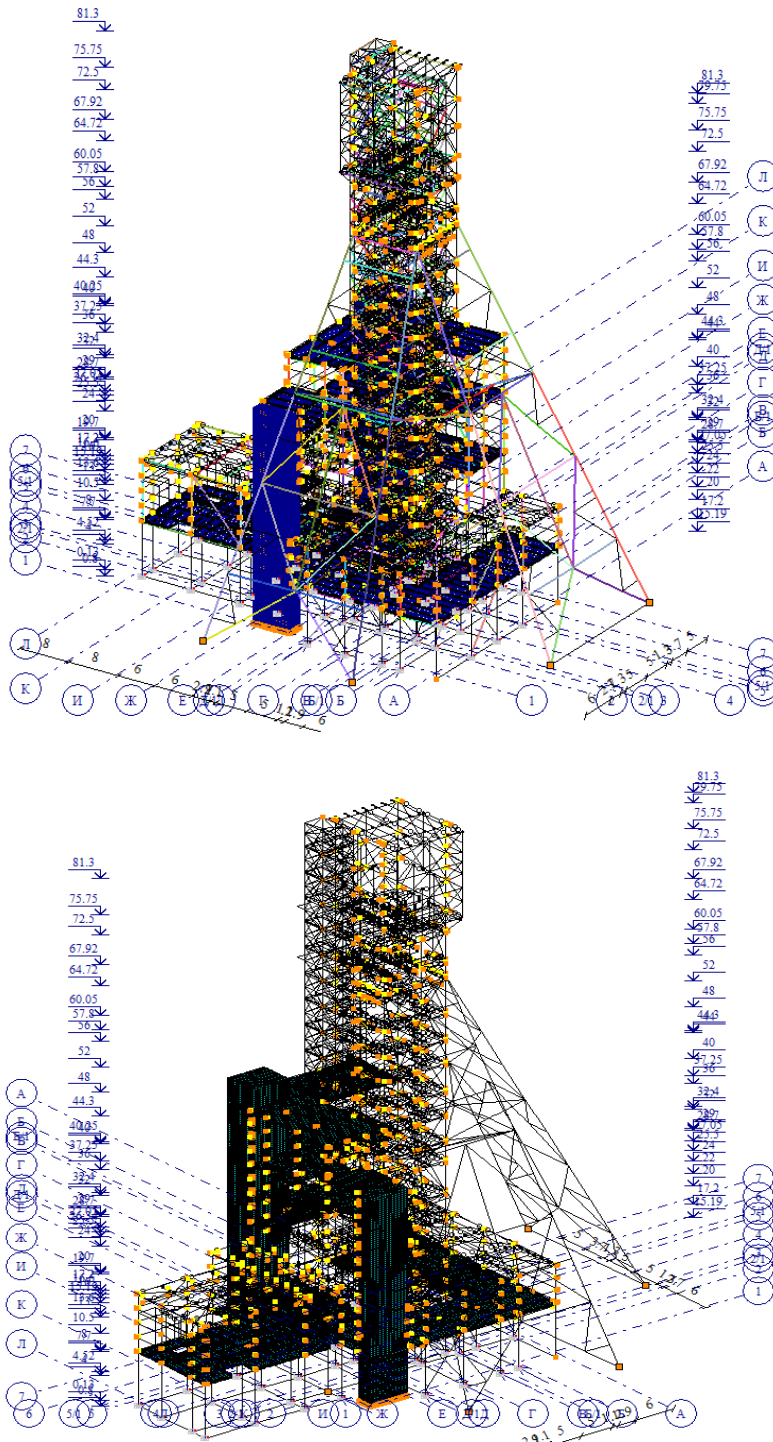


Рис. 4. Расчетная схема копра, выполненная в программном комплексе ЛИРА-САПР

Fig. 4. Analytical scheme of the headframe, developed in the LIRA-SAPR software complex

оси накаточного пути. На рис. 5–7 представлены мозаики проверки принятых сечений по первому предельному состоянию (прочность), по второму предельному состоянию (прогибы и перемещения), по местной устойчивости.

Полученные результаты позволяют корректно провести усиление дополнительной развязкой связей первого этажа. При приложении нагрузки от домкратов по наиболее

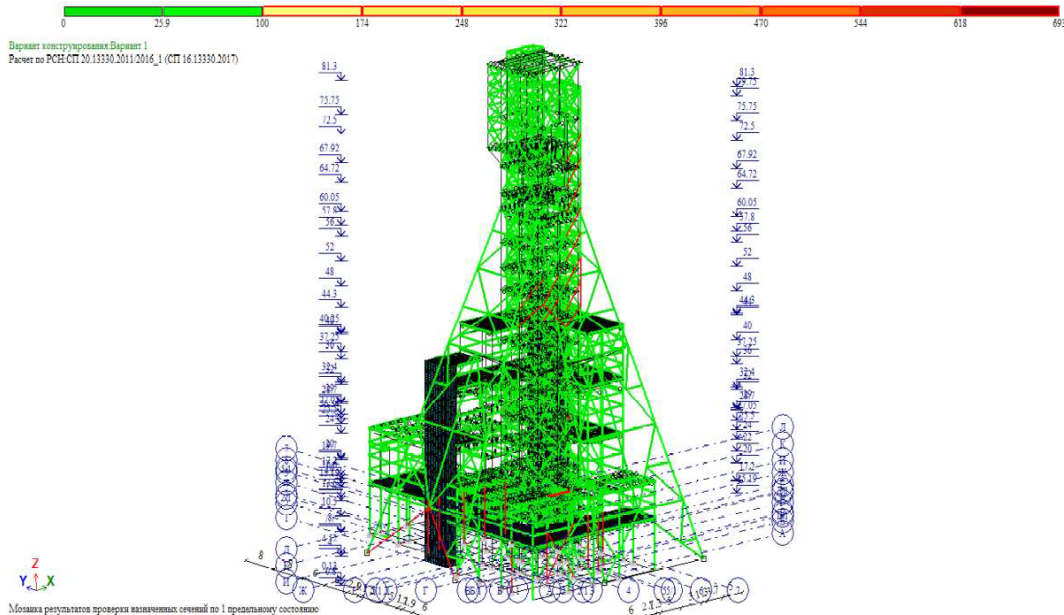


Рис. 5. Мозаика проверки сечений по первому предельному состоянию (прочность)
Fig. 5. Cross-section verification mosaic for the first limit state (strength)

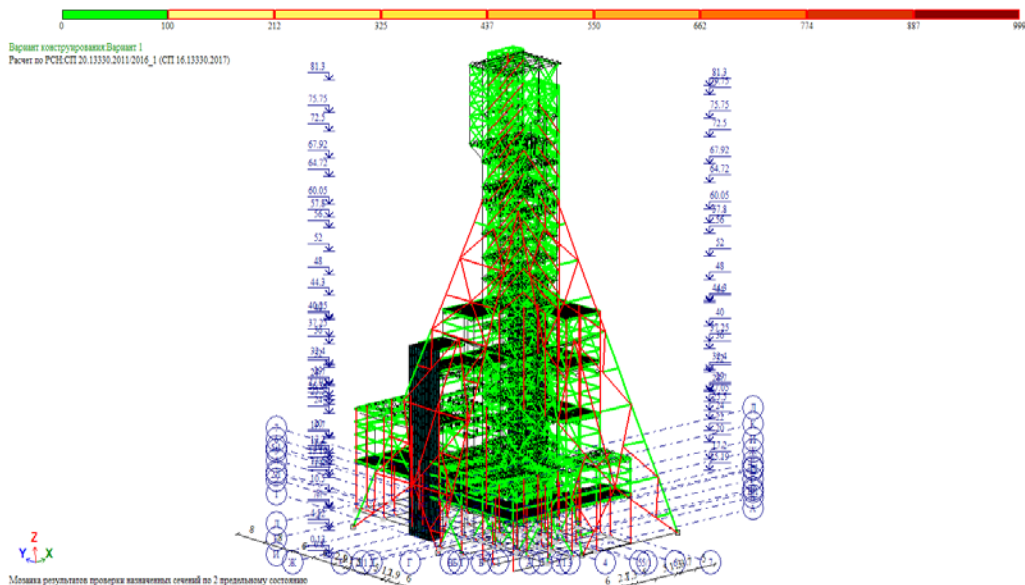


Рис. 6. Мозаика проверки сечений по второму предельному состоянию (прогибы и перемещения)
Fig. 6. Cross-section verification mosaic for the second limit state (deflections and displacements)

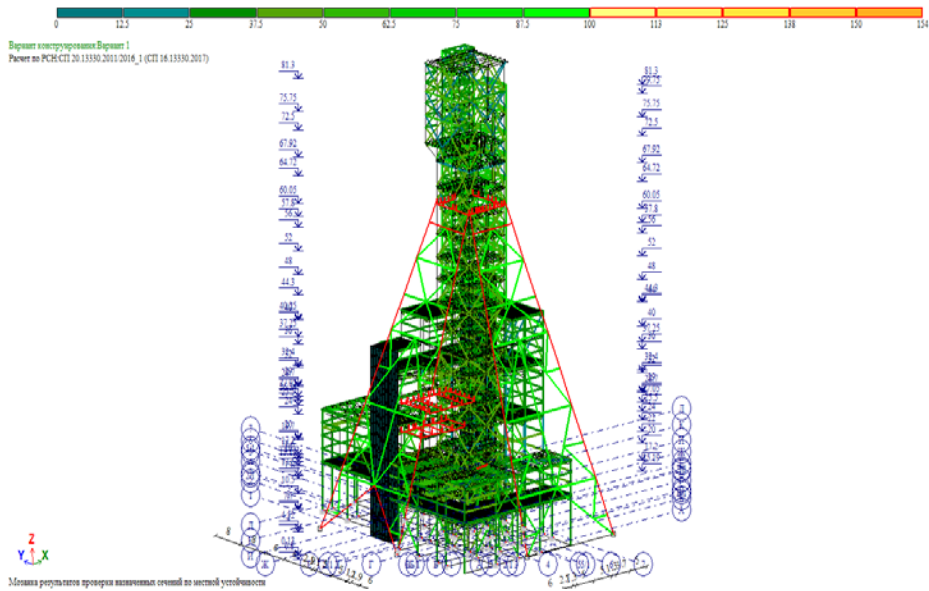


Рис. 7. Мозаика проверки сечений по местной устойчивости
Fig. 7. Cross-section verification mosaic for local stability

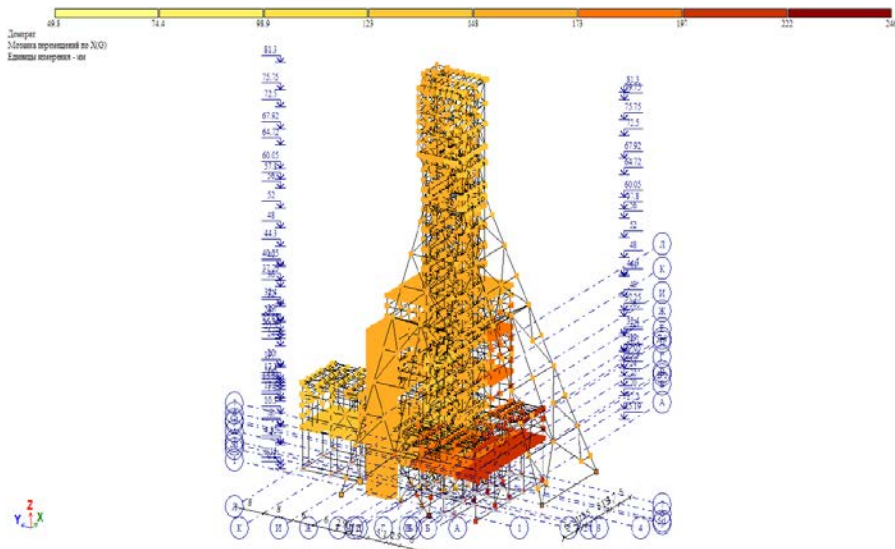


Рис. 8. Мозаика перемещения по оси X вдоль буквенных осей от приложения нагрузки домкратов, предварительно установленных на наиболее нагруженные оси В, Г, Д, Е, Ж (по 1000 т на ось)

Fig. 8. Displacement mosaic along the X-axis due to the application of jack loads, pre-installed on the most heavily loaded axes B, G, D, E, and Zh (1,000 tons per axis)

нагруженным осям накаточного пути происходит поворот (рис. 8) копра с последующим изломом одной из укосин. При проведении надвигки данного сооружения необходимо отказаться от укосины, расположенной поперек движения копра. Это позволит уменьшить количество осей накаточного пути.

Выводы

1. Коэффициент удерживания превышает 1 и составляет 13,06 вдоль проведения надвижки, что в свою очередь соответствует требованиям расчета на опрокидывание.
2. Суммарная масса копра составляет в летний период 8028 тонн, а в зимний период – $8028 + 506 = 8534$ тонны.
3. Расчет подтвердил, что требуется выполнить усиление элементов, не прошедших по первому предельному состоянию (колонны первого этажа, первая секция ноги, связи первого этажа), также требуется провести дополнительную развязку колонн первого этажа.
4. Проанализировав результаты расчета, рекомендуется проводить надвиг копра с одной укосиной, расположенной вдоль буквенных осей.
5. Рекомендуется применение пяти гидравлических домкратов по 1000 т – один с последующей корректировкой давления домкратов на каждую из осей во избежание поворота копра (последующего заклинивания стенда надвига).

Список литературы

1. Андреев В.Е. Проектирование, строительство и эксплуатация башенных копров. Москва: Недра; 2010.
2. Гендель Э.М. Передвижка зданий и сооружений. Знание. Сер. Строительство и архитектура. 1978;(5):12–48.
3. Бровман Я.В. Надшахтные копры: проектирование, расчет и конструкция. Москва: Госгортехиздат; 1991.
4. Левин В.М. Башенные сооружения промышленного назначения. Исследования и расчет. Макеевка: ДонНАСА; 2019.
5. Lagomarsino S., Pagnini L.C. Criteria for modeling and predicting dynamic parameters of building. Report ISC-II, 1, Istituto di Scienza delle Costruzioni. Genova, Italy: University of Genova; 1995.
6. Горохов Е.В., Кущенко В.Н., Пиличев К.Л., Махина В.В., Матвеев В.П., Листовенко П.С. Методика обследования несущих стальных конструкций шахтных копров. Донецк: ЦБНТИ Минуглепрома УССР; 1984.
7. Горохов Е.В., Кущенко В.Н. Предохранительное устройство к грузоподъемному механизму: а. с. СССР № 969635. Оpubл. 30.10.1982.
8. Горохов Е.В., Кущенко В.Н. Шахтный копер: а. с. СССР № 881283. Оpubл. 15.11.1981.
9. Горохов Е.В., Кущенко В.Н. Шахтный копер: а. с. № 953166. Оpubл. 21.04.2002.
10. Кущенко В.Н. Обеспечение безопасности строительных конструкций укосных шахтных копров. Макеевка: ДонНАСА; 2006.
11. Кущенко В.Н. Обеспечение безопасности строительных конструкций укосных шахтных копров [диссертация]. Макеевка; 2007.
12. Костицкий А.С. Учет динамического характера особых нагрузок на конструкции укосных шахтных копров [диссертация]. Макеевка; 2003.
13. Kejriwal B.K. Safety in mines. Dyanbad: Lovely Prakashan; 1994.
14. Kulyabko V.V. Drawing up of the dynamic models of long-shan and high-rise RS buildings and structures in the time of the diagnostics. In: Proc. 2nd RILEM International Conf. Štrbské pleso «Diagnosis of Concrete Structures-»; 1996, p. 382.
15. Elms D.G. Risk balancing in structural problems. Structural Safety. 2012;19(1):67–77. [https://doi.org/10.1016/s0167-4730\(96\)00038-0](https://doi.org/10.1016/s0167-4730(96)00038-0).
16. Murgewski J. Reliability: State-of-Art. In: Metal Structures: IX International Conference: Final Report, 1996, Krakov (Poland). Krakov (Poland); 1996, pp. 99–112.
17. Кущенко В.Н. Резервы несущей способности и обеспечение долговечности стальных конструкций шахтных копров [диссертация]. Одесса; 1985.

References

1. *Andreev V.E.* Design, construction and operation of tower pile drivers. Moscow: Nedra Publ.; 2010. (In Russian).
2. *Gendel' E.M.* Moving buildings and structures. Znanie. Ser. Stroitel'stvo i arkhitektura [Knowledge. Series: Construction and Architecture]. 1978;(5):12–48. (In Russian).
3. *Brovman Ya.V.* Headframes: design, calculation and construction. Moscow: Gosgortekhzdat Publ.; 1991. (In Russian).
4. *Levin V.M.* Tower structures for industrial purposes. Research and analysis. Makeevka: DonNASA; 2019. (In Russian).
5. *Lagomarsino S., Pagnini L.C.* Criteria for modeling and predicting dynamic parameters of building. Report ISC-II, 1, Istituto di Scienza delle Costruzioni. Genova, Italy: University of Genova; 1995.
6. *Gorohov E.V., Kushchenko V.N., Pilichev K.L., Mahina V.V., Matveev V.P., Listovenko P.S.* Methodology for inspection of load-bearing steel structures of mine headframes. Donetsk: CBNTIMinugleproma USSR; 1984. (In Russian).
7. *Gorohov E.V., Kushchenko V.N.* Safety device for lifting mechanism. Author's certificate USSR No. 969635. Publ. date 30 October 1982. (In Russian).
8. *Gorohov E.V., Kushchenko V.N.* Mine headframe. Author's certificate USSR No. 881283. Publ. date 15 November 1981. (In Russian).
9. *Gorohov E.V., Kushchenko V.N.* Mine headframe. Author's certificate No. 953166. Publ. date 21 April 2002. (In Russian).
10. *Kushchenko V.N.* Ensuring the safety of building structures of inclined mine headframes. Makeevka: DonNASA; 2006. (In Russian).
11. *Kushchenko V.N.* Ensuring the safety of building structures of inclined mine headframes [dissertation]. Makeevka; 2007. (In Russian).
12. *Kostrickii A.S.* Taking into account the dynamic nature of special loads on the structures of inclined mine headframes [dissertation]. Makeevka; 2003. (In Russian).
13. *Kejriwal B.K.* Safety in mines. Dyanbad: Lovely Prakashan; 1994.
14. *Kulyabko V.V.* Drawing up of the dynamic models of long-shan and high-rise RS buildings and structures in the time of the diagnostics. In: Proc. 2nd RILEM International Conf. Štrbské pleso «Diagnosis of Concrete Structures»; 1996, p. 382.
15. *Elms D.G.* Risk balancing in structural problems. Structural Safety. 2012;19(1):67–77. [https://doi.org/10.1016/s0167-4730\(96\)00038-0](https://doi.org/10.1016/s0167-4730(96)00038-0).
16. *Murgewski J.* Reliability: State-of-Art. In: Metal Structures: IX International Conference: Final Report, 1996, Krakov (Poland). Krakov (Poland); 1996, pp. 99–112.
17. *Kushchenko V.N.* Reserves of bearing capacity and ensuring durability of steel structures of mine headframes [dissertation]. Odessa; 1985. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Анастасия Артуровна Точеная, магистрант кафедры технологии и организации строительства, ДонНАСА, Makeevka

e-mail: tochenaya.a.a-zpgs-55@donnasa.ru

тел.: +7 (949) 349-25-41

Anastasiya A. Tochenaya, Master Student, Technologies and Organization of Construction Department, DNACEA, Makeevka

e-mail: tochenaya.a.a-zpgs-55@donnasa.ru

tel.: +7 (949) 349-25-41

Анатолий Михайлович Югов, заведующий кафедрой технологии и организации строительства, ДонНАСА, Makeevka

Anatoliy M. Yugov, Head of Department, Technologies and Organization of Construction Department, DNACEA, Makeevka

Сергей Олегович Титков, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры металлических конструкций и сооружений, ДонНАСА, Makeevka
e-mail: s.o.titkov@donnasa.ru
тел.: +7 (949) 349-25-41

Sergey O. Titkov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Metal Constructions and Structures Department, DNACEA, Makeevka
e-mail: s.o.titkov@donnasa.ru
tel.: +7 (949) 349-25-41

Антон Владимирович Танасогло, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций, НИУ МГСУ, Москва
e-mail: a.v.tan@mail.ru
тел.: +7 (915) 544-36-23

Anton V. Tanasoglo, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Metal and Timber Structures department, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow
e-mail: a.v.tan@mail.ru
tel.: +7 (915) 544-36-23

Игорь Михайлович Гаранжа✉, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций, НИУ МГСУ, Москва
e-mail: garigo@mail.ru
тел.: +7 (926) 284-55-17

Igor M. Garanzha✉, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Metal and Timber Structures Department, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow
e-mail: garigo@mail.ru
tel.: +7 (926) 284-55-17

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-107-121](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-107-121)
УДК 624.154.1

EDN: DVMZIB

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ НАДСТРОЙКИ ОБЪЕКТА НЕЗАВЕРШЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ЭТАЖАМИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ СВАЯМИ

И.М. ИОВЛЕВ
С.А. КРЮЧКОВ✉
Е.А. МЕТЕЛИЦА

Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений (НИИОСП) им. Н.М. Герсевича АО «НИЦ «Строительство», Рязанский проспект, д. 59, г. Москва, 109428, Российская Федерация

Аннотация

Введение. В настоящей статье представлена оценка возможности надстройки недостроенных жилых башен «А», «Б» и «В» общественно-жилого комплекса «Академ-Палас» (расположенного по адресу: г. Москва, пр. Вернадского, вл. 78) дополнительными семью этажами по результатам статических испытаний грунтов сваями. Решение о возобновлении строительства было предусмотрено программой реновации в Москве. Многофункциональный объект «Академ-Палас» разработан как единый комплекс зданий. В его состав входят три высотные башни («А», «Б», «В»), которые объединены одним общим трехэтажным надземным стилобатом и четырехуровневым подземным гаражом. Башни «А» и «Б» состоят из 25-ти надземных этажей, башня «В» включает 32 этажа.

Цель. Проведение полевых испытаний грунтов сваями для подтверждения требуемых по новому проекту значений несущей способности свай и определение возможности надстройки жилых башен комплекса дополнительными этажами.

Материалы и методы. Проведение полевых испытаний сваями вдавливающей нагрузкой по ГОСТ 5686–2020 с упором в существующую фундаментную плиту каждой из башен. Формирование ступеней нагрузки при испытаниях домкратом грузоподъемностью 200 т.

Результаты. Испытания грунтов сваями свидетельствуют, что всеми сваями подтверждены значения несущей способности.

Выводы. Результатами проведенных испытаний грунтов сваями, отделенными от ростверков башен, подтверждена возможность возведения дополнительных этажей.

Ключевые слова: свая, испытание, осадка, несущая способность, грунты, нагрузка, фундаменты, статические испытания

Для цитирования: Иовлев И.М., Крючков С.А., Метелица Е.А. Оценка возможности надстройки объекта незавершенного строительства дополнительными этажами по результатам статических испытаний грунтов сваями. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2025;45(2):107–121. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-107-121](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-107-121)

Благодарность: Когаю Виталию Константиновичу, Когаю Владиславу Аркадьевичу и Ястребову Петру Ивановичу (НИИОСП им. Н.М. Герсевича) за общее курирование при выполнении работ, Мусатовой Марьяне Викторовне и Ветушинскому Евгению (ООО «ФКС-Л») за проведение испытаний свай.

Вклад авторов

Крючков С.А. – руководство работой, оформление публикации.

Иовлев И.М., Метелица Е.А. – выполнение расчетов, обработка их результатов, оформление публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 17.12.2024

Поступила после рецензирования 03.02.2025

Принята к публикации 06.02.2025

ASSESSMENT OF THE FEASIBILITY OF ADDING ADDITIONAL FLOORS TO UNFINISHED CONSTRUCTION PROJECTS BASED ON STATIC PILE LOAD TEST RESULTS

I.M. IOVLEV

S.A. KRYUCHKOV✉

E.A. METELITSA

Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Ryazanskiy ave., 59, Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract

Introduction. This article presents a feasibility assessment for adding seven floors to residential towers A, Б, and B of the Akadem-Palace mixed-use complex in Moscow, based on static pile load test results. The decision to resume construction was part of Moscow renovation program. The multifunctional Akadem-Palace complex was designed as an integrated building ensemble comprising three high-rise towers (A, Б, and B), which are connected by a three-story above-ground stylobate and a four-level underground parking garage. Towers A and Б have 25 floors above ground, and Tower B has 32 floors.

Aim. Field pile load tests were conducted to confirm the bearing capacity of piles required by the new design and to assess the feasibility of adding extra floors to the residential towers.

Materials and methods. The tests were performed using the maintained load test method, in accordance with State Standard 5686-2020, with the existing foundation slab of each tower serving as the reaction system. The load was applied in increments using a jack with a capacity of 200 tons.

Results. The pile load tests showed that all piles have the required bearing capacity.

Conclusions. The pile load test results confirm the feasibility of constructing additional floors on piles separated from the tower pile caps.

Keywords: pile, load test, settlement, bearing capacity, soils, load, foundations, static testing

For citation: Iovlev I.M., Kryuchkov S.A., Metelitsa E.A. Assessment of the feasibility of adding additional floors to unfinished construction projects based on static pile load test results. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2025;45(2):107–121. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-107-121](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-107-121)

Acknowledgments

The authors express their gratitude to Vitaliy Konstantinovich Kogay, Vladislav Arkadievich Kogay, and Pyotr Ivanovich Yastrebov (Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction) for overall supervision of the work, as well as to Maryana Viktorovna Musatova and Evgeniy Vetushinskiy (FKS-L LLC) for conducting the pile load tests.

Authors contribution statement

Kryuchkov S.A. – project supervision, manuscript preparation.

Iovlev I.M., Metelitsa E.A. – calculations, results analysis, manuscript preparation.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 17.12.2024

Revised 03.02.2025

Accepted 06.02.2025

Введение

Задача увеличения полезной площади существующих зданий их надстройкой все чаще требует решения в практике строительства. Намерение инвесторов выгоднее использовать уже освоенный участок вполне обосновано.

При конструктивном решении фундаментов в виде плитных ростверков, выполненных по сваям, одним из решающих факторов является определение несущей способности свай по грунту. Решению этой задачи посвящено большое число научно-исследовательских работ [1–7]. Все исследователи считают, что самым точным методом оценки несущей способности свай фундаментов существующих зданий являются статические испытания грунтов сваями.

Задачей испытаний грунтов сваями являлась возможность обоснования надстройки дополнительными этажами недостроенных башен «А», «Б» и «В» общественно-жилого комплекса.

Описание комплекса и конструктивное решение фундамента

По ранее разработанному проекту общественно-жилой комплекс «Академ-Палас» (г. Москва, пр. Вернадского, вл. 78) включал три жилых башни «А», «Б» и «В» высотой 25, 25, и 32 этажа соответственно, четырехэтажный подземный гараж под всем комплексом и трехэтажный надземный стилобат.

Строительство комплекса после возведения подземного гаража, стилобата и башен на высоту 10–11 этажей из-за отсутствия финансирования было остановлено в 2011–2012 гг. Решение о возобновлении строительства комплекса по программе реновации принято в 2021 г. На рис. 1 представлено состояние комплекса к началу возобновления строительства.

В соответствии с разработанным в 2006 г. проектом фундаменты башен приняты свайными с плитным ростверком толщиной 2 м. Свайное основание разработано с использованием свай заводского изготовления сечением 300×300 мм, длиной 13 и 14 м для башен «А» и «Б» и сечением 350×350 мм, длиной 10 м для башни «В». Для изготовления свай был принят бетон класса В30.

Сваи были погружены забивкой с отметки дна котлована 161,05 и 161,55 м по сетке с шагом 950×950 мм в предварительно пробуренные лидерные скважины Ø 300 мм, глубиной

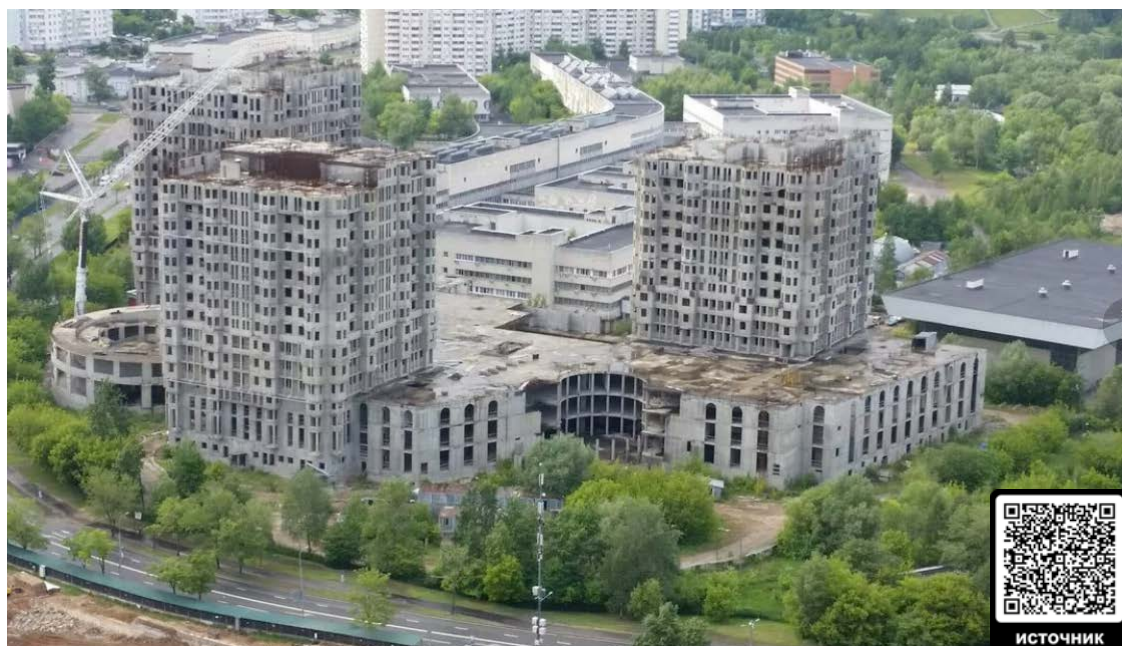


Рис. 1. Состояние жилого комплекса «Академ-Палас» к началу возобновления строительства
Fig. 1. The condition of the Akadem-Palace residential complex at the time construction resumed

10 м под башни «А» и «Б» и с шагом 1060×1060 мм через лидерные скважины $\varnothing 350$ мм, глубиной 8 м под башней «В». Под башни «А» и «Б» было забито по 1369 свай, под башню «В» – 1089 свай.

Несущая способность свай фундаментов башен «А», «Б» и «В» была определена испытаниями грунтов сваями статической вертикальной нагрузкой в 2007 г., однако материалы с данными испытаний к настоящему моменту оказались утеряны.

Новое проектное решение

В соответствии с откорректированным проектом предусмотрено увеличение высоты башен на семь дополнительных этажей. Проектное решение с учетом надстройки представлено на рис. 2.

По новому проекту несущая способность свай фундаментов башен «А» и «Б» должна быть равна $F_d = 1500$ кН, а фундамента башни «В» – $F_d = 1750$ кН. Возможность надстройки башен в значительной степени зависит от восприятия новых нагрузок сваями по грунту.

Грунты, вмещающие сваи, характеризуются залеганием с отметки дна котлована 161,05 м следующих слоев (сверху вниз):

- глины тугопластичной (ИГЭ-6);
- суглинка тугопластичного (ИГЭ-7);
- глины мягкопластичной консистенции (ИГЭ-9);
- глины тугопластичной (ИГЭ-10);
- суглинка мягкопластичной консистенции (ИГЭ-11);
- супеси пластичной консистенции (ИГЭ-13);



Рис. 2. Общий вид жилого комплекса «Академ-Палас» с надстройкой
Fig. 2. General view of the Akadem-Palace residential complex, including added floors

- гравийно-галечникового грунта, водонасыщенного (ИГЭ-17);
- песка плотного, водонасыщенного (ИГЭ-19 и ИГЭ-20).

В фундаментах башен «А», «Б» и «В» под остриями испытанных свай залегает песок средней крупности, плотный, водонасыщенный (ИГЭ-20) и гравийно-галечниковый грунт, водонасыщенный (ИГЭ-17). Инженерно-геологические разрезы показаны на рис. 3–5. Показатели свойств грунтов приведены в табл. 1.

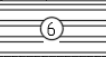
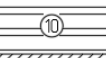
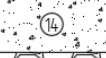
На участке строительства вскрыты два уровня подземных вод – надморенный и надъюрский. Надморенный водоносный горизонт зафиксирован на глубине 0,3–4,7 м (абсолютные отметки – 166,1–171,3 м). Содержащими воду породами являются насыпные грунты и флювиогляциальные пески. Надъюрский горизонт вскрыт на глубине 16,2–22,5 м (абсолютные отметки – 149,3–156,5 м). Водовмещающими породами являются подморенные флювиогляциальные и меловые пески. Воды горизонта имеют напор 13–20,5 м.

Таблица 1

Сводная геолого-литологическая колонка и физико-механические характеристики грунтов

Table 1

Summary of the geologic-lithologic column and physical-mechanical properties of soils

Индекс	№ инж.-геол. элементов	Геолого-литологическое описание	Уд. вес, γ , кгс/см ³	Показ. текущ., ϵ	Козф. порист., e	Уг. внутр. трен., ϕ , °	Уд. сцепление, C , кПа	Мод. деф., E , МПа
$k-Q_{IV}$		Насыльный грунт – пески, суглинки, супеси с включениями обломков кирпича, бетона, слез обшлея, влажные и водонасыщенные	16,5	$R_0 = 110,0$ кПа				
$f-Q_{II}^{ms}$		Суглинок мелкопесчаный, с линзами песка, с включениями гравия, тугопластичный	20,4	0,1	0,56	14	35	26,0
		Песок мелкий, глинистый, средней пластности, водонасыщенный	17,0	--	0,68	26	0	21,0
$g-Q_{II}^d$		Глина песчаная, с включениями песка, гравия, тугопластичная	20,2	0,28	0,55	13	40	22,0
		Суглинок песчаный, с включениями песка, гравия, тугопластичный	20,7	0,30	0,50	14	33	24,0
		Суглинок песчаный, с включениями песка, гравия, полутвердый	21,0	0,17	0,46	16	43	30,0
$f-Q_{II}^{a-d}$		Глина пылеватая, с включениями песка, мягкопластичная	18,5	0,70	0,86	9	27	14,0
		Глина пылеватая, с включениями песка, тугопластичная	18,8	0,26	0,72	11	37	18,0
		Суглинок мелкопесчаный, с линзами песка, мягкопластичный	18,9	0,60	0,76	10	23	16,0
		Суглинок мелкопесчаный, с линзами песка, тугопластичный	19,2	0,37	0,68	12	30	20,0
		Супесь пылеватая, с линзами песка, пластичная	20,0	0,55	0,74	20	9	15,0
		Песок мелкий, глинистый, средней пластности, водонасыщенный	19,3	--	0,65	28	1	24,0
		Гравийно-галечный грунт, водонасыщенный	20,4	--	0,45	40	0	30,0
K_1		Песок пылеватый, с прослоями глины и суглинка, плотный, водонасыщенный	20,2	--	0,53	33	5	30,0
		Песок мелкий, с прослоями глины и суглинка, плотный, водонасыщенный	20,3	--	0,50	35	4	38,0
		Песок средней крупности, с прослоями глины и суглинка, плотный, водонасыщенный	20,4	--	0,48	37	1	40,0
		Песчаник на железистом цементе	Предел прочности одноосному сжатию в вод. состоянии = 7 МПа					

Испытание грунтов сваями

Полученные расчетом по СП 24.13330.2021 [8] значения несущей способности свай, заглубленных в пески мелкие, плотные, оказались недостаточны для восприятия новых проектных величин нагрузок. Данные о проведенных ранее статических испытаниях грунтов сваями оказались утеряны, поэтому было принято решение о проведении повторных испытаний.

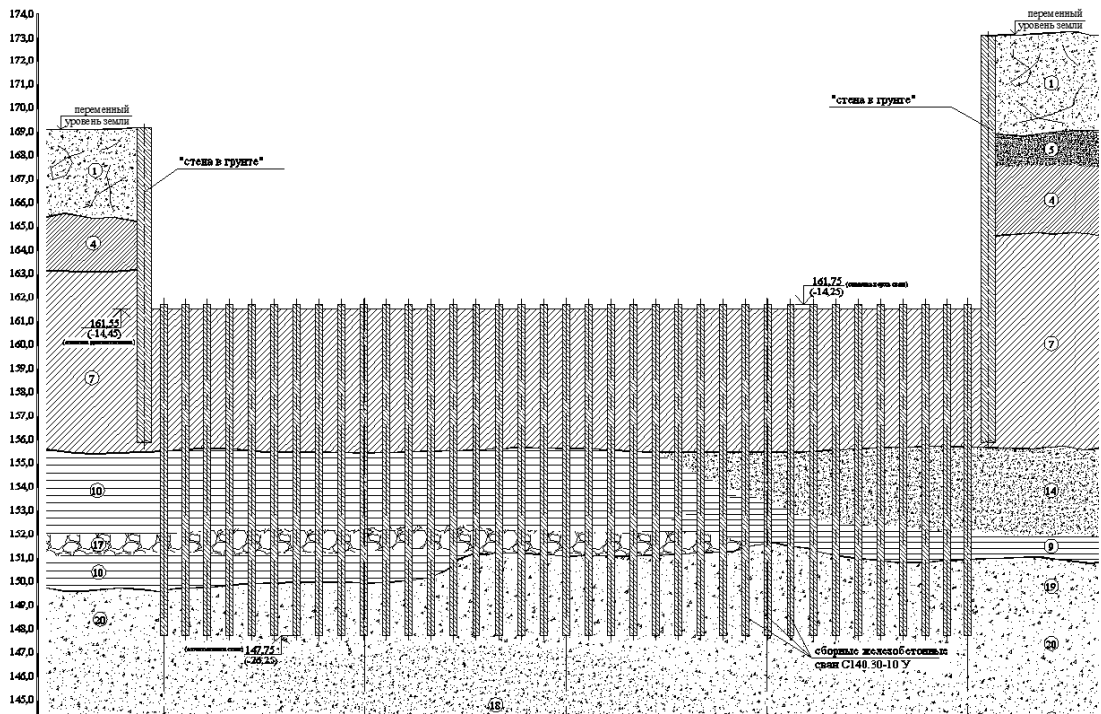


Рис. 3. Разрез по свайному полю корпуса «А», совмещенный с инженерно-геологическим
Fig. 3. Cross-section of the building A pile field integrated with engineering-geological data

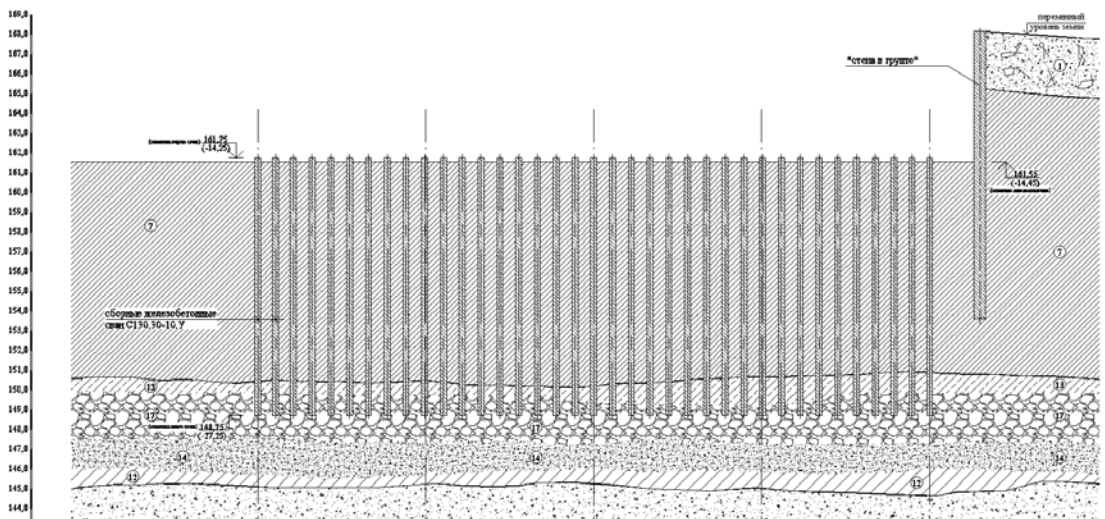


Рис. 4. Разрез по свайному полю корпуса «Б», совмещенный с инженерно-геологическим
Fig. 4. Cross-section of the building B pile field integrated with engineering-geological data

Испытаниям грунтов сваями статическими вдавливающими нагрузками были подвергнуты железобетонные сваи заводского изготовления сплошного квадратного сечения 300×300 мм, длиной 13 и 14 м и 350×350 мм, длиной 10 м в количестве 12 штук (по 4 штуки под каждую башню).

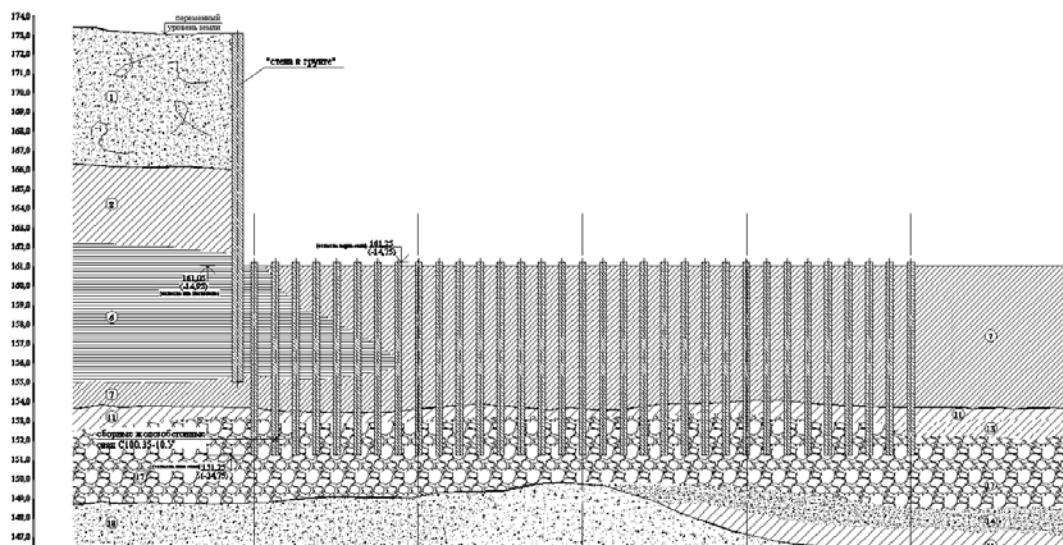


Рис. 5. Разрез по свайному полю корпуса «В», совмещенный с инженерно-геологическим
Fig. 5. Cross-section of the building B pile field integrated with engineering-geological data

Для испытаний были назначены сваи, расположенные по периметру башен со стороны стилобатной части для обеспечения возможности доступа к ним через демонтируемые участки фундаментной плиты стилобата (рис. 6). Для безопасного проведения испытаний были установлены защитные конструкции из металлических листов, а также постоянно выполнялась откачка подземных вод.

При подготовке сваи к испытаниям была отделена верхняя часть ствола свай длиной 40 см от ростверка для установки металлического оголовка на сваю и закрепления опорных металлических пластин на нижнюю поверхность ростверков жилых башен согласно эскизу, представленному на рис. 7.

Испытания выполнены в соответствии с требованиями ГОСТ 5686-2020 [9] и СП 24.13330.2021 [8]. При испытаниях грунтов сваями максимальная вдавливающая нагрузка была доведена до 150 тс для свай фундаментов башен «А» и «Б» и 175 тс для свай башни «В» (рис. 8).

Максимальные значения осадок испытанных свай с достижением условной стабилизации на каждой ступени составили:

- 3–12,1 мм – для свай фундаментов башен «А» и «Б»;
- 10,2–13,6 мм – для свай фундаментов башни «В».

Графики зависимости осадок свай сечением 300×300 и 350×350 мм от нагрузок показаны на рис. 9.

Результаты испытаний свидетельствуют, что всеми сваями подтверждены значения несущей способности, требуемые по новому проекту с надстройкой дополнительных этажей.

Оценка влияния испытываемой сваи на рядом расположенные выполнена расчетным моделированием с использованием программы PLAXIS 3D. При проведении расчетов был задан фрагмент свайного поля с 25 сваями (по 5 рядов в каждом направлении). Было принято, что испытываемая свая окружена соседними, жестко защемленными в плите ростверка.



Рис. 6. Шурф для испытания грунтов сваями
Fig. 6. Test pit for pile load testing of soils

Изначально при расчете на каждую сваю была задана нагрузка, равная 30 тс, что соответствовало усилиям от собственного веса конструкций здания высотой 15 этажей (этажность корпусов в момент проведения испытаний), включая четыре подземных. Далее в программе разъединяли одну сваю от ростверка и передавали на нее нагрузку, равную 150 тс (на ростверк также задавалась нагрузка 150 тс с противоположным знаком), таким образом моделируя испытание свай (общий вид расчетной схемы представлен на рис. 10). На рис. 11 и 12 представлены эпюры осадок грунтового массива при нагружении свай на 30 и 150 тс.

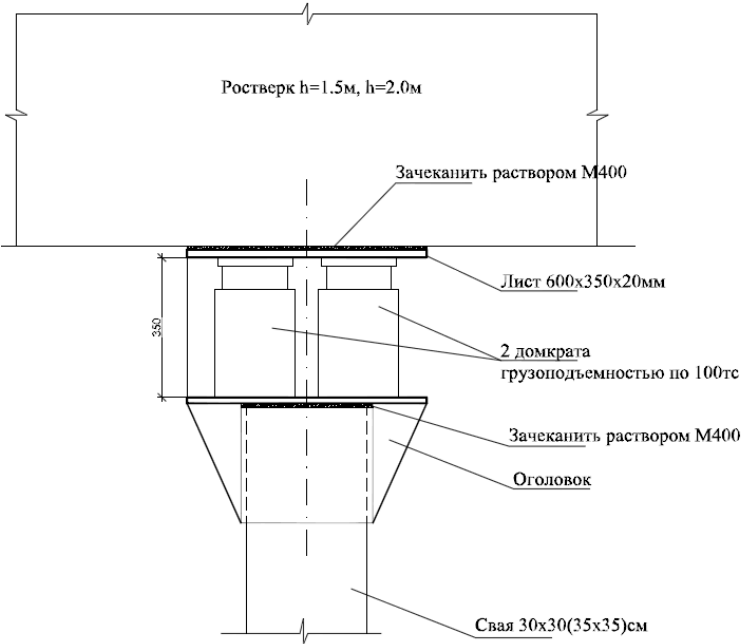


Рис. 7. Эскиз узла по размещению домкратов для испытания грунтов сваями
Fig. 7. Schematic diagram of the jack arrangement for pile load testing



Рис. 8. Испытания свай (применяется домкрат грузоподъемностью 200 т)
Fig. 8. Pile load testing using a 200 ton capacity jack

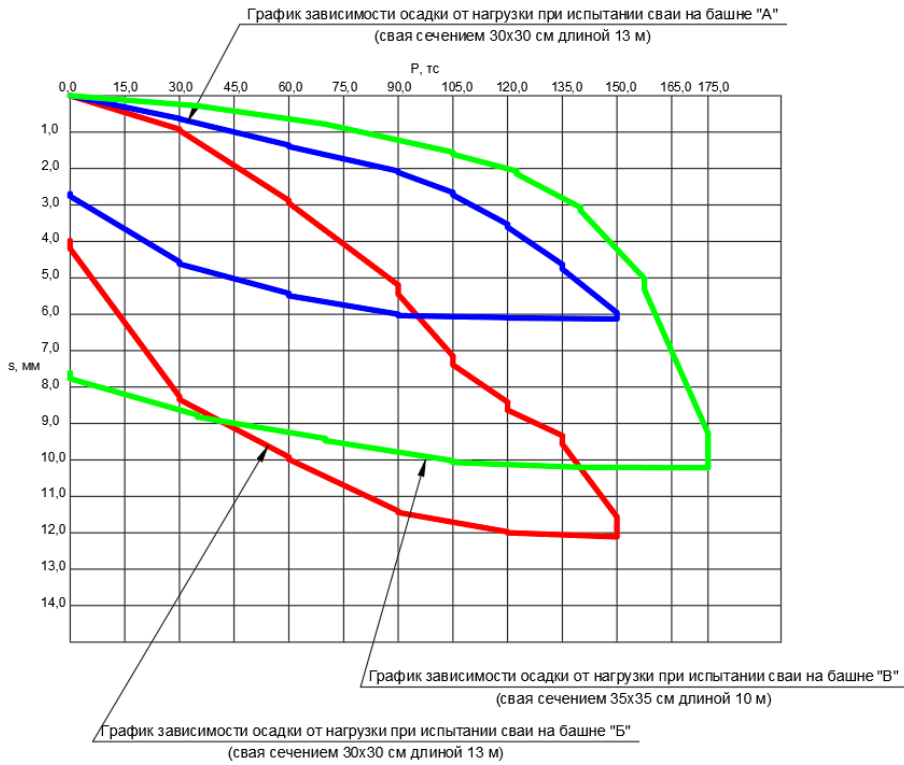


Рис. 9. Характерные графики зависимостей осадок свай от нагрузки при испытаниях
Fig. 9. Characteristic load-settlement curves from pile load tests

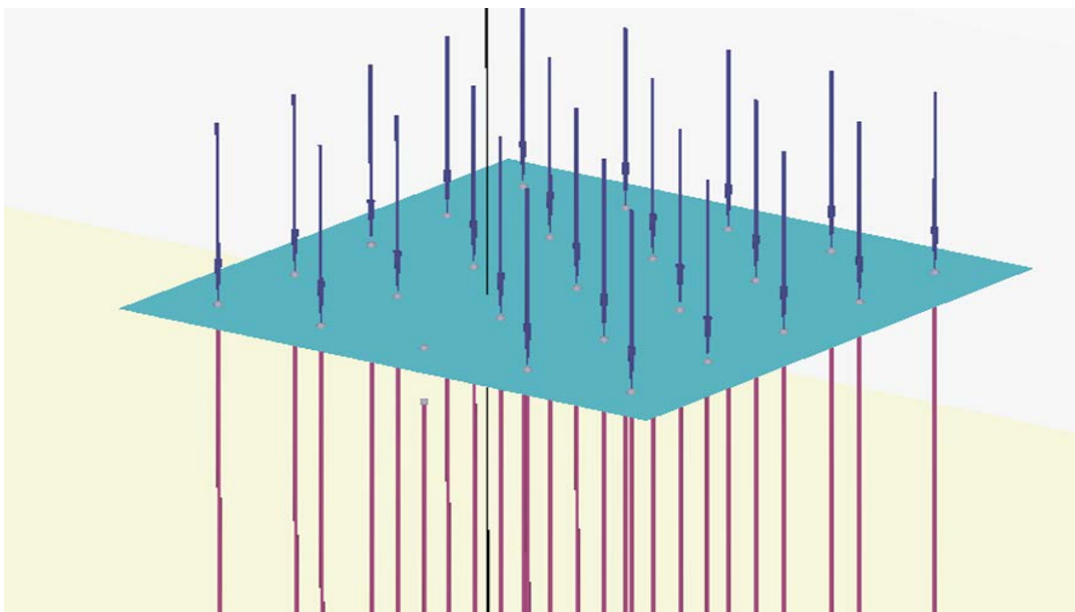


Рис. 10. Общий вид расчетной схемы на этапе моделирования испытания свай
Fig. 10. General view of the computational model during pile load test simulation

Таблица 2

Усилия в сваях и их перемещения по результатам расчетов

Table 2

Pile forces and displacements from calculation results

Определяемый параметр	Испытуемая свая		Ближайшая соседняя свая	
	Этапы расчетов: 1 этап – на все сваи заданы по 30 тс, 2 этап – на испытуемую сваю заданы 150 тс			
	1 этап	2 этап	1 этап	2 этап
Усилие, кН	297	1493	327	194
Осадка, мм	11,59	13,38	11,63	10,65

Результаты моделирования показывают, что продольные осевые силы в рядом расположенных сваях практически не изменяют свои значения, как и их осадки. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Моделирование свидетельствует об отсутствии влияния испытуемой сваи на соседние и наоборот – влияние соседних на испытуемую. Однако окончательная оценка взаимовлияния свай может быть сделана только после экспериментального подтверждения измерениями с помощью датчиков деформаций и напряжений, закрепленных на сваях.

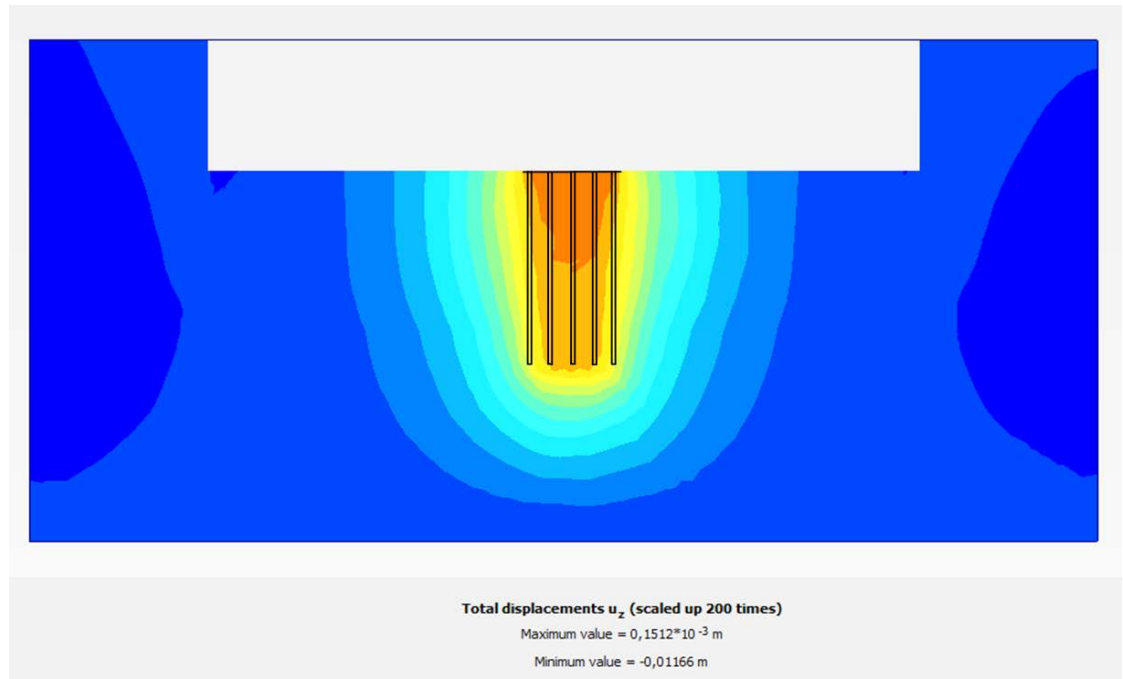


Рис. 11. Эпюра осадок грунтового массива при нагружении всех свай на 30 тс
Fig. 11. Settlement profile of the soil mass under a load of 30 tons on all piles

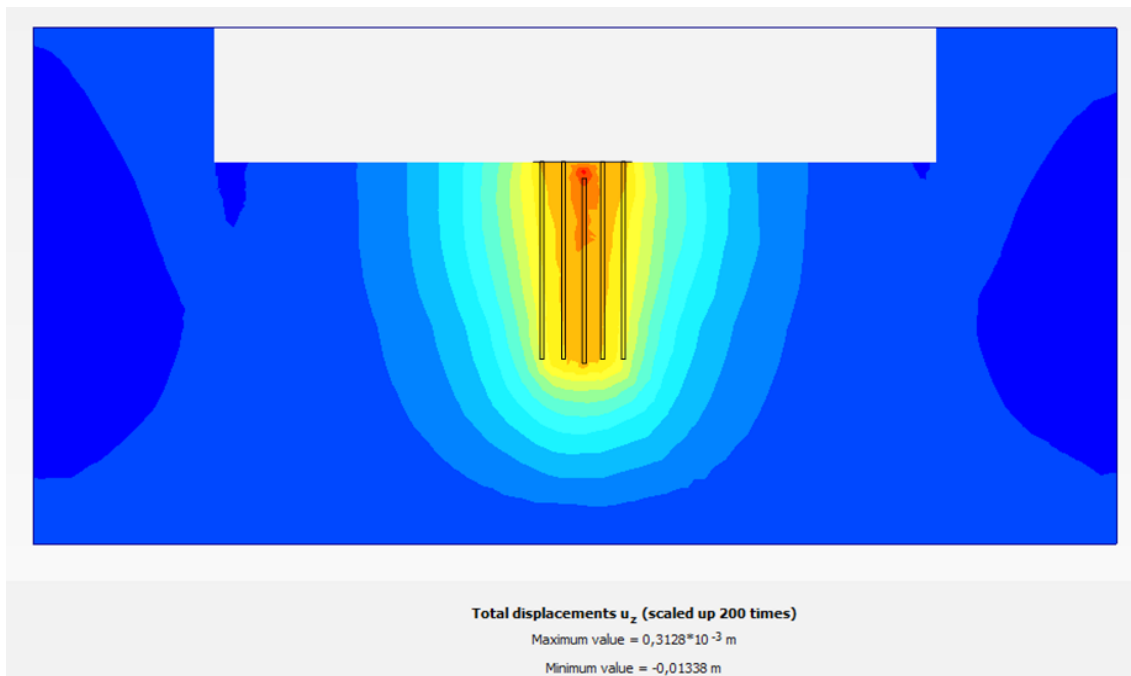


Рис. 12. Эпюра осадок грунтового массива при действии на испытываемую сваю нагрузки, равной 150 тс

Fig. 12. Settlement profile of the soil mass under a load of 150 tons on the test pile

Выводы

Испытаниями грунтов сваями фундаментов башен «А», «Б» и «В» подтверждены требуемые по новому проекту значения несущей способности свай и возможность надстройки здания дополнительными этажами.

Расчетное моделирование свидетельствует об отсутствии влияния испытываемой сваи на соседние, значения осадок которых не изменили своих значений.

Список литературы

1. *Осокин А.И.* Передача на сваи дополнительной нагрузки в условиях реконструкции [автореферат диссертации]. Санкт-Петербург; 1995.
2. *Алексеев С.А., Тихомирова Л.К.* Оценка результатов определения расчетной нагрузки на сваю, работающую в составе конструкции. Реконструкция городов и геотехническое строительство [интернет]. 2002;(5):120–124. Режим доступа: <http://georeconstruction.net/journals/05/22/22.htm>.
3. *Парамонов В.Н., Дунаевская Т.А.* Изменение несущей способности забивных свай во времени на открытых площадках и нагруженных конструкциями. Реконструкция городов и геотехническое строительство [интернет]. 2004;(8):102–106. Режим доступа: <http://georeconstruction.net/journals/08/files/pdf/0508009.pdf>.
4. *Улыбин А.В., Зубкова С.В., Федотов С.Д.* Обследование свайных фундаментов при надстройке зданий. Инженерно-строительный журнал. 2014;(4):17–27.
5. *Невзоров А.Л.* Оценка несущей способности свай при строительстве и реконструкции зданий в г. Архангельске. Развитие городов и геотехническое строительство: тр. междунар. конф. по геотехнике, Санкт-Петербург, 16–19 июня 2008 г. Т. 4. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет; 2008, с. 431–434.

6. Саенко Ю.В. Способы испытаний свай в существующих фундаментах перед реконструкцией зданий. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2018;9(2):134–141. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2018.2.13>.
7. Бахолдин Б.В., Ястребов П.И., Чашчихина Л.П. Исследование особенностей сопротивления грунтов в основании забивных свай. Основания, фундаменты и механика грунтов. 2009;(2):2–6.
8. СП 24.13330.2021. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. Москва: Российский институт стандартизации; 2022.
9. ГОСТ 5686-2020. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. Москва: Стандартинформ; 2020.

References

1. Osokin A.I. Transfer of additional load to piles under reconstruction conditions [abstract of dissertation]. St. Petersburg; 1995. (In Russian).
2. Alekseev S.A., Tikhomirova L.K. Evaluation of results of determination of design load on pile working as part of structure. Reconstruction of cities and geotechnical construction [internet]. 2002;(5):120–124. Available at: <http://georeconstruction.net/journals/05/22/22.htm>. (In Russian).
3. Paramonov V.N., Dunaevskaya T.A. Change in bearing capacity of driven piles over time on open sites and loaded structures. Reconstruction of cities and geotechnical construction [internet]. 2004;(8):102–106. Available at: <http://georeconstruction.net/journals/08/files/pdf/0508009.pdf>. (In Russian).
4. Ulybin A.V., Zubkova S.V., Fedotov S.D. Inspection of pile foundations during building superstructure. Journal of Civil Engineering. 2014;(4):17–27. (In Russian).
5. Nevzorov A.L. Assessment of the bearing capacity of piles during construction and reconstruction of buildings in Arkhangelsk. Urban development and geotechnical engineering: Proc. of the International Conf. on Geotechnics, St. Petersburg, June 16–19, 2008. Vol. 4. Sankt-Peterburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2008, pp. 431–434. (In Russian).
6. Saenko Yu.V. Methods for testing piles in existing foundations before reconstruction of buildings. PNRPU bulletin. Construction and Architecture. 2018;9(2):134–141. (In Russian). <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2018.2.13>.
7. Bakholdin B.V., Yastrebov P.I., Chashchikhina L.P. Study of soil resistance features at the base of driven piles. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2009;(2):2–6. (In Russian).
8. SP 24.13330.2021. Pile foundations. Updated version of SNiP 2.02.03-85. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2022. (In Russian).
9. State Standard 5686-2020. Soils. Field test methods by piles. Moscow: Standartinform Publ.; 2020. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Илья Михайлович Иовлев, старший научный сотрудник лаборатории новых видов свайных фундаментов ЦИСФ, НИИОСП им. Н.М. Герсевича АО «НИЦ «Строительство», Москва

Ilya M. Iovlev, Senior Researcher, Laboratory of New Types of Pile Foundations, TsISF, Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow

Сергей Александрович Крючков✉, заведующий лабораторией новых видов свайных фундаментов ЦИСФ, НИИОСП им. Н.М. Герсевича АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: lab38@mail.ru

тел.: +7 (499) 170-69-16

Sergey A. Kryuchkov✉, Head of the Laboratory, New Types of Pile Foundations, TsISF, Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: lab38@mail.ru

tel.: +7 (499) 170-69-16

Елена Александровна Метелица, научный сотрудник лаборатории механики опасных природно-техногенных процессов и разработки методов инженерной защиты, НИИОСП им. Н.М. Герсеевича АО «НИЦ «Строительство», Москва

Elena A. Metelitsa, Research Scientist, Laboratory of Mechanics of Dangerous Natural and Technogenic Processes and Development of Engineering Protection Methods, Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-122-134](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-122-134)
УДК 69.058.2

EDN: CORCOI

МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ИСТОРИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Е.В. ШЕЙКИН^{1,2,✉}

В.Ф. СТЕПАНОВА³, д-р техн. наук

¹ Центральные научно-реставрационные проектные мастерские, Школьная ул., д. 24, г. Москва, 109544, Российская Федерация

² АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

³ Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

Аннотация

Введение. В отличие от однородных материалов разрушение слоистых систем кладочного типа начинается не с поверхности, а одновременно во всем объеме. Причиной этого является возникновение на стыке слоев особого пограничного пространства, свойства которого могут существенно отличаться от свойств обоих контактирующих материалов. Несмотря на значительное количество работ, посвященных особенностям и закономерностям формирования этого пространства, нет ни одной, которая рассматривала бы особенности пограничного пространства в качестве ключевого фактора развития деструктивного процесса кладочной системы в целом.

Цель. Разработка подхода к механизму разрушения слоистых пористых систем кладочного типа объектов культурного наследия, долговременно находящихся под влиянием эксплуатационных факторов.

Материалы и методы. Представленная модель базируется на основе анализа проявлений основных физических механизмов разрушения в условиях межслойного пограничного пространства кладочной системы.

Результаты. Участки резкого перепада пор приводят к блокированию транспорта жидкой среды и ее испарению. Сопутствующая этому процессу аккумуляция в зоне испарения содержащихся в жидкой среде примесей уменьшает размер пор и со временем способствует запуску усадочно-деформативного (сорбционного) и кристаллизационного механизмов разрушения.

Выводы. Процессы деструкции в слоистых системах кладочного типа определяются изначальным существованием и дальнейшим развитием внутренних зон испарения. Эти микрозоны связаны с пограничными участками на стыке слоев, которые во множестве распределены внутри конструкции. В связи с этим процессы деструкции могут одновременно развиваться во всем объеме конструкции, ограничиваясь лишь участками, недостижимыми для прямого увлажнения. Из сказанного становится очевидным, что в условиях слоистых систем кладочного типа процесс деструкции носит саморазвивающийся характер, решающим фактором в котором служит доступ жидкой среды.

Ключевые слова: слоистые материалы, кирпичная кладка, объекты культурного наследия, исторические конструкции, механизмы разрушения, долговременное увлажнение, микропоры, бутылочные поры, зона испарения

Для цитирования: Шейкин Е.В., Степанова В.Ф. Механизм разрушения слоистых материалов исторических конструкций объектов культурного наследия. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2025;45(2):122–134. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-122-134](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-122-134)

Вклад авторов

Шейкин Е.В. – сбор и анализ результатов исследований, разработка модели, написание текста научной работы.

Степанова В.Ф. – научное руководство, редактирование текста научной работы.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 08.04.2025

Поступила после рецензирования 16.05.2025

Принята к публикации 22.05.2025

FRACTURE MECHANISMS OF LAYERED MATERIALS IN STRUCTURES OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS

E.V. SHEIKIN^{1,2,✉}

V.F. STEPANOVA³, Dr. Sci. (Engineering)

¹ Central Scientific and Restoration Project Workshops, Shkolnaya str., bld. 24, Moscow, 109544, Russian Federation

² JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya st., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation

³ Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract

Introduction. In contrast to homogeneous materials, fracture of layered masonry systems starts throughout the entire volume and not from the surface. This is due to a special boundary space emerging at the layer junction with the properties significantly different from those of both contacting materials. Despite the considerable number of works devoted to the features and patterns of its formation, the boundary space as a key factor in the fracture of the masonry system as a whole is still little touched upon.

Aim. To develop an approach to the fracture mechanisms of layered porous masonry systems in cultural heritage objects operated for a long time.

Materials and methods. The presented model analyzes the main physical fracture mechanisms in the interlayer boundary space of the masonry system.

Results. Areas of sharp pore changes block transport of liquid and its evaporation. Impurities contained in the liquid medium and accumulated in the evaporation zone reduce the pore size and eventually contribute to the initiation of shrinkage-deformation (sorption) and crystallization mechanisms of fracture.

Conclusions. The fracture processes in layered masonry systems are determined by the initial existence and further development of internal evaporation zones. These microzones are associated with boundary areas abundant at the layer junctions within the structure. In this regard, fracture processes develop simultaneously throughout the entire volume of the structure, being limited only to areas inaccessible for direct moistening. Thus, the fracture of layered masonry systems is self-developing and mainly determined by the access of a liquid medium.

Keywords: layered materials, brick masonry, cultural heritage objects, historical structures, fracture mechanisms, long-term moisture, micropores, ink-bottle pores, evaporation zone

For citation: Sheikin E.V., Stepanova V.F. Fracture mechanisms of layered materials in structures of cultural heritage objects. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2025;45(2):122–134. [In Russian]. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-122-134](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-122-134)

Authors contribution statement

Sheikin E.V. – collection and analysis of research results, development of a model, writing the text of a scientific article.

Stepanova V.F. – scientific supervision, editing of the article text.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 08.04.2025

Revised 16.05.2025

Accepted 22.05.2025

Введение

Процессы деструкции кладочных систем существенно отличаются от процессов деструкции однородных материалов. В отличие от однородных материалов разрушение слоистых систем кладочного типа начинается не с поверхности, а одновременно во всем объеме [1]. Причиной этого является возникновение на стыке слоев особого пограничного пространства, свойства которого могут существенно отличаться от свойств обоих контактирующих материалов. Несмотря на значительное количество работ, посвященных особенностям и закономерностям формирования этой «серой зоны», по выражению одного из исследователей [2], нет ни одной, насколько нам известно, которая рассматривала бы особенности пограничного пространства в качестве ключевого фактора развития деструктивного процесса кладочной системы в целом.

Пограничное пространство на стыке слоев

Кладка как строительная конструкция представляет собой набор блоков, скрепленных раствором. Блоки могут быть как естественного (камни), так и искусственного (кирпич) происхождения. Но и те и другие не могут полностью совпадать по своим свойствам с раствором.

Пористость у кирпича и известкового раствора, традиционного для исторических конструкций, существенно не различается, составляя в среднем 25–35 %, а вот размер пор может различаться достаточно значительно. Хорошо обожженный кирпич ручного изготовления имеет один ярко выраженный пик пор в районе 1–3 мкм; известковый раствор может иметь несколько пиков пор в диапазоне от 0,1 до 100 мкм. Совмещение материалов с разными свойствами приводит к возникновению комплексной системы с труднопрогнозируемыми свойствами. Характерным примером может служить исследование R. Burkinshaw, который

проводил опыты по высоте подсоса влаги кирпичной кладкой на традиционном известковом растворе [3]. Автор описывает, что ему пришлось несколько раз переделывать раствор, прежде чем удалось получить компоновку, при которой наблюдалось капиллярное поднятие воды. В первых вариантах вода просто не шла вследствие несовпадения по характеристикам пор раствора и кирпича и, соответственно, возникновения эффекта капиллярного барьера [4].

Ситуация осложняется еще и тем, что раствор укладывается в жидком виде и высыхает уже внутри конструкции. Свежий раствор фактически представляет собой жидкость и ведет себя как жидкость [5–7]. При соприкосновении с кирпичом, даже предварительно выдержанным в воде, влага из раствора начинает активно мигрировать в поры кирпича. Крупные частицы заполнителя оказываются достаточно тяжелыми для транспортировки и остаются на месте. Более же легкие частицы связующего легко проникают вместе с водой в поверхностный слой кирпича, создавая пограничную прослойку, состоящую фактически из одного связующего [2, 8–13]. Таким образом, можно принять, что на границе с кирпичом будут только поры, характерные для известковой пасты, т. е. в диапазоне 0,1–2 мкм.

Необходимо отметить и тот факт, что сопряжение разных материалов, даже с идентичными свойствами, не может дать идеальную границу с точки зрения гидравлических свойств. Тем более идеального контакта невозможно достичь в случае материалов с разными свойствами. Поэтому часть пограничной поверхности на стыке материалов, как правило, связана с образованием пустот [14–22]. Исходя из сказанного можно предполагать три разных компоновки пор при стыковке кирпича с раствором:

- Примерное совпадение пор по размеру, не препятствующее перемещению жидкой среды.
- Резкий перепад пор по размеру или наличие пустотности, препятствующие перемещению жидкой среды.
- Поры одного из элементов попадают не на поры, а на минеральную поверхность другого элемента, способствуя формированию тупиковых пор.

Первая компоновка обеспечивает сквозную миграцию жидкости, поэтому именно эти участки отвечают за высоту подсоса конструкции в целом. Третья компоновка полностью блокирует воду. Обе компоновки не играют ведущей роли в развитии механизмов разрушения.

При второй компоновке, т. е. при резком перепаде размера пор или наличии пустотности перемещение жидкой среды блокируется, участок становится потенциальной зоной испарения. Если более мелкие поры принадлежат раствору, то зона испарения формируется в процессе капиллярного подсоса, поскольку поступление влаги в кладку всегда происходит через раствор как непрерывную фазу. Если более мелкие поры принадлежат кирпичу, то зона испарения формируется в процессе высыхания предварительно насыщенных участков.

Реализация механизмов разрушения в условиях доступа жидкой влаги

Рассмотрим более подробно возможные варианты реализации механизмов разрушения в подобных ситуациях исходя из предположения о доступе для модельных участков влаги из грунта. Проанализируем ситуацию, когда более мелкие поры относятся к раствору. Поскольку раствор является непрерывной фазой, то изначально вода, по всей вероятности, будет поступать со стороны раствора, тогда как более крупные поры кирпича будут оставаться пустыми (рис. 1). Их заполнение возможно, но обходными путями, со стороны сети более мелких пор кирпича.

Вода в грунте и, соответственно, в порах строительных материалов никогда не бывает в чистом виде. Она всегда несет в себе частицы почвы, соли и микрообломки материалов. При блокировании жидкости на границе (вторая компоновка) она начинает постепенно испаряться, тогда как содержащиеся в ней примеси осаждаются, постепенно заполняя поры и уменьшая их размер. Соответственно, даже если вначале поры были микронного размера, то постепенно их размер уменьшится до нанометрического диапазона (рис. 2), после чего уязвимость модельного участка резко возрастет вследствие возникновения благоприятных условий для включения усадочно-деформативного и кристаллизационного механизмов разрушения. Усадочно-деформативный (сорбционный) механизм подразумевает возрастание коэффициента влажностного расширения и, соответственно, объемных деформаций в порах менее 0,1 мкм [23, 24]. Кристаллизационный механизм действует в бутылочных порах, размеры горл которых также составляют менее 0,1 мкм [25].

Возрастание коэффициента влажностного расширения уменьшившихся пор способствует накоплению усталостных напряжений при циклических колебаниях относительной влажности. В конечном счете это неизбежно приведет к зарождению и развитию в области напряжений сети микротрещин (рис. 3). Вновь образованные участки с микротрещинами также будут уязвимыми, поскольку будут подвержены тому же усадочно-деформативному механизму разрушения. Дальнейшее развитие усталостных напряжений будет способствовать зарождению новых и частичному объединению уже имеющихся сетей микротрещин. Последнее приведет к разрушению материала с образованием микрообломков (рис. 4), способных переноситься вместе с жидкостью к новым зонам испарения. После подобного

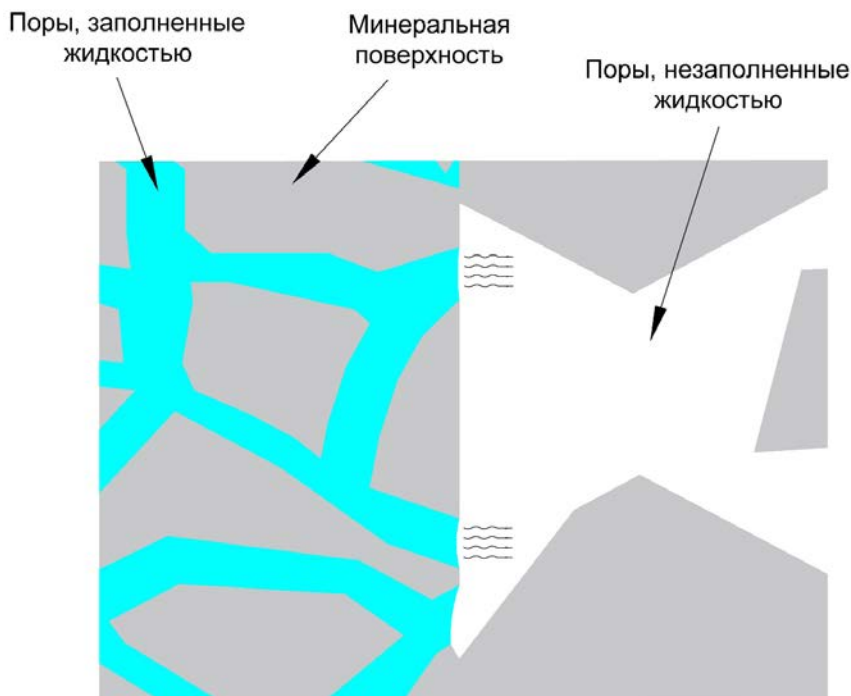


Рис. 1. Перепад пор на стыке материалов. Возникновение капиллярного барьера
Fig. 1. Pore difference at the junction of materials. Formation of a capillary barrier

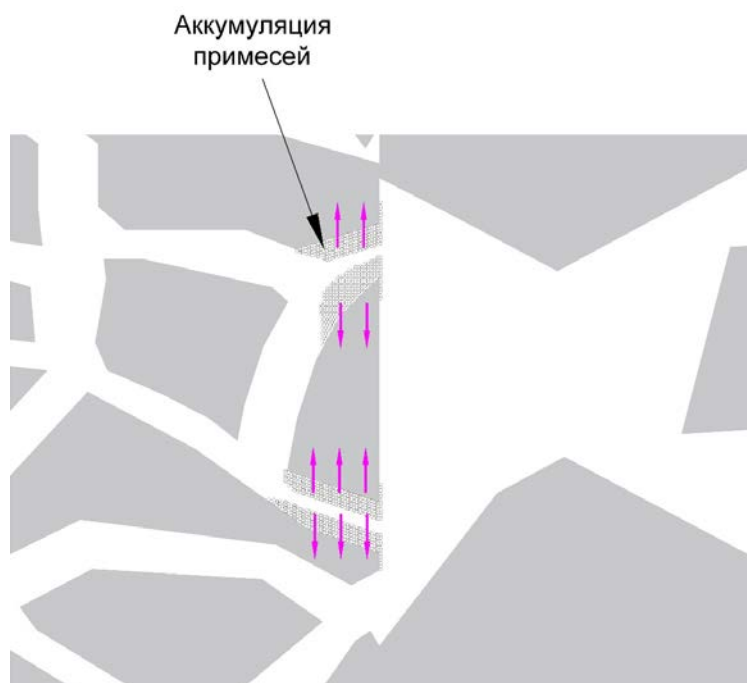


Рис. 2. Уменьшение размеров пор в результате осаждения примесей. Стрелками условно показаны области возникновения напряжений в материале

Fig. 2. Reduction of a pore size due to precipitation of impurities. The arrows conventionally indicate stress areas in the material

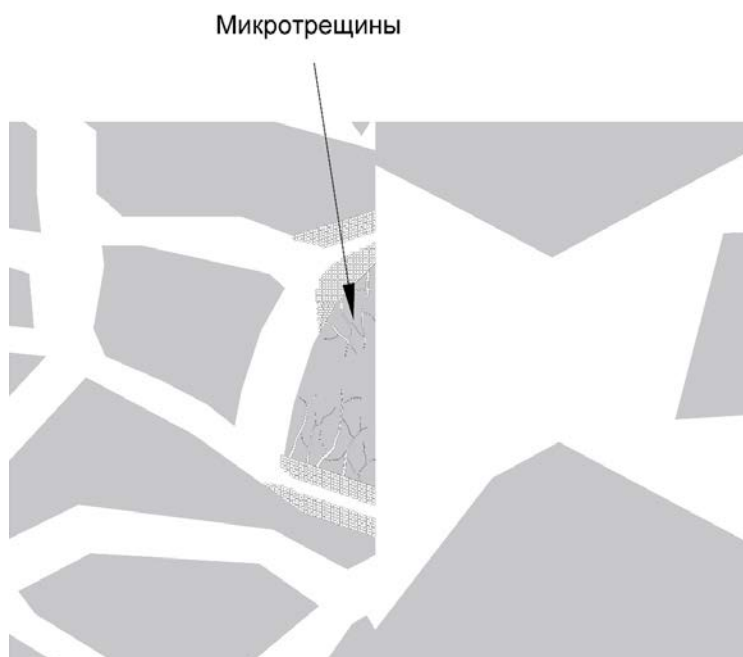


Рис. 3. Зарождение сети микротрещин в процессе развития усадочно-деформативного механизма

Fig. 3. Emergence of a microcrack network in the process of shrinkage-deformation development

перераспределения модельный участок вновь изменит свой облик, поскольку произойдет расширение порового пространства за счет разрушенного участка (рис. 5).

В случае аккумуляции в зоне испарения не только минеральных частиц, но и солей, параллельно с усадочно-деформативным механизмом могут возникнуть условия для включения кристаллизационного механизма разрушения. Следует отметить, что если в первом варианте, т. е. при реализации усадочно-деформативного механизма, основные напряжения приходились на стенки микропоры, поскольку величина расклинивающего давления обратно пропорциональна размеру поры [26], то во втором варианте, т. е. при реализации кристаллизационного механизма, основные напряжения будут возникать уже в широкой части поры, поскольку рост большого кристалла будет осуществляться за счет растворения мелких кристаллов [27]. В процессе кристаллизации соли легко заполнят объем более крупной поры, сохраняя, однако, пленку жидкости, служащую путем поступления материала для роста кристалла (рис. 6). В этом случае область напряжений распространится на стенки широкой части поры, где повторятся все представленные выше этапы зарождения, развития и объединения сетей микротрещин.

Описанные процессы со временем могут существенно изменить геометрию порового пространства. Структура приповерхностных слоев в зонах испарения станет более плотной и с более мелкими порами за счет аккумуляции примесей. И наоборот, поры на тех участках, где произошли разрушения минеральной поверхности, станут более широкими за счет вымывания микрообломков. Эти поры могут впоследствии развиваться в макротрещины и пустоты.



Рис. 4. Разрушение части стенки пор с образованием микрообломков
Fig. 4. Partial fracture of the pore wall with the formation of microfragments

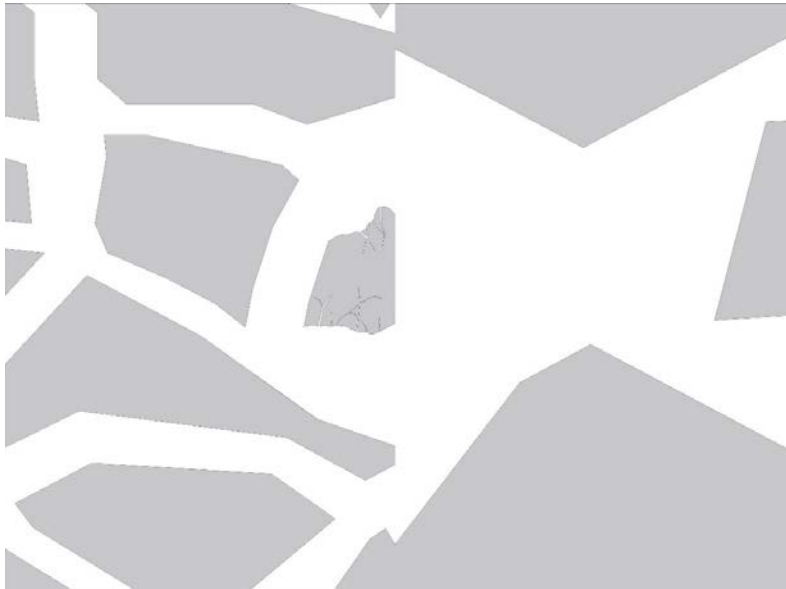


Рис. 5. Увеличение пористого пространства в результате разрушения поверхностного слоя стенок пор и вымывания микрообломков

Fig. 5. Increase in porous space due to surface fracture of the pore wall layer and microfragment washing

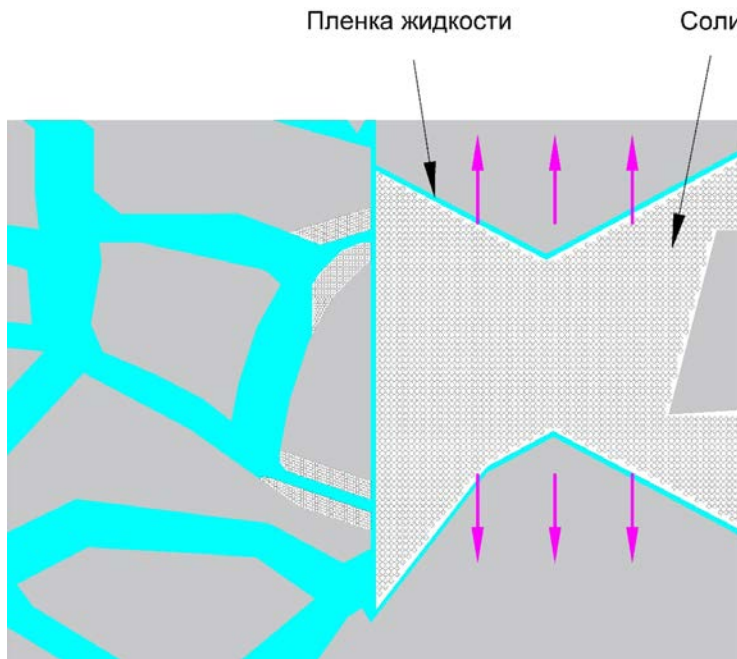


Рис. 6. Солевое разрушение в крупной части поры. Стрелками условно показаны области возникновения напряжений в материале

Fig. 6. Salt fracture in a large part of the pore. The arrows conventionally indicate stress areas in the material

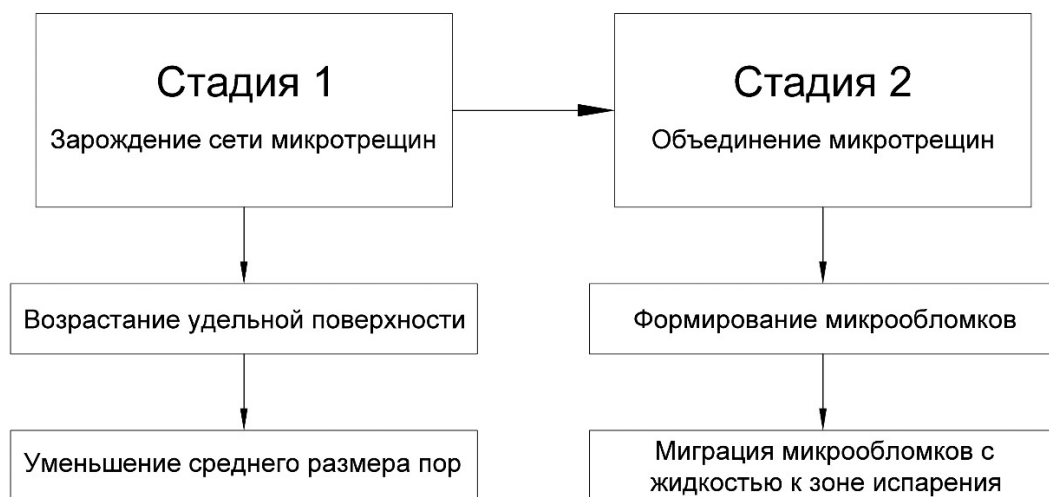


Рис. 7. Трансформация порового пространства в процессе развития механизмов разрушения
Fig. 7. Transformation of the pore space during fracture development

Из сказанного очевидно, что изменение геометрии пор в процессе деструкции на каждом конкретном участке проходит по меньшей мере две стадии (рис. 7).

Первая стадия характеризуется возрастанием удельной поверхности и уменьшением среднего размера пор. На второй стадии происходит развитие внутренней неоднородности порового пространства материала. Структура участков, где проявлялись напряжения, становится менее плотной с порами увеличенного размера, как результат вымывания части материала в виде микрообломков. На этих участках в дальнейшем, по всей вероятности, будет наблюдаться снижение прочностных характеристик. И наоборот, приповерхностный слой материала в районе близлежащей зоны испарения становится более плотным с развитой микропористостью в результате осаждения в процессе испарения жидкости примесей, включая мигрирующие микрообломки. При сужении пор до нанометрической области на этих участках также запускаются описанные выше механизмы разрушения и все последующие этапы деструкции.

Выводы

Представленная модель деструкции слоистых систем кладочного типа связана с изначальным существованием и дальнейшим развитием в них внутренних зон испарения. Эти микрозоны определяются пограничными участками на стыке слоев, которые во множестве распределены внутри конструкции. В связи с этим процессы деструкции могут одновременно развиваться во всем объеме конструкции, ограничиваясь лишь участками, недостижимыми для прямого увлажнения. Из сказанного становится очевидным, что в условиях слоистых систем кладочного типа процесс деструкции носит саморазвивающийся характер, решающим фактором, для активизации которого служит доступ жидкой среды.

С этой точки зрения любой участок конструкции из слоистых материалов, долговременно существующий в условиях постоянного или периодического увлажнения, будет неизбежно (в той или иной степени) зонирован по физическим свойствам материалов. Это

зонирование определяется расположением макротрещин и пустот, представляющих собой внутренние зоны испарения. Приповерхностные слои этих внутренних зон испарения будут уплотнены различными примесями, включающими частицы почвы, микрообломки и соли. Состояние же материалов за зонами уплотнения может существенно различаться, именно это будет характеризовать состояние анализируемого участка в целом. Материалы могут быть:

- в нетронутом состоянии (физические свойства материалов приближаются к изначальным). В этом случае процессы деструкции либо не происходят, либо происходят в замедленном режиме. Доступ влаги от источников увлажнения минимален;
- пронизанными сетью микротрещин (средний размер пор уменьшается, удельная поверхность возрастает по сравнению со свойствами новых материалов, первый этап деструкции). В этом случае процессы деструкции активно развиваются, однако материалы сохраняют свои прочностные характеристики близкими к изначальным;
- пронизанными макротрещинами (потенциальный разлом, второй этап деструкции). В этом случае развитие процессов деструкции привело к возрастанию пустотности, следствием чего может явиться снижение прочностных характеристик материалов.

Список литературы

1. Шейкин Е.В. Характер разрушения слоистых пористых материалов в конструкциях объектов культурного наследия. Бетон и железобетон. 2025;627(2):54–62. [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-2\(627\)-54-62](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-2(627)-54-62).
2. Brocken H.J.P. Moisture transport in brick masonry: the grey area between bricks [Ph.D. Thesis]. Eindhoven University of Technology, The Netherlands; 1998. Available at: <https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/1327854/9803487.pdf>.
3. Burkinshaw R. The rising damp tests of Camberwell Pier: Potential height of moisture rise in brickwork and the effectiveness of a modern chemical injection cream damp coursing application. Journal of Building Appraisal. 2010;6(1):5–19. <https://doi.org/10.1057/jba.2010.13>.
4. Mancarella D., Simeone V. Capillary barrier effects in unsaturated layered soils, with special reference to the pyroclastic veneer of the Pizzo d'Alvano, Campania, Italy. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2012;71(4):791–801. <https://doi.org/10.1007/s10064-012-0419-6>.
5. Fourmentin M., Faure P., Rodts S., Peter U., Lesueur D., Daviller D., Coussot P. NMR observation of water transfer between a cement paste and a porous medium. Cement and Concrete Research. 2017;95:56–64. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.027>.
6. Groot C., Larbi J. The influence of water flow (reversal) on bond strength development in young masonry. Heron. 1999;44(2):63–78.
7. Hendrickx R., Van Balen K., Van Gemert D., Roels S. Measuring and modelling water transport from mortar to brick. In: Schueremans L. (ed.). Building materials and building technology to preserve the built heritage, 1st WTA-International PhD symposium, October 8-9, 2009, Leuven, Belgium, WTA-Schriftenreihe; 2009, pp. 175–194.
8. Botas S., Veiga R., Velosa A.L. Adherence Evaluation in Tile-Mortar Interface. Materials Science Forum. 2012;730–732:403–408. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.730-732.403>.
9. Hendrickx R., Roels S., Van Balen K. Water transport between mortar and brick: The influence of material parameters. RILEM Bookseries. 2013;7:329–341. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4635-0_26.
10. Janssen H., Derluyn H., Carmeliet J. Moisture transfer through mortar joints: A sharp-front analysis. Cement and Concrete Research. 2012;42(8):1105–1112. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.05.004>.
11. Janssen H., Derluyn H., Carmeliet J. Moisture transfer through mortar joints: interface resistances or hygric property changes? In: Proceedings of 12th Symposium for Building Physics; 2007. Available at: <https://lirias.kuleuven.be/retrieve/30696>.

12. *Moropoulou A., Bakolas A., Bisbikou K.* Physico-chemical adhesion and cohesion bonds in joint mortars imparting durability to the historic structures. *Construction and Building Materials*. 2000;14(1):35–46. [https://doi.org/10.1016/s0950-0618\(99\)00045-8](https://doi.org/10.1016/s0950-0618(99)00045-8).
13. *Rodriguez-Navarro C., Cazalla O., Elert K., Sebastian E.* Liesegang pattern development in carbonating traditional lime mortars. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2002;458(2025):2261–2273. <https://doi.org/10.1098/rspa.2002.0975>.
14. *Brocken H.J.P., Spiekman M.E., Pel L., Kopinga K., Larbi J.A.* Water extraction out of mortar during brick laying: A NMR study. *Materials and Structures*. 1998;31(1):49–57. <https://doi.org/10.1007/bf02486414>.
15. *Carasek H., Japiassú P., Cascudo O., Velosa A.* Bond between 19th Century lime mortars and glazed ceramic tiles. *Construction and Building Materials*. 2014;59:85–98. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.043>.
16. *Chase G.W.* Characterization of the interface between brick and mortar [PhD Theses]. Iowa State University; 1983. <https://doi.org/10.31274/rtd-180813-7996>.
17. *Davison J.I.* Loss of Moisture from Fresh Mortars to Bricks. *Materials, Research and Standards, ASTM*. 1961;1(5):385–389.
18. *De Freitas V.P., Abrantes V., Crausse P.* Moisture migration in building walls—Analysis of the interface phenomena. *Building and Environment*. 1996;31(2):99–108. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(95\)00027-5](https://doi.org/10.1016/0360-1323(95)00027-5).
19. *Derluyn H., Moonen P., Carmeliet J.* Moisture transfer across the interface between brick and mortar joint. *Proceedings of the Nordic Symposium on Building Physics*. 2008;2:865–872.
20. *Sugo H.O., Page A.W., Lawrence S.* A study of bond strength and mortar microstructure developed using masonry cement. *Proceedings of 12th International Brick and Block Masonry Conference, Madrid, Spain; 2000*, pp. 1753–1763.
21. *Zanelato E.B., Alexandre J., de Azevedo A.R.G., Marvila M.* Evaluation of roughcast on the adhesion mechanisms of mortars on ceramic substrates. *Materials and Structures*. 2019;52(3). <https://doi.org/10.1617/s11527-019-1353-x>.
22. *Zhou Z., Walker P., D'Ayala D.* Strength characteristics of hydraulic lime mortared brickwork. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Construction Materials*. 2008;161(4):139–146. <https://doi.org/10.1680/coma.2008.161.4.139>.
23. *Gor G.Y., Huber P., Bernstein N.* Adsorption-induced deformation of nanoporous materials – A review. *Applied Physics Reviews*. 2017;4(1). <https://doi.org/10.1063/1.4975001>.
24. *Stück H., Siegesmund S., Rüdlich J.* Weathering behaviour and construction suitability of dimension stones from the Drei Gleichen area (Thuringia, Germany). *Environmental Earth Sciences*. 2011;63(7–8):1763–1786. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1043-7>.
25. *Steiger M.* Crystal growth in porous materials—II: Influence of crystal size on the crystallization pressure. *Journal of Crystal Growth*. 2005;282(3–4):470–481. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2005.05.008>.
26. *Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муллер В.М.* Поверхностные силы. Москва: Наука; 1985.
27. *Scherer G.W.* Factors affecting crystallization pressure. In: *International RILEM Workshop on Internal Sulfate Attack and Delayed Ettringite Formation*. RILEM Publications SARL; 2004, pp. 139–154. <https://doi.org/10.1617/2912143802.009>.

References

1. *Sheikin E.V.* The nature of destruction of layered porous materials in the structures of cultural heritage sites. *Beton i Zhелеzobeton = Concrete and Reinforced Concrete*. 2025;627(2):54–62. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-2\(627\)-54-62](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-2(627)-54-62).
2. *Brocken H.J.P.* Moisture transport in brick masonry: the grey area between bricks [Ph.D. Thesis]. Eindhoven University of Technology, The Netherlands; 1998. Available at: <https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/1327854/9803487.pdf>.
3. *Burkinshaw R.* The rising damp tests of Camberwell Pier: Potential height of moisture rise in brickwork and the effectiveness of a modern chemical injection cream damp coursing application. *Journal of Building Appraisal*. 2010;6(1):5–19. <https://doi.org/10.1057/jba.2010.13>.

4. Mancarella D., Simeone V. Capillary barrier effects in unsaturated layered soils, with special reference to the pyroclastic veneer of the Pizzo d'Alvano, Campania, Italy. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2012;71(4):791–801. <https://doi.org/10.1007/s10064-012-0419-6>.
5. Fourmentin M., Faure P., Rodts S., Peter U., Lesueur D., Daviller D., Coussot P. NMR observation of water transfer between a cement paste and a porous medium. *Cement and Concrete Research*. 2017;95:56–64. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.027>.
6. Groot C., Larbi J. The influence of water flow (reversal) on bond strength development in young masonry. *Heron*. 1999;44(2):63–78.
7. Hendrickx R., Van Balen K., Van Gemert D., Roels S. Measuring and modelling water transport from mortar to brick. In: Schueremans L. (ed.). *Building materials and building technology to preserve the built heritage*, 1st WTA-International PhD symposium, October 8-9, 2009, Leuven, Belgium, WTA-Schriftenreihe; 2009, pp. 175–194.
8. Botas S., Veiga R., Velosa A.L. Adherence Evaluation in Tile-Mortar Interface. *Materials Science Forum*. 2012;730–732:403–408. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.730-732.403>.
9. Hendrickx R., Roels S., Van Balen K. Water transport between mortar and brick: The influence of material parameters. *RILEM Bookseries*. 2013;7:329–341. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4635-0_26.
10. Janssen H., Derluyn H., Carmeliet J. Moisture transfer through mortar joints: A sharp-front analysis. *Cement and Concrete Research*. 2012;42(8):1105–1112. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.05.004>.
11. Janssen H., Derluyn H., Carmeliet J. Moisture transfer through mortar joints: interface resistances or hygric property changes? In: *Proceedings of 12th Symposium for Building Physics*; 2007. Available at: <https://lirias.kuleuven.be/retrieve/30696>.
12. Moropoulou A., Bakolas A., Bisbikou K. Physico-chemical adhesion and cohesion bonds in joint mortars imparting durability to the historic structures. *Construction and Building Materials*. 2000;14(1):35–46. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(99\)00045-8](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(99)00045-8).
13. Rodriguez-Navarro C., Cazalla O., Elert K., Sebastian E. Liesegang pattern development in carbonating traditional lime mortars. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2002;458(2025):2261–2273. <https://doi.org/10.1098/rspa.2002.0975>.
14. Brocken H.J.P., Spiekman M.E., Pel L., Kopinga K., Larbi J.A. Water extraction out of mortar during brick laying: A NMR study. *Materials and Structures*. 1998;31(1):49–57. <https://doi.org/10.1007/bf02486414>.
15. Carasek H., Japiassú P., Cascudo O., Velosa A. Bond between 19th Century lime mortars and glazed ceramic tiles. *Construction and Building Materials*. 2014;59:85–98. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.043>.
16. Chase G.W. Characterization of the interface between brick and mortar [PhD Theses]. Iowa State University; 1983. <https://doi.org/10.31274/rtd-180813-7996>.
17. Davison J.I. Loss of Moisture from Fresh Mortars to Bricks. *Materials, Research and Standards, ASTM*. 1961;1(5):385–389.
18. De Freitas V.P., Abrantes V., Crausse P. Moisture migration in building walls—Analysis of the interface phenomena. *Building and Environment*. 1996;31(2):99–108. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(95\)00027-5](https://doi.org/10.1016/0360-1323(95)00027-5).
19. Derluyn H., Moonen P., Carmeliet J. Moisture transfer across the interface between brick and mortar joint. *Proceedings of the Nordic Symposium on Building Physics*. 2008;2:865–872.
20. Sugo H.O., Page A.W., Lawrence S. A study of bond strength and mortar microstructure developed using masonry cement. *Proceedings of 12th International Brick and Block Masonry Conference*, Madrid, Spain; 2000, pp. 1753–1763.
21. Zanelato E.B., Alexandre J., de Azevedo A.R.G., Marvila M. Evaluation of roughcast on the adhesion mechanisms of mortars on ceramic substrates. *Materials and Structures*. 2019;52(3). <https://doi.org/10.1617/s11527-019-1353-x>.
22. Zhou Z., Walker P., D'Ayala D. Strength characteristics of hydraulic lime mortared brickwork. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Construction Materials*. 2008;161(4):139–146. <https://doi.org/10.1680/coma.2008.161.4.139>.
23. Gor G.Y., Huber P., Bernstein N. Adsorption-induced deformation of nanoporous materials – A review. *Applied Physics Reviews*. 2017;4(1). <https://doi.org/10.1063/1.4975001>.
24. Stück H., Siegesmund S., Rüdric J. Weathering behaviour and construction suitability of dimension stones from the Drei Gleichen area (Thuringia, Germany). *Environmental Earth Sciences*. 2011;63(7–8):1763–1786. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1043-7>.

25. *Steiger M.* Crystal growth in porous materials—II: Influence of crystal size on the crystallization pressure. *Journal of Crystal Growth*. 2005;282(3–4):470–481. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2005.05.008>.
26. *Deryagin B.V., Churaev N.V., Muller V.M.* Surface forces. Moscow: Nauka Publ.; 1985. (In Russian).
27. *Scherer G.W.* Factors affecting crystallization pressure. In: *International RILEM Workshop on Internal Sulfate Attack and Delayed Ettringite Formation*. RILEM Publications SARL; 2004, pp. 139–154. <https://doi.org/10.1617/2912143802.009>.

Информация об авторах / Information about the authors

Евгений Валерьевич Шейкин[✉], начальник сектора диагностики влажностного и структурного состояния конструкций, Центральные научно-реставрационные проектные мастерские; соискатель, АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: evg.sheykin@gmail.com

Evgenii V. Sheikin[✉], Sectoral Head, Sector for Diagnostics of Moisture and Structural Condition of Structures, Central Scientific and Restoration Project Workshops; Applicant, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: evg.sheykin@gmail.com

Валентина Федоровна Степанова, научный руководитель лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: vfstepanova@mail.ru

Valentina F. Stepanova, Deputy Head for Research, Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: vfstepanova@mail.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-135-144](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-135-144)

EDN: EDFFAP

УДК 674.04: 620.173.2

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ И ПРОПИТКИ ПОЛИМЕРНЫМ СОСТАВОМ НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАТИВНЫЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ

Н.В. КОЛЕСНИКОВ✉

М.В. АРИСКИН, канд. техн. наук

Д.О. МАРТЫШКИН

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, ул. Германа Титова, д. 28, г. Пенза, 440028, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Древесина, несмотря на широкое применение, обладает сравнительно невысокой прочностью, что обуславливает необходимость разработки методов улучшения ее свойств. В статье рассмотрены основные способы модификации: термообработка и пропитка полимерными составами. Термообработка повышает устойчивость к гниению и снижает влагопоглощение. Пропитка обеспечивает защиту от биологических воздействий, практически нулевое влагопоглощение и повышенную износостойкость.

Цель. Сравнение физико-механических и прочностных свойств обычной, термообработанной и пропитанной полимерным составом древесины сосны.

Материалы и методы. Выполнены натурные испытания деревянных образцов из сосны второго сорта на сжатие вдоль волокон с фиксацией вертикальных напряжений сжатия и деформаций. Испытания выполнены на гидравлическом прессе с максимальной нагрузкой 50 т. Для фиксации деформаций и напряжений использовалось тензометрическое оборудование.

Результаты. В ходе проведения натурных испытаний были определены физико-механические характеристики обычной, термообработанной, пропитанной полимерным составом, термообработанной и пропитанной полимерным составом древесины. Определен предел прочности исследуемых образцов и построены графики относительных деформаций, показывающие изменение пределов прочности древесины для упругой стадии работы материала. Согласно результатам натурных испытаний, упругая стадия работы древесины при сжатии доходит до 120 кН.

Выводы. На основании натурных испытаний установлено, что термообработка и пропитка древесины полимерными составами приводят к снижению деформативности, увеличению хрупкости и колкости материала (о чем свидетельствует характер разрушения образцов), уменьшению прочности и модуля упругости материала на 5–10 %. Однако модификация древесины обеспечивает повышенную защиту от биологических воздействий и влаги, увеличивая срок службы конструкции.

Ключевые слова: анизотропные материалы, термообработка древесины, стабилизация древесины, полимерный состав, деформативность, моделирование, программный комплекс ANSYS

Для цитирования: Колесников Н.В., Арискин М.В., Мартышкин Д.О. Влияние термообработки и пропитки полимерным составом на прочностные и деформативные свойства древесины. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2025;45(2):135–144. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-135-144](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-135-144)

Вклад авторов

Колесников Н.В. – сбор и анализ результатов натурных испытаний, выполнение расчетов, написание текста научной работы.

Арискин М.В. – постановка задач научной работы, анализ результатов научной работы.

Мартышкин Д.О. – выполнение натурных испытаний и анализ полученных данных.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 13.01.2025

Поступила после рецензирования 01.03.2025

Принята к публикации 06.03.2025

INFLUENCE OF THERMAL TREATMENT AND POLYMER IMPREGNATION ON THE STRENGTH AND DEFORMATION PROPERTIES OF WOOD

N.V. KOLESNIKOV✉

M.V. ARISKIN, Cand. Sci. (Engineering)

D.O. MARTYSHKIN

Penza State University of Architecture and Construction, German Titov str., 28, Penza, 440028, Russian Federation

Abstract

Introduction. Despite its widespread use, wood is relatively weak. This has led to the development of methods to enhance its properties. This article examines two primary methods of modification: thermal treatment and impregnation with polymer compounds. Thermal treatment increases resistance to decay and reduces water absorption. Impregnation provides protection against biological agents, enhances wear resistance, and achieves nearly zero water absorption.

Aim. This paper aims to compare the physical, mechanical, and strength properties of untreated, thermally treated, and polymer-impregnated pine wood.

Materials and methods. Natural compression tests were conducted on second-grade pine wood specimens along the fiber direction. Vertical compressive stresses and deformations were recorded. The tests were performed using a hydraulic press with a maximum load capacity of 50 tons. Strain and stress measurements were taken using a strain gauge.

Results. During the in-place tests, the physical-mechanical properties of untreated, thermally treated, polymer-impregnated, and both thermally treated and polymer-impregnated wood were determined. The ultimate strength of the samples was identified and graphs of relative deformations were constructed to show changes in wood strength limits during the elastic stage of material behavior. According to the in-place test results, the elastic stage of wood compression extends up to 120 kN.

Conclusions. In-place tests revealed that thermal treatment and polymer impregnation of wood results in reduced deformability and increased brittleness and friability of the material, as evidenced by the nature of sample failure. Additionally, there is a 5–10 % decrease in material strength and elastic modulus. However, wood modification enhances protection against biological agents and moisture, thereby extending the service life of the structure.

Keywords: anisotropic materials, wood thermal treatment, wood stabilization, polymer composition, deformability, modeling, ANSYS software complex

For citation: Kolesnikov N.V., Ariskin M.V., Martyshkin D.O. Influence of thermal treatment and polymer impregnation on the strength and deformation properties of wood. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2025;45(2):135–144. [In Russian]. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-135-144](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-135-144)

Authors contribution statement

Kolesnikov N.V. – collection and analysis of in-place test results, calculations, and drafting of the scientific manuscript.

Ariskin M.V. – formulation of research objectives and analysis of research results.

Martyshkin D.O. – conducting in-place tests and analyzing the obtained data.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 13.01.2025

Revised 01.03.2025

Accepted 06.03.2025

Введение

Древесина как материал известна человечеству с давних времен. Ее использовали для создания орудий труда, мебели и строительства. Натуральная древесина является конструкционным материалом сравнительно невысокой прочности, потому актуальна разработка новых способов повышения прочностных и деформативных свойств древесины для расширения областей ее применения.

Одним из вариантов модификации является термообработка. Этот процесс заключается в нагреве древесины до определенной температуры, что приводит к изменению ее структуры и свойств. Так, термообработанная древесина становится более устойчивой к гниению, не подвержена воздействию вредителей, значительно уменьшается ее способность к влагопоглощению, при этом древесина сохраняет свою естественную текстуру и красоту.

Еще один способ модификации – пропитка древесины жидкими термоотверждающими полимерными составами (стабилизация древесины). В результате древесина становится полностью не подвержена биологическим воздействиям, имеет околонулевой процент влагопоглощения (это особенно важно для древесины, которая находится в условиях повышенной влажности), а также повышается ее износостойкость (актуально для отделочных материалов, орудий труда, мебели).

Далее на основе натуральных образцов термообработанной и пропитанной древесины необходимо рассмотреть изменение прочностных и деформативных свойств, а также напряженно-деформированное состояние (НДС) на основе результатов расчета образцов в программном комплексе ANSYS.

Экспериментальная часть

Для определения прочностных и деформативных характеристик были проведены натурные испытания образцов. Для этого были изготовлены деревянные бруски с размерами $50 \times 50 \times 200$ (h) мм из сосны второго сорта.

Процесс термообработки древесины производится в специальной вакуумно-сушильной камере, в которой материал плавно нагревается в течение нескольких часов до температуры

170–190 °С (в безвоздушной среде) и находится в таком состоянии в течение 5–6 часов, в зависимости от сорта и твердости древесины, что приводит к изменению свойств древесины. Древесина приобретает темный оттенок, сравнимый с коричневым или шоколадным цветом, который усиливает естественные узоры и текстуру дерева (рис. 1).

Пропитка жидкими термоотверждающими полимерами (состав фирмы 100TERM) для стабилизации древесины аналогично термообработке производится при помощи вакуумирования в специальной камере в течение нескольких часов (рис. 2а). При отсутствии вакуумной камеры древесину можно оставить погруженной в состав в течение нескольких недель. Полимеры проникают в поры древесины, а затем запекаются в печи при температуре 100–120 °С, в зависимости от применяемого полимера (рис. 2б). Полимер также подчеркивает узор и текстуру дерева, для большей контрастности в полимер можно добавлять различные красители.

Далее выполнено определение фактического модуля упругости модифицированной древесины (термообработанной, стабилизированной полимером, термообработанной и стабилизированной полимером) на основе испытаний на 4-точечный изгиб брусков размерами 30 × 30 × 200 мм в соответствии с ГОСТ 16483.9-73 [1]. Согласно результатам испытаний установлено увеличение деформативности стабилизированного образца на 5–10 %, что говорит о снижении несущей способности. Изменение значения модуля упругости обычной древесины и термообработанной составляет ±5 %.



Рис. 1. Общий вид образцов: а – брусок 50 × 50 × 200 мм из термообработанной сосны; б – брусок 50 × 50 × 200 мм из стабилизированной сосны; в – брусок 50 × 50 × 200 мм из термообработанной и стабилизированной сосны
Fig. 1. General view of the specimens: а – 50 × 50 × 200 mm block of thermally treated pine; б – 50 × 50 × 200 mm block of stabilized pine; в – 50 × 50 × 200 mm block of thermally treated and stabilized pine



а (a)



б (b)

Рис. 2. Оборудование для стабилизации: а – вакуумный шкаф; б – сушильный шкаф

Fig. 2. Equipment for stabilization: a – vacuum chamber; b – drying oven

Проведенные испытания образцов показали значения определяемых характеристик, близкие к значениям, приведенным в СП 64.13330.2017 [2]. На этом основании при моделировании и расчете принимались табличные значения расчетных характеристик древесины сосны второго сорта.

Далее были выполнены испытания образцов, которые производились на гидравлическом прессе П-500 (рис. 3а). Нагружение образцов производилось непрерывно со скоростью 5 кН/мин. Для равномерного распределения нагрузки на торец образца устанавливалась дополнительная оснастка (рис. 3а). Для определения нормальных напряжений сжатия на поверхность образцов наклеены тензорезисторы, подключенные к комплексу для тензометрии (рис. 3а). Испытания проводились до полного разрушения образцов (рис. 3б, в). Методика проведения испытаний аналогична [3].

Графики относительных деформаций сжатия образцов представлены на рис. 4, согласно которому упругая стадия работы термообработанных материалов доходит до 115 кН. Внешний вид графиков говорит о хрупкости полученного материала, что подтверждается характером разрушения образцов (рис. 3в).

Согласно результатам натурных испытаний, образцы были замоделированы в программном комплексе (ПК) ANSYS. Методика моделирования образцов, а также возможность применения ПК ANSYS описаны в [3]. Объемная конечно-элементная модель образца и схема приложения нагрузки показаны на рис. 5.

Далее представлены результаты расчета в ПК ANSYS: перемещения и напряжения сжатия (рис. 6).

На основе результатов натурных испытаний и компьютерного моделирования образцов построены графики распределения вертикальных напряжений сжатия σ_y (рис. 7). Как отмечено ранее, специфика оборудования предполагает нагружение образца до величины 5 кН, что отображено на рис. 7.



Рис. 3. Испытание деревянных образцов на сжатие: *а* – образец в прессе П-500; *б* – общий вид разрушения термообработанного образца; *в* – общий вид разрушения термообработанного и стабилизированного образца
Fig. 3. Compression testing of wooden specimens: *a* – specimen in the P-500 press; *b* – general view of the failure of a thermally treated specimen; *c* – general view of the failure of a thermally treated and stabilized specimen

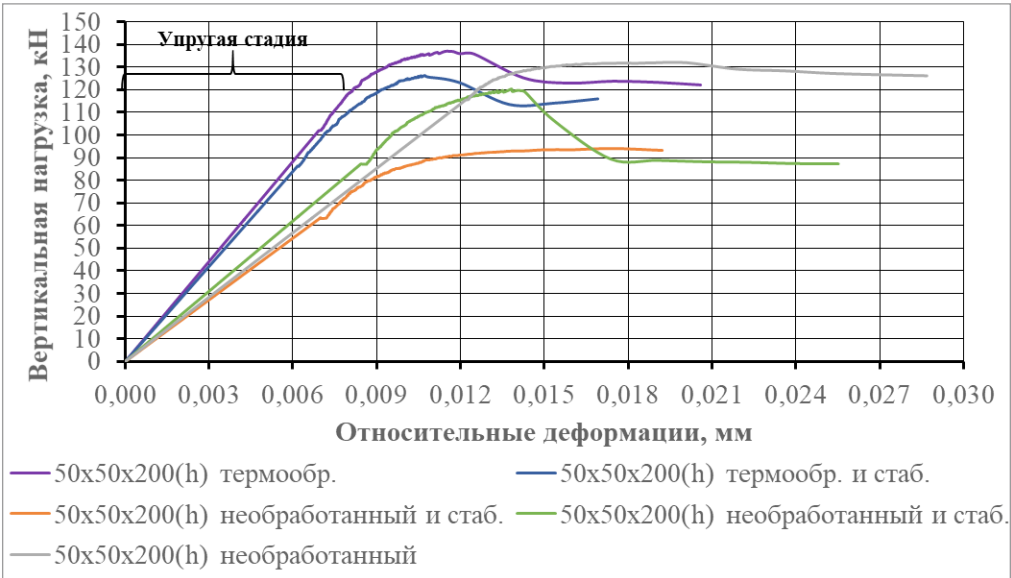
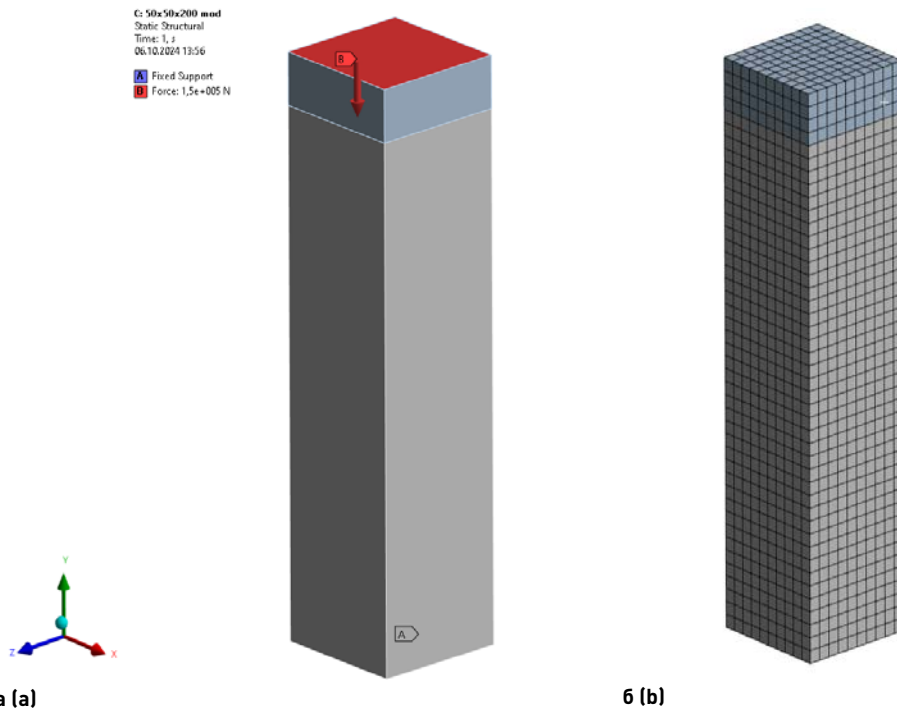


Рис. 4. Относительные деформации образцов
Fig. 4. Relative deformation of the specimens

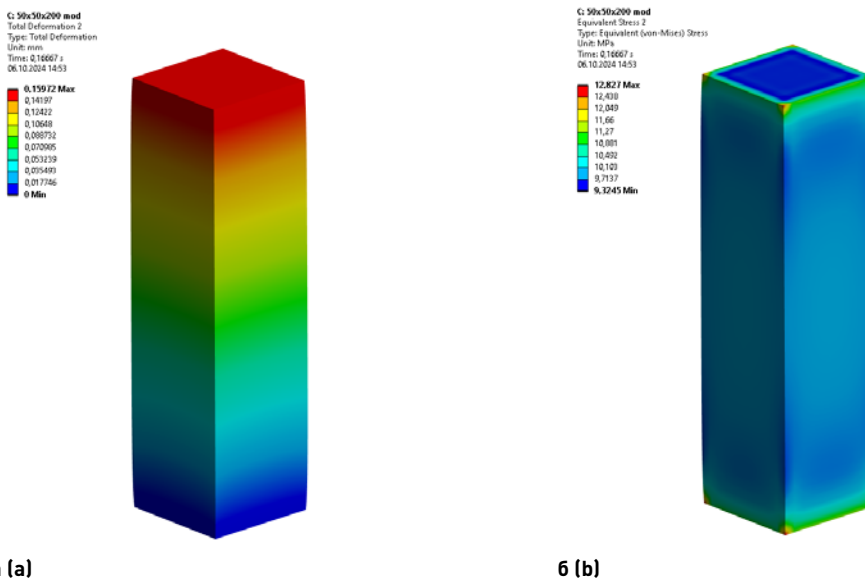


a (a)

b (b)

Рис. 5. Объемная конечно-элементная модель образца в ПК ANSYS: *а* – общий вид, схема нагружения; *б* – сетка элементов

Fig. 5. Three-dimensional finite element model of the specimen in ANSYS software: *a* – general view, loading scheme; *b* – element mesh



a (a)

b (b)

Рис. 6. *а* – Вертикальные напряжения сжатия при нагрузке 25 кН в ПК ANSYS; *б* – вертикальные перемещения при нагрузке 25 кН в ПК ANSYS

Fig. 6. *a* – Vertical compressive stresses at a load of 25 kN in ANSYS software; *b* – vertical displacements at a load of 25 kN in ANSYS software

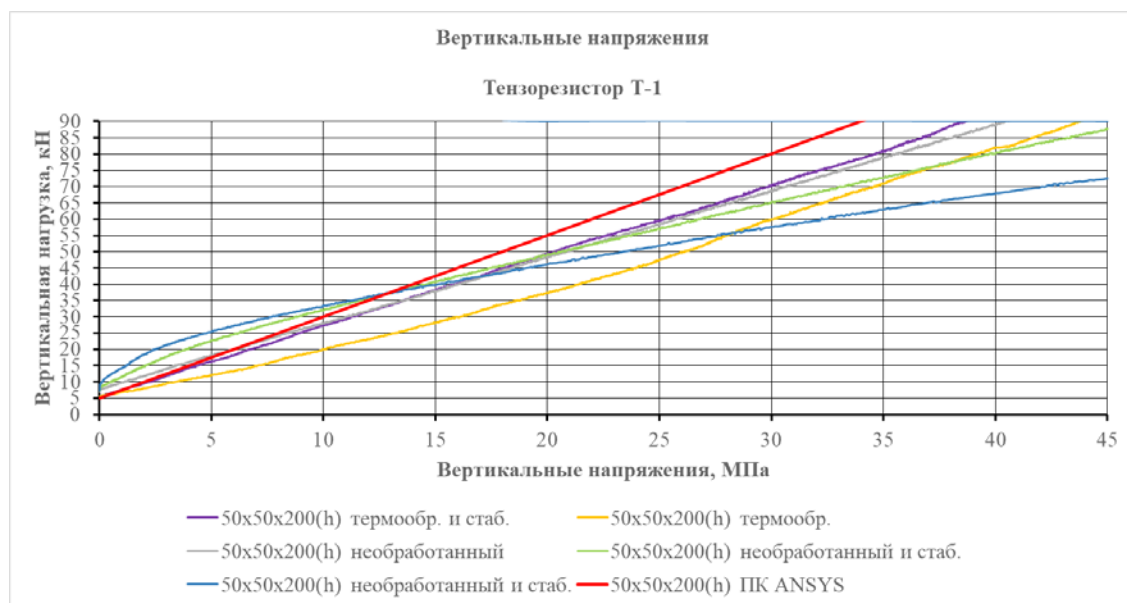


Рис. 7. Графики распределения вертикальных напряжений сжатия σ_y образцов
Fig. 7. Distribution of vertical compressive stresses σ_y in the specimens

Согласно рис. 7, установлена сходимость результатов натурных испытаний и компьютерного моделирования для упругой стадии работы материала (до 120 кН), что подтверждает правильность создания объемной конечно-элементной модели образцов.

Заключение

Модифицированная древесина обладает рядом преимуществ по сравнению с обычной: она не подвержена биологическим воздействиям, защищена от насекомых и практически полностью не впитывает воду (стабилизированная древесина). Однако обработка древесины, включающая воздействие высокой температуры и пропитку различными составами, снижает ее деформативность и прочность, делая более хрупкой и колкой (о чем свидетельствует характер разрушения образцов). Кроме того, такая обработка приводит к снижению модуля упругости материала на 5–10%.

Важно отметить, что степень пропитки образцов полимерным составом составляла около 25–40%. Соответственно, увеличение степени пропитки приведет к еще большему снижению прочностных и деформативных свойств.

Таким образом, современные методы обработки позволяют значительно улучшить свойства древесины и расширить область ее применения. Именно поэтому прочностные и деформативные свойства древесины, подверженной термообработке и пропитке полимерным составом, становятся предметом все большего внимания исследователей.

Список литературы

1. ГОСТ 16483.9-73. Древесина. Методы определения модуля упругости при статическом изгибе. Москва: ИПК Издательство стандартов; 1999.
2. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 [интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456082589>.
3. Колесников Н.В., Арискин М.В., Мартышкин Д.О., Меркушов А.В. Совершенствование расчетов соединений анизотропных конструкционных материалов. Вестник НИЦ «Строительство». 2024;41(2):69–78. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2\(41\)-69-78](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2(41)-69-78).
4. Данилов В.М., Ерофеев А.В., Горохов Т.И. Возможности программного комплекса ANSYS для решения научно-практических задач в строительстве. В: Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы (Поиск 2021). Сб. материалов Национальной (с международным участием) молодежной науч.-техн. конф. Иваново: ИВГПУ; 2021, с. 182–185.
5. Мартыненко Т.М., Пронкевич С.А., Мартыненко И.М., Максимович В.А. Анализ прочности узловых соединений при различных исполнениях конструкции на основе моделирования в среде ANSYS. В: Механика исследования и инновации. Междунар. сб. науч. ст. Гомель; 2022, Вып. 15, с. 147–151.
6. Козлов Д.В., Муйземнек А.Ю., Гуськов М.С. Варианты упрощения модели расчета композиционного материала в программном комплексе ANSYS. В: Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы. Сб. ст. по материалам VIII Всероссийской межвузовской науч.-практ. конф. Пенза: ПГУ; 2021, с. 362–363.
7. Шемякин Е.И., Тутурин С.В., Короткина М.Р. Разрушение древесины при сжатии. Вестник МГУЛ – Лесной Вестник. 2005;(3):56–70.
8. Морозов Е.М., Муйземнек А.Ю., Шадский А.С. ANSYS в руках инженера: Механика разрушения. 2-е изд. Москва: ЛЕНАНД; 2010.
9. Разумов А.Е., Хузеев М.В., Ахметова Д.А., Шайхутдинова А.Р. Экспериментальные исследования механических свойств термомодифицированной древесины. Вестник Казанского технологического университета. 2012;15(2):31–33.
10. Рязанов Д.В. Современные технологии модифицирования древесины. Вестник науки [интернет]. 2022;3(2). Режим доступа: <https://www.xn----8sbempclcw3bmt.xn--p1ai/article/5326>.

References

1. State Standard 16483.9-73. Wood. Methods for determination of modulus of elasticity in static bending. Moscow: IPC Publishing House of Standards; 1999. (In Russian).
2. SP 64.13330.2017. Timber structures. Updated version of SNiP II-25-80 [internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/456082589> (In Russian).
3. Kolesnikov N.V., Ariskin M.V., Martyshkin D.O., Merkushev A.V. Improved calculations of joints in anisotropic structural materials. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2024;41(2):69–78. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2\(41\)-69-78](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2(41)-69-78).
4. Danilov V.M., Erofeev A.V., Gorokhov T.I. Possibilities of the ANSYS software complex for solving scientific and practical problems in construction. In: Young scientists – development of the national technological initiative (Search 2021). Collection of materials of the National (with international participation) Youth Scientific and Technical Conference. Ivanovo: Ivanovo State Polytechnic University (ISPU); 2021, pp. 182–185. (In Russian).
5. Martynenko T.M., Pronkevich S.A., Martynenko I.M., Maksimovich V.A. Analysis of the strength of nodal joints in various design designs based on modeling in the ANSYS environment. In: Mechanics of research and innovation. International collection of scientific articles. Issue 15. Gomel; 2022, pp. 147–151. (In Russian).
6. Kozlov D.V., Muizemnek A.Yu., Guskov M.S. Options for simplifying the calculation model of composite material in the ANSYS software package. In: Information technologies in science and education. Problems and prospects. Collection of articles based on the materials of the VIII All-Russian Interuniversity Scientific and Practical Conference. Penza: PSU; 2021, pp. 362–363. (In Russian).
7. Shemyakin E.I., Tuturin S.V., Korotkina M.R. Destruction of wood during compression. Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik. 2005;(3):56–70. (In Russian).

8. *Morozov E.M., Muyzemnek A.Yu., Shadsky A.S.* ANSYS in the hands: The mechanics of destruction. 2nd ed. Moscow: LENAND; 2010. [In Russian].
9. *Razumov A.E., Khuzeev M.V., Akhmetova D.A., Shaikhutdinova A.R.* Experimental studies of the mechanical properties of thermally modified wood. Bulletin of the Kazan Technological University. 2012;15(2):31–33. [In Russian].
10. *Ryazanov D.V.* Modern technologies of wood modification. Science Bulletin [internet]. 2022;3(2). Available at: <https://www.xn----8sbempclcwd3bmt.xn--p1ai/article/5326>. [In Russian].

Информация об авторах / Information about the authors

Никита Викторович Колесников✉, аспирант кафедры строительных конструкций, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза
e-mail: ko1esnikov.1998@list.ru

Nikita V. Kolesnikov✉, Graduate Student, Department of Building Structures, Penza State University of Architecture and Construction, Penza
e-mail: ko1esnikov.1998@list.ru

Максим Васильевич Арискин, канд. техн. наук, доцент кафедры строительных конструкций, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза
e-mail: m.v.ariskin@mail.ru

Maxim V. Ariskin, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Department of Building Structures, Penza State University of Architecture and Construction, Penza
e-mail: m.v.ariskin@mail.ru

Даниил Олегович Мартышкин, ассистент кафедры строительных конструкций, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза
e-mail: historical95@mail.ru

Daniil O. Martyshkin, Assistant, Department of Building Structures, Penza State University of Architecture and Construction, Penza
e-mail: historical95@mail.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-145-153](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-145-153)
УДК 69.003.12

EDN: BAKKFQ

АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ФОРМИРОВАНИЯ СМЕТНЫХ ДОКУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ BIM-МОДЕЛЕЙ

Д.С. БОЙКО✉

Н.С. АСТАФЬЕВА, канд. эконом. наук

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, д. 29Б,
г. Санкт-Петербург, 195251, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Современное строительство стремительно переходит от традиционного CAD-проектирования к BIM-проектированию, позволяющему детализировать модели до реальной точности с указанием не только геометрии объекта, но и материалов и их характеристик. Проекты сооружений, созданные с помощью BIM-технологий, позволяют автоматизировать сметные расчеты, значительно повышая точность и сокращая временные затраты. Однако сметные специалисты пока не полностью интегрированы в BIM-процессы.

Цель. Формирование вывода о целесообразности применения программного обеспечения для автоматизированного формирования сметных документов из BIM-моделей, выявление положительных и негативных аспектов его применения в работе строительной организации.

Материалы и методы. Проведен анализ рынка программного обеспечения, позволяющего автоматизировано формировать сметы на основе цифровых моделей. Выбранные программы протестированы, также изучены тематические статьи других авторов.

Результаты. Рассмотрены программные комплексы «BIM-смета ABC», «5D-смета», «BIM WIZARD», «Larix». «BIM-смета ABC» оказалась достаточно проста в использовании, но работа происходит напрямую в модели, что может приводить к случайному нарушению ее целостности. «5D-смета» и «BIM WIZARD» позволяют разделять рабочие окна проектировщика и сметчика – сметчик не работает напрямую в модели, при этом в «BIM WIZARD» также есть возможность 3D-визуализации для сметчика. «Larix» позволяет производить расчеты автоматически, по заранее настроенным логическим цепочкам, что делает процесс наладки приложения под нужды компании более трудоемким.

Выводы. Автоматизация сметных расчетов при BIM-моделировании может принести наибольшую выгоду в компании, где строго соблюдаются внутренние регламенты проектирования – EIR или BEP. В таком случае процесс создания сметы может сократиться до нескольких минут. В случае компаний, у которых нет такой системы проектирования, внедрение может занять большое количество времени и сил.

Ключевые слова: BIM-моделирование, BIM-проектирование, информационное моделирование, сметная документация, сметные расчеты, автоматизация сметных расчетов, оптимизация строительства, программное обеспечение, BIM-программы, сметные программы

Для цитирования: Бойко Д.С., Астафьева Н.С. Анализ программного обеспечения для автоматизированного формирования сметных документов на основе BIM-моделей. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2025;45(2):145–153. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-145-153](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-145-153)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 13.02.2025

Поступила после рецензирования 27.05.2025

Принята к публикации 29.05.2025

ANALYSIS OF SOFTWARE FOR AUTOMATED FORMATION OF COST ESTIMATE DOCUMENTS BASED ON BIM MODELS

D.S. BOYKO✉

N.S. ASTAFIEVA, Cand. Sci. (Economic)

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Polytechnicheskaya str., 29B, Akademicheskyy Municipal District, St. Petersburg, 195251, Russian Federation

Abstract

Introduction. The construction industry is rapidly transitioning from traditional computer-aided design (CAD) to building information modeling (BIM), which allows for detailed modeling with real accuracy. BIM specifies not only the geometry of an object, but also its materials and characteristics. Construction projects created using BIM technologies can automate cost estimates, significantly improving accuracy and reducing time expenditures. However, cost estimation specialists have not yet been fully integrated into BIM processes.

Aim. The article aims to determine the feasibility of using software to automatically generate cost estimation documents from BIM models and identify the pros and cons of using it in the operations of a construction organization.

Materials and methods. An analysis was conducted of the software market offering automated cost estimation based on digital models. Selected programs were tested, and relevant publications by other researchers were examined.

Results. The software packages BIM-smeta ABC, 5D-smeta, BIM WIZARD, and Larix were evaluated. BIM-smeta ABC is user-friendly, but it operates directly within the model, which may compromise its integrity. 5D-smeta and BIM WIZARD allow designers and cost estimators to work in separate spaces, preventing estimators from directly manipulating the model. Additionally, BIM WIZARD offers 3D visualization capabilities for cost estimators. Larix enables automated calculations based on predefined logical sequences, which makes the initial setup process more labor-intensive for company-specific needs.

Conclusions. Automating cost estimation in BIM modeling provides the greatest benefits to companies that strictly adhere to internal design standards, especially the Employer's Information Requirements (EIR) and the BIM Execution Plan (BEP). In such organizations, the estimation process can be reduced to just minutes. Conversely, companies lacking such standardized design systems may require significant time and resource investment for implementation.

Keywords: BIM modeling, BIM design, information modeling, cost estimation documentation, cost calculations, automated cost calculations, construction optimization, software, BIM software, cost estimation software

For citation: Boyko D.S., Astafieva N.S. Analysis of software for automated formation of cost estimate documents based on BIM models. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2025;45(2):145–153. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-145-153](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-145-153)

Authors contribution statement

All authors made equal contributions to the study and the publication.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 13.02.2025

Revised 27.05.2025

Accepted 29.05.2025

Введение

В наше время цифровизация стала неотъемлемой частью прогресса мирового сообщества. Любая отрасль, в том числе и строительная, претерпевает стремительные изменения в сторону упрощения и автоматизации труда работников, задействованных в создании финального продукта. Сфера прошла путь от CAD-проектирования, которое позволяло составлять проекты, чертежи и информация в которых не была напрямую связана между собой, до BIM-проектирования, в котором устанавливается не только взаимосвязь между отдельными элементами, но и появляется возможность полноценно моделировать проектируемое здание с учетом всех используемых материалов и их свойств. В ходе BIM-моделирования составляется единая база данных, которая позволяет перевести понимание о разрабатываемом объекте на новый уровень – уровень цифровой модели, тогда как продукт CAD-моделирования лишь условно отображает информацию об объекте.

В конечной информационной модели заключены все свойства и параметры будущего здания, а именно физические и функциональные свойства используемых материалов, внешние нагрузки, влияющие на здание, и другие характеристики, позволяющие приблизить положение модели к реальным условиям. В модели учитываются все корреляции и взаимосвязи, которые оказывают влияние на конечное состояние сооружения. Также BIM с точки зрения именно подхода к проектированию – это интеллектуальный интегрированный процесс создания 3D-моделей, фундаментом которого служит точная информация об объекте строительства, в ходе которого разрабатывается и собирается воедино скоординированная проектная информация и документация, в том числе и сметная документация [1].

2D-проектирование позволяет производить формирование стоимости строительства спроектированных конструкций только вручную, что неизбежно ведет к уменьшению степени точности подсчетов и к дальнейшим неувязкам в принятой на основании бюджета финансовой модели организации. В случае, когда речь идет о небольшой компании, занимающейся ограниченным спектром строительных работ, такие ошибки могут не понести за собой существенных потерь. Однако, когда просчеты касаются бюджета строительства многоэтажного здания, комплекса зданий или целого списка проектов крупной строительной компании, они могут привести к колоссальным издержкам.

Большую роль в ручном расчете стоимости строительства здания играет человеческий фактор – невнимательность инженера-сметчика и длительность проведения работ по оценке стоимости на разных стадиях проектирования и строительства приводят к непреднамеренной потере данных и неточности информации об объемах строительства. В случае крупных

объектов, когда помимо формирования бюджета на начало строительства в ходе возведения здания приходится обновлять стоимость согласно вносимым изменениям в проектную документацию, ошибки и высокая длительность пересчета недопустимы. До сих пор включение сметных специалистов в работу с BIM-моделями не происходит в полной мере [2–5].

С приходом качественного BIM-моделирования появилась возможность снизить количество проектных коллизий до минимума, что максимально уточняет объемы каждого отдельного элемента здания в проекте. В случае, если информация об объемах приходит напрямую из BIM-модели, сметный расчет самым полным образом отражает реальную стоимость возведения здания. Опыт внедрения автоматизации сметных расчетов крупнейшего девелопера Российской Федерации (ГК «Самолет») позволил добиться увеличения точности сметных расчетов и ускорил работу инженеров-сметчиков на 70 % [6].

Основной раздел

На российском рынке появилось множество программных систем, позволяющих автоматизировано формировать сметы на основе цифровых моделей. Рассмотрим несколько программных комплексов.

«BIM-смета ABC» от компании ABC-H предлагает сметчику работу непосредственно внутри BIM-программ, в список которых входят Autodesk Revit, Nemetschek Allplan, Graphisoft ArchiCAD, Renga Software. В состав программного комплекса входят:

- плагин для BIM-систем, с помощью инструментов которого элементам модели назначаются сметные свойства;
- база знаний, представляющая собой сметно-нормативную базу, элементы которой назначаются элементам модели;
- «ABC-транслятор», внутри окна которого происходит настройка назначений элементам модели.

База знаний может быть сформирована по утвержденным российским сметным нормативам (ГЭСН, ФЕР, ТСН, НЦКР), нормативам стран СНГ и нормативам, установленным внутри компании, выполняющей формирование смет. При этом одному и тому же элементу модели может быть назначен целый список работ и материалов без ограничений. После назначения всех необходимых норм полученный проект экспортируется в формат XML для дальнейшей работы в сметных системах. Информация о назначенных сметных нормах сохраняется в том числе непосредственно в информационной модели здания в отдельном специально созданном параметре элемента.

Плюсами работы с данной программой являются относительная простота использования для инженера-сметчика и легкость интеграции в программное обеспечение. Для использования программы «BIM-смета ABC» инженеру требуется наличие минимальных навыков работы с BIM-системой, которые заключаются лишь в выборе элемента модели и назначении ему работы и материала из структуры сметы. К самой модели не предъявляется никаких дополнительных требований, поскольку все назначения производятся вручную. Также существует возможность визуальной проверки модели на верность назначенных ей сметных нормативов путем использования фильтров, имеющихся в функционале плагина для BIM-системы.

Минусом данного программного обеспечения является работа непосредственно в BIM-системах. Во-первых, для их использования необходима компьютерная техника с высокими

техническими характеристиками, для обеспечения всех инженеров-сметчиков такими электронно-вычислительными машинами (ЭВМ) потребуются дополнительные финансовые вложения. Во-вторых, работа сметчика напрямую в модели может понести за собой изменение самой модели (случайное удаление элементов, изменение основных параметров и прочее), что является недопустимым [7].

Программа «5D-смета» компании НПФ «Гектор» предназначена для применения совместно с такими BIM-системами, как nanoCAD, Renga, Model Studio CS, Autodesk Revit, Autodesk Navisworks. Программа состоит из двух надстроек – надстройки «Сметная информация» для работы проектировщика и модуля «Привязка сметных норм» для работы инженера-сметчика.

Надстройка «Сметная информация» является настраиваемым плагином для BIM-системы, с помощью которого инженер-проектировщик экспортирует модель целого здания или отдельных его элементов для дальнейшего составления сметы. Далее работа с моделью происходит в отдельном приложении, где уже инженер-сметчик назначает сметные нормы элементам модели. Интерфейс модуля «Привязка сметных норм» позволяет осуществлять интеллектуальный поиск сметных норм по названиям и физическим параметрам, корректировать формулы расчета объемов работ, создавать пользовательские наборы норм для типовых элементов и проектов в целом.

Среди плюсов применения данной программы можно отметить четкое разделение работы между проектировщиком и сметчиком, где сметчик не имеет прямого доступа к модели здания и не имеет необходимости дополнительно обучаться работе с BIM-системой. Интерфейс окна работы инженера-сметчика удобен и понятен, поскольку все элементы модели и их параметры выгружаются списком. Модель также не нуждается в назначении дополнительных параметров, определяющих принадлежность элементов к сметному нормативу.

К минусам можно отнести невозможность визуальной проверки модели на назначение сметных норм инженером-сметчиком. Такая функция доступна в надстройке «Сметная информация» внутри BIM-системы, доступ к которой имеет только проектировщик [8, 9].

Программное обеспечение «BIM WIZARD» от компании «ВИЗАРДСОФТ» позволяет работать с программами Renga, nanoCAD, ModelStudioCS, CADLib, Autodesk Revit, Navisworks, Archicad, Tekla, Solibri. Устройство рабочего места схоже с устройством программы «5D-смета» – инженер-сметчик также имеет свое рабочее место вне BIM-системы, а информация о проекте из BIM-модели экспортируется инженером-проектировщиком.

Плагин внутри BIM-системы дает проектировщику возможность выбрать необходимые для расчета элементы здания и все здание целиком, экспортируя их для дальнейшей работы сметного отдела. Также можно выбрать расценку для привязки к элементу прямо внутри системы, что будет учтено в информационной модели как дополнительное свойство элемента.

Сметчик в своем окне имеет список всех элементов модели, выбранную сметно-нормативную базу и 3D-модель проекта. В качестве нормативной базы так же, как и в прочих рассмотренных приложениях, может использоваться любая база – от государственной до коммерческой, принятой в конкретной организации.

«BIM WIZARD» можно охарактеризовать теми же плюсами и минусами, что и программу «5D-смета», за исключением одного момента – сметчик в своем рабочем окне видит 3D-модель и может производить дополнительную визуальную проверку назначений сметных норм элементам. Это значительно снижает вероятность допущения ошибок инженером [10].

Программное обеспечение «Larix» от компании «Айбим» предоставляет работу с такими системами BIM-моделирования, как Autodesk Revit, Autodesk Navisworks, Renga и Bentley, в специализированном для программы формате IMC, также существует возможность загружать табличные данные формата XLSX. «Larix» – многомодульная система, в которую входят:

- Larix.Manager – программа для проверки BIM-модели на коллизии и несоответствия (аналог Autodesk Navisworks). Здесь инженер-сметчик может предварительно проверять элементы модели на полноту и верность присвоенных ей параметров в BIM-системе.

- Larix.EST, в состав которого входят модули Larix.Designer и Larix.Analyzer. Larix.Designer предназначен для формирования логических цепочек отнесения элементов модели к элементам сметно-нормативной базы и создания решений для конкретных IMC-моделей на их основе, а Larix.Analyzer – для последующей проверки произведенных решений и формирования отчетов.

- Larix.CDB – система для ведения сметно-нормативной базы. Аналогично вышеуказанным приложениям имеет возможность как формировать собственную базу, так и использовать государственные.

Формирование сметных отчетов происходит следующим образом. Проектировщик либо BIM-координатор экспортирует информационную модель здания из системы BIM-проектирования в формат IMC. BIM-координатор импортирует полученные файлы в Larix.Manager и производит проверку модели на коллизии и верность параметров. В случае, если проверка выявит ошибки, BIM-координатор имеет возможность изменить параметры прямо внутри модуля Larix.Manager и выгрузить лист изменений для его дальнейшего импорта в BIM-систему.

После проверки координатор сохраняет полученный проект внутри системы Larix и передает ее инженеру-сметчику. Сметчик на основании параметров элементов модели формирует логические цепочки, которые соотносят отфильтрованные элементы модели с элементами сметно-нормативной базы. Сметно-нормативная база предварительно формируется сметчиком в модуле Larix.CDB. Здесь же назначаются соответствия ресурсов и работ, а также нормы расходов ресурсов. После формирования логических цепочек сметчик запускает формирование решения и после его получения проверяет полученный отчет в Larix.Analyzer. Здесь, помимо табличного представления решения, также представляется и 3D-модель здания.

Таким образом, можно выделить несколько плюсов использования программного обеспечения Larix, прежде всего – наличие модуля для проверки модели на ошибки. Существует возможность визуальной проверки готового решения. При наличии полноценного EIR (Employer's Information Requirements – Информационные требования заказчика) или BEP (BIM Execution Plan – План выполнения BIM-модели) настроенные логические цепочки являются универсальными и впоследствии будут использоваться для расчета стоимости любого из проектов компании.

Из последнего факта следует минус – данную программу нецелесообразно использовать в компании, которая не имеет четких требований EIR и BEP, поскольку трудоемкий процесс создания цепочек в таком случае бесполезен. В отличие от других указанных в статье программ, выбор элементов производится не вручную, а с помощью алгоритма внутри цепочек, что требует больше времени для наладки самих цепочек [11].

Каждая из вышеуказанных программ позволяет производить дальнейшие работы с полученными данными в других сметных программах (например, «ГРАНД-Смета»), а также формировать исходные данные для работы в программах календарно-сетового планирования

строительства, таких как Synchro Pro, Plan-R или Microsoft Project. В конечном итоге организация при использовании всего перечня программ получает 5D-модель, включающую в себя информацию о требуемых материалах, технике и прочих ресурсах, геометрии здания, стоимости его возведения и времени, которое потребуется на строительство, с четким графиком выдачи рабочей документации, поставки оборудования и материалов, выполнения строительно-монтажных и пуско-наладочных работ [12].

Заключение

Анализ программного обеспечения, позволяющего автоматизировано формировать сметную документацию на базе BIM-модели, позволяет сделать следующие выводы.

1. Прежде всего, такой подход позволяет увеличить точность и скорость сметного расчета, что, помимо ускорения процесса строительства и уменьшения перерасхода средств на ошибочно определенные объемы, позволяет повысить имидж строительной компании перед организациями-подрядчиками, в ходе работы с которыми не будет возникать проблем с определением фактических объемов работ и материалов.

2. В случае внесения изменений в проектную документацию либо принятия решений об экономической целесообразности применения той или иной технологии данный метод также является выигрышным, поскольку сметный расчет будет заключаться лишь в выгрузке данных из модели и помещении их в сметную программу и будет составлять всего несколько минут. Такой подход позволит существенно сократить время на процесс оценки стоимости.

3. Компания с четкими требованиями к проектам при использовании автоматизированного формирования смет будет иметь возможность выгружать информацию из BIM-модели и на выходе из сметной BIM-программы сразу получать полную информацию об объемах и стоимостях без сопутствующих дополнений модели. В таком случае работа инженеров-сметчиков может быть упразднена вовсе, а процесс расчета стоимости строительства перейдет в зону ответственности проектировщиков, сотрудников производственно-технического отдела либо BIM-координаторов. Подобное повышение производительности труда может существенно снизить затраты организации.

4. Автоматизация процесса создания смет требует повышенного внимания к качеству и полноте BIM-модели, поскольку подобное программное обеспечение позволяет автоматизировать подсчет объемов и стоимостей только для тех элементов, которые содержат определенный перечень параметров или относятся к одному типоразмеру. В этом случае в работе проектировщиков должна присутствовать определенная степень типизации проектов и существовать конкретно обозначенные требования к проектированию в виде EIR или VER. Такой подход реально организовать в основном в крупных организациях-лидерах рынка, когда как для компаний меньшего масштаба внедрение развитой и продуманной структуры информационного моделирования может оказаться попросту невыгодно.

5. Как и для любого нововведения, касающегося BIM-технологий, присутствует проблема, связанная с необходимостью перехода компании на использование ЭВМ с высокими техническими характеристиками. Дороговизна процессоров с требуемой мощностью и других комплектующих может послужить основной причиной отказа от применения технологии информационного моделирования и всех процессов автоматизации, которые позволяет внедрять BIM-моделирование.

Тем не менее Российская Федерация идет по пути расширения сферы применения информационного моделирования в строительной отрасли, что позволит внедрить автоматизацию сметных расчетов в большее количество компаний страны.

Список литературы

1. Сердюкова Е.А. BIM-моделирование как неотъемлемая часть современного строительства. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022;(5-2):56–59.
2. Зеленцов Л.Б., Кокарева А.Я., Акопян Н.Г., Пирко Д.В. Интеграция смет и BIM-проектов. Строительное производство. 2020;(2):29–34.
3. Кузнецов М.А., Кокарева Я.А. Автоматизация составления смет на основе BIM-модели. В: Повышение управленческого, экономического, социального и инновационно-технического потенциала предприятий, отраслей и народно-хозяйственных комплексов: сб. ст. XI Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 21–22 мая 2020 г. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет; 2020, с. 99–101.
4. Ельфимова А.Г. Инвестиционный анализ и оценка стоимости проекта с помощью BIM. Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: сб. материалов междунар. науч. конф., Москва, 16–17 нояб. 2016 г. Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет; 2017, с. 418–421.
5. Пугач П.К., Сивкова А.Э., Придвижкин С.В. 5D BIM: Повышение эффективности сметного дела за счет применения информационных технологий в строительной отрасли. Наука и бизнес: пути развития. 2021;(5):10–12.
6. 5D Смета на проектах ГК «Самолет». PROTIM [интернет]. Режим доступа: <https://pro-tim.ru/blog/5d-smeta-na-proektakh-gk-samolet/> [дата доступа: 10.08.2024].
7. Котов А.Ю. Технология 5D моделирования: инструменты и методы цифрового управления проектом. В: Проектирование автомобильных дорог: сб. докл. 81-й Междунар. науч.-метод. и науч.-исследоват. конф. МАДИ, Москва, 30 янв. – 03 2023 г. Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ); 2023, с. 108–114.
8. Горинский М.Е. Обзор возможностей программы "5D Смета". Сметно-договорная работа в строительстве. 2023;(1):37–44.
9. Соколова В.В. Анализ возможностей средств сопряжения информационной модели со сметными программами. Ползуновский альманах. 2024;(1):177–180.
10. Мельников А.С., Волкова С.Н. BIM-технологии в проектировании и строительстве. В: Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы XIV Нац. конф. с междунар. участием, Саратов, 25–26 апр. 2024 г. Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова; 2024, с. 220–226.
11. Шушаков А.К. Оценка стоимости строительства на основе BIM-модели. В: Современные технологии в строительстве. Теория и практика: материалы XVII Всерос. молодежной конф. аспирантов, молодых ученых и студентов, г. Пермь, 29–31 мая 2024 г. Т. 1. Пермь: ПНИПУ; 2024, с. 296–300.
12. Иванченко В.В., Добышева Т.В. Совершенствование процессов организации строительства объекта недвижимости на основе технологий информационного моделирования. Молодежный вестник ИрГТУ. 2022;12(4):734–738.

References

1. Serdyukova E.A. BIM modeling as an integral part of modern construction. International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2022;(5-2):56–59. (In Russian).
2. Zelentsov L.B., Kokareva A.Ya., Akopyan N.G., Pirko D.V. Integration of estimates and BIM projects. Construction production. 2020;(2):29–34. (In Russian).
3. Kuznetsov M.A., Kokareva Ya.A. Automation of drawing up estimates based on a BIM model. In: Improving the managerial, economic, social and innovative-technical potential of enterprises, industries and national

economic complexes: collection of articles from the XI International Scientific and Practical Conference, Penza, May 21–22, 2020. Penza: Penza State Agrarian University; 2020, pp. 99–101. (In Russian).

4. *Elfimova A.G.* Investment analysis and project cost assessment using BIM. In: Integration, partnership and innovation in construction science and education: collection of materials of the international scientific conference, Moscow, November 16–17, 2016. Moscow: National Research Moscow State University of Civil Engineering; 2017, pp. 418–421. (In Russian).

5. *Pugach P.K., Sivkova A.E., Pridvishkin S.V.* 5D BIM: Improving the efficiency of estimating through the use of information technologies in the construction industry. Science and Business: Ways of Development. 2021;(5):10–12. (In Russian).

6. 5D Estimate for Samolet Group Projects. PROTIM [internet]. Available at: <https://pro-tim.ru/blog/5d-meta-na-proektakh-gk-samolet/> [accessed: 10 August 2024]. (In Russian).

7. *Kotov A.Yu.* 5D modeling technology: tools and methods of digital project management. In: Design of highways: collection of reports of the 81st International scientific-methodological and research conference MADI, Moscow, January 30 – 03, 2023. Moscow: Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI); 2023, pp. 108–114. (In Russian).

8. *Gorinsky M.E.* Review of the capabilities of the 5D Estimate program. Estimate and Contract Work in Construction. 2023;(1):37–44. (In Russian).

9. *Sokolova V.V.* Analysis of the Possibilities of the Means of Interfacing an Information Model with Estimating Programs. Polzunovskii al'manakh. 2024;(1):177–180. (In Russian).

10. *Melnikov A.S., Volkova S.N.* BIM Technologies in Design and Construction. In: Modern Problems and Prospects for the Development of Construction, Heat and Gas Supply and Energy Supply: Proceedings of the XIV National Conference with International Participation, Saratov, April 25–26, 2024. Saratov: Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov; 2024, pp. 220–226. (In Russian).

11. *Shushakov A.K.* Construction Cost Assessment Based on a BIM Model. In: Modern Technologies in Construction. Theory and Practice: Proceedings of the XVII All-Russian Youth Conf. of Postgraduates, Young Scientists and Students, Perm. Vol. 1. Perm: Perm National Research Polytechnic University; 2024, pp. 296–300. (In Russian).

12. *Ivanchenko V.V., Dobyshcheva T.V.* Improving the processes of organizing the construction of a real estate object based on information modeling technologies. Young Researchers' Journal of ISTU. 2022;12(4):734–738. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Дарья Сергеевна Бойко , магистр, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург

e-mail: bojko2.ds@edu.spbstu.ru

тел.: +7 (922) 434-93-58

Darya S. Boyko , Master Student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg

e-mail: bojko2.ds@edu.spbstu.ru

tel.: +7 (922) 434-93-58

Наталья Серафимовна Астафьева, канд. эконом. наук, доцент, доцент высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург

e-mail: natalia.astafeva@inbox.ru

тел.: +7 (921) 944-47-04

Natalya S. Astafieva, Cand. Sci. (Economic), Associate Professor, Higher School of Industrial, Civil, and Road Construction, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg

e-mail: natalia.astafeva@inbox.ru

tel.: +7 (921) 944-47-04

 Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-154-166](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-154-166)
УДК 65.011.56

EDN: ACXFTJ

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ АЛГОРИТМОВ ПРИМЕНЕНИЯ КЛАССИФИКАТОРА СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

А.А. ВОЛКОВ^{1,2}, д-р техн. наук
П.Д. ЧЕЛЫШКОВ^{1,✉}, д-р техн. наук
А.Е. ДАВЫДОВ¹, канд. техн. наук
А.А. НИКИТЕНКО¹

¹ АО «НИЦ «Строительство», ул. 2-я Институтская, д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

² Институт архитектуры, Харбинский политехнический университет, ул. Сидачжи, д. 92, район Нанганг, Харбин, 150001, КНР

Аннотация

Введение. В статье рассматривается структура общероссийских классификаторов технико-экономической и социальной информации. Даются предложения по формированию структуры и подходов к классифицированию для применения в классификаторе строительной информации. Рассматриваются алгоритмы применения классификатора строительной информации.

Цель. Выработка предложений по формированию структуры и подходов к классифицированию для применения в классификаторе строительной информации.

Материалы и методы. Проведен анализ общероссийских классификаторов, их назначения и структуры, перспектив развития. На основе анализа предложены принципы алгоритмов применения классификатора строительной информации.

Результаты. Выработаны предложения по формированию структуры и подходов к классифицированию для применения в классификаторе строительной информации.

Выводы. На основе проведенных научных исследований и анализа полученной информации предлагается замена «классификатора строительной информации» на «систему классификации в строительстве». Данное предложение подразумевает координацию применения существующих отраслевых и межотраслевых классификаторов, исключая тем самым нерациональное увеличение времени работы при классификации элементов и атрибутов информационных и цифровых информационных моделей. Также данное предложение находится в рамках парадигмы применения единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации.

Ключевые слова: информационное моделирование в строительстве, технологии информационного моделирования, ТИМ, информационная модель ОКС, цифровая информационная модель, общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации, классификатор строительной информации, КСИ, управление жизненным циклом объекта капитального строительства, обязательные процедуры в строительстве

Для цитирования: Волков А.А., Челышков П.Д., Давыдов А.Е., Никитенко А.А. Разработка принципов алгоритмов применения классификатора строительной информации. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2025;45(2):154–166. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-154-166](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-154-166)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование выполнено за счет средств Фонда поддержки и развития науки АО «НИЦ «Строительство».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 23.10.2024

Поступила после рецензирования 28.01.2025

Принята к публикации 06.02.2025

DEVELOPING THE PRINCIPLES OF ALGORITHMS FOR CONSTRUCTION INFORMATION CLASSIFIER APPLICATION

A.A. VOLKOV^{1,2}, Dr. Sci. (Engineering)

P.D. CHELYSHKOV^{1,✉}, Dr. Sci (Engineering)

A.E. DAVYDOV¹, Cand. Sci. (Engineering)

A.A. NIKITENKO¹

¹ JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, Moscow, 109428, Russian Federation

² School of Architecture, Harbin Institute of Technology, Xidazhi str., 92, Nangang District, Harbin, 150001, PRC

Abstract

Introduction. The article discusses the structure of Russian classifiers for technical, economic, and social information. Proposals for the formation of a structure and approaches to classification are given for use in a construction information classifier. Algorithms for applying the construction information classifier are considered.

Aim. To give proposals for the formation of a structure and approaches to classification for use in the construction information classifier.

Materials and methods. Russian classifiers, their purpose, structure, and development prospects are analyzed. Principles of algorithms for applying the construction information classifier are proposed based on the performed analysis.

Results. The given proposals consider the formation of a structure and approaches to classification for use in the construction information classifier.

Conclusions. As a result of the conducted study, we propose to replace the construction information classifier with a construction classification system. This proposal implies coordination of existing industrial and inter-industrial classifiers, thus eliminating the irrational increase in the work time for classifying elements and attributes of information and digital information models. In addition, this proposal falls within the paradigm of applying a unified system for classification and coding of technical, economic, and social information.

Keywords: building information modeling, information modeling technologies, BIM, information model of construction project, digital information model, construction information classifier, CIC, life cycle management of construction project, mandatory procedures in construction

For citation: Volkov A.A., Chelyshkov P.D., Davydov A.E., Nikitenko A.A. Developing the principles of algorithms for construction information classifier application. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2025;45(2):154–166. [In Russian]. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-154-166](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-154-166)

Authors contribution statement

All authors made equal contributions to the study and the publication.

Funding

The study was carried out using funding from the Foundation for the Support and Development of Science of the JSC Research Center of Construction.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 23.10.2024

Revised 28.01.2025

Accepted 06.02.2025

Классификатор строительной информации как единая система классификации и кодирования в строительстве

Единая система классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации (ЕСКК ТЭСИ) [1] – это совокупность общероссийских классификаторов технико-экономической и социальной информации; средств ведения классификаторов; нормативных и методических документов по их разработке, ведению и применению. ЕСКК ТЭСИ устанавливает единые методологические и организационные основы проведения работ по классификации и кодированию технико-экономической и социальной информации, определяет состав, содержание и порядок проведения этих работ (основные понятия, используемые в единой системе классификации).

С 1960-х гг. в СССР под руководством В. М. Глушкова были начаты работы по созданию проекта Общегосударственной автоматизированной системы сбора и обработки информации для целей планирования и управления народным хозяйством (ОГАС).

В Постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 8 октября 1970 г. «О мерах по совершенствованию управления в народном хозяйстве на основе широкого использования средств вычислительной техники» [2] признавалась необходимость создания ОГАС и намечались планы руководства по массовому внедрению автоматизированных систем управления в ведомствах и на предприятиях страны.

Постановление Совета Министров СССР от 2 июля 1971 г. № 458 «Об улучшении организации и ускорении работ по созданию унифицированных систем документации и единой системы классификации и кодирования технико-экономической информации, используемых в автоматизированных системах управления в народном хозяйстве» [3] распределяло между министерствами и ведомствами СССР ответственность за разработку и дальнейшее развитие унифицированных систем документации и единой системы классификации и кодирования технико-экономической информации (ЕСКК ТЭИ). В документе особо подчеркивалось, что при разработке этих систем следует учитывать их дальнейшее применение в ОГАС. Координация работ была возложена на Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР (Госстандарт СССР), ныне – Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт).

В дальнейшем в ГОСТ 6.01.1-87 «Единая система классификации и кодирования технико-экономической информации. Основные положения» [4] основной целью создания ЕСКК ТЭИ была заявлена стандартизация информационного обеспечения процессов управления народным хозяйством на основе применения средств вычислительной техники.

В 1990-х годах принципы функционирования и ведения ЕСКК ТЭСИ в Российской Федерации были зафиксированы сначала в Постановлении Правительства РФ от 1 ноября 1999 г. № 1212 «О развитии единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации» [5], а затем в Постановлении Правительства РФ от 10 ноября 2003 г. № 677 «Об общероссийских классификаторах технико-экономической и социальной информации в социально-экономической области» [6]. Оба постановления были конкретизированы в нормативно-технических документах, а именно в ПР 50.1.019-2000 «Правила стандартизации. Основные положения единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации и унифицированных систем документации в Российской Федерации» [7] и ПР 50.1.024-2005 «Правила стандартизации. Основные положения и порядок проведения работ по разработке, ведению и применению общероссийских классификаторов» [8]. Все эти документы в настоящее время утратили силу.

После 2000 г. термин «Единая система классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации» постепенно исчезает из официальных документов. В дальнейшем предметом правового регулирования становятся непосредственно общероссийские классификаторы.

Действующая нормативная база систем классификации в строительстве

В соответствии с Федеральным законом РФ от 29 июня 2015 г. № 162 «О стандартизации в Российской Федерации» к документам по стандартизации относятся [9, статья 14]:

- документы национальной системы стандартизации;
- общероссийские классификаторы;
- стандарты организаций, в том числе технические условия;
- своды правил;
- документы по стандартизации, которые устанавливают обязательные требования в отношении объектов стандартизации, предусмотренных статьями 6 настоящего Федерального закона;
- технические спецификации (отчеты).

Согласно этому закону, порядок разработки, ведения, изменения и применения общероссийских классификаторов устанавливается Правительством Российской Федерации [9, статья 20].

Документом, регламентирующим правила разработки, ведения, изменения и применения общероссийских классификаторов, является постановление Правительства Российской Федерации от 7 июня 2019 г. № 733 «Об общероссийских классификаторах технико-экономической и социальной информации» [10]. В соответствии с этими правилами, перечень общероссийских классификаторов, федеральных органов исполнительной власти и государственных корпораций, ответственных за их формирование, утверждается Министерством финансов Российской Федерации [10, Приложение, п. 4].

Указанный перечень утвержден приказом Министерства финансов РФ от 12 июля 2021 г. № 98н «Об утверждении Перечня общероссийских классификаторов технико-экономической и социальной информации и федеральных органов исполнительной власти, ответственных за их формирование» [11] (табл. 1).

Термин «общероссийский классификатор» встречается приблизительно в 145 тыс. нормативных актах органов власти, в том числе в 33 тыс. федеральных.

Таблица 1

Перечень общероссийских классификаторов технико-экономической и социальной информации и федеральных органов исполнительной власти, ответственных за их формирование

Table 1

List of Russian classifiers for technical, economic, and social information with federal executive bodies responsible for their formation

Наименование общероссийского классификатора технико-экономической и социальной информации	Федеральный орган исполнительной власти, ответственный за формирование общероссийского классификатора технико-экономической и социальной информации
Общероссийский классификатор стандартов (ОКС)	Росстандарт
Общероссийский классификатор управленческой документации (ОКУД)	Росстандарт
Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов (Классификатор ЕСКД)	Росстандарт
Общероссийский классификатор основных фондов (ОКОФ)	Росстандарт
Общероссийский классификатор валют (ОКВ)	Росстандарт
Общероссийский классификатор единиц измерения (ОКЕИ)	Росстандарт
Общероссийский классификатор информации о населении (ОКИН)	Росстандарт
Общероссийский классификатор деталей, изготавливаемых сваркой, пайкой, склеиванием и термической резкой (ОКД)	Росстандарт
Общероссийский технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения (ОТКД)	Росстандарт
Общероссийский технологический классификатор сборочных единиц машиностроения и приборостроения (ОТКСЕ)	Росстандарт
Общероссийский классификатор стран мира (ОКСМ)	Росстандарт
Общероссийский классификатор народных художественных промыслов и мест традиционного бытования (ОКНХП)	Росстандарт
Общероссийский классификатор органов государственной власти и управления (ОКОГУ)	Росстат
Общероссийский классификатор предприятий и организаций (ОКПО)	Росстат
Общероссийский классификатор объектов административно-территориального деления (ОКАТО)	Росстат
Общероссийский классификатор форм собственности (ОКФС)	Росстат
Общероссийский классификатор организационно-правовых форм (ОКОПФ)	Росстат
Общероссийский классификатор территорий муниципальных образований (ОКТМО)	Росстат
Общероссийский классификатор экономических регионов (ОКЭР)	Минэкономразвития России
Общероссийский классификатор видов экономической деятельности (ОКВЭД 2)	Минэкономразвития России совместно с федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими функции по выработке и реализации государственной политики и нормативно-правовому регулированию в установленных сферах деятельности

Наименование общероссийского классификатора технико-экономической и социальной информации	Федеральный орган исполнительной власти, ответственный за формирование общероссийского классификатора технико-экономической и социальной информации
Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности (ОКПД 2)	Минэкономразвития России совместно с федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими функции по выработке и реализации государственной политики и нормативно-правовому регулированию в установленных сферах деятельности
Общероссийский классификатор специальностей по образованию (ОКСО)	Минобрнауки России; Минпросвещения России
Общероссийский классификатор специальностей высшей научной квалификации (ОКСВНК)	Минобрнауки России
Общероссийский классификатор трансформационных событий (ОКТС)	Минобрнауки России
Общероссийский классификатор информации по социальной защите населения (ОКИСЗН)	Минтруд России
Общероссийский классификатор занятий (ОКЗ)	Минтруд России
Общероссийский классификатор профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов (ОКПДТР)	Минтруд России
Общероссийский классификатор полезных ископаемых и подземных вод (ОКПИиПВ)	Минприроды России
Общероссийский классификатор гидроэнергетических ресурсов (ОКГР)	Минэнерго России
Общероссийский классификатор направлений природоохранной деятельности и деятельности по управлению природными ресурсами (ОКПДУПР)	Минприроды России

Основные группы общероссийских классификаторов:

- административно-управленческая – ОКОГУ, ОКОПФ, ОКПО, ОКФС и ОКУД;
- персонально-описательная – ОКИН и ОКИСЗН;
- природно-сырьевая – ОКГР, ОКПИиПВ и ОКПДУПР;
- производственно-образовательная – ОКПДТР, ОКСВНК, ОКСО и ОКЗ;
- производственно-техническая – ЕСКД, ОКД, ОКЕИ, ОТКД и ОТКСЕ;
- промышленно-экономическая – ОКВЭД 2, ОКОФ, ОКНХП, ОКПД 2;
- территориально-экономическая – ОКАТО, ОКВ, ОКСМ, ОКТМО и ОКЭР;
- торгово-промышленная – ОКОФ, ОКС, ОКТС.

Информация о составе общероссийских классификаторов содержится также в Общероссийском классификаторе информации об общероссийских классификаторах (ОКОК). В нем приводится не только перечень общероссийских классификаторов и сведений об их статусе, сроке действия и других показателях, но и перечень фасетов общероссийских классификаторов.

Полный свод общероссийских классификаторов содержится на сайте «Общероссийские классификаторы» [12].

Информационная поддержка общероссийских классификаторов

Официальную публикацию, издание и распространение общероссийских классификаторов осуществляет ФГБУ «Российский институт стандартизации» (РСТ). Также этот институт проводит экспертизу или разработку проектов общероссийских классификаторов

и изменений к ним (экспертиза и разработка общероссийских классификаторов). В функции РСТ также входит ведение каталога общероссийских классификаторов технико-экономической и социальной информации.

Перспективы общероссийских классификаторов

В соответствии с Постановлением Правительства РФ № 733 [10] совокупность общероссийских классификаторов, их методическая и организационная поддержка, а также система ведения осуществляется в рамках федеральной государственной информационной системы «Единая система нормативной справочной информации» (ФГИС ЕС НСИ) [13, 14].

В свою очередь, согласно Постановлению Правительства РФ от 14 мая 2021 г. № 733 «Об утверждении Положения о федеральной государственной информационной системе «Единая информационная платформа национальной системы управления данными» и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» [15], ФГИС ЕС НСИ является частью федеральной государственной информационной системы «Единая информационная платформа национальной системы управления данными» (ФГИС «ЕИП НСУД») [16]. Таким образом, дальнейшее функционирование и развитие общероссийских классификаторов планируется в рамках ФГИС «ЕИП НСУД» [17].

Общероссийский классификатор – справочник, который представляет собой систематизированный перечень записей с указанием наименований и кодов объектов технико-экономической и социальной информации. Является официальным документом.

Полное название: Общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации.

Сокращенная запись: ОК. Названия всех общероссийских классификаторов имеют аббревиатуры и начинаются с «ОК».

Общероссийский классификатор обязателен при обмене данными между отраслями и при использовании в унифицированных формах документов (УФД) на территории Российской Федерации. Общероссийский классификатор обеспечивает сопоставимость данных в различных отраслях и секторах хозяйственной деятельности, а также имеет связи с другими действующими общероссийскими классификаторами и гармонирует с международными классификаторами.

Общероссийским классификаторам необходимо соответствовать требованиям Единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации РФ (ЕСКК ТЭСИ). Национальные и отраслевые классификаторы представляют собой нормативные документы. Внесение изменений в классификаторы согласовывается с Госкомстатом и Комитетом РФ по стандартизации, метрологии и сертификации.

Основанием для разработки ряда общероссийских классификаторов служат:

- План мероприятий по формированию методологии систематизации и кодирования информации, а также по совершенствованию и актуализации общероссийских классификаторов, реестров и информационных ресурсов (утвержден заместителем председателя Правительства Российской Федерации А.В. Дворковичем 31 июля 2014 года № 4970 п-П110).
- Федеральный закон Российской Федерации № 162 [9].
- Постановление Правительства Российской Федерации № 733 [10].

Формирование и представление для принятия изменений к классификаторам обеспечиваются в порядке, установленном ПР 50.1.024-2005 [8].

На 2023 год перечень общероссийских классификаторов включает более 30 общероссийских классификаторов.

На сайте общероссийских классификаторов [12] представлены наиболее востребованные общероссийские классификаторы в структурированном виде с кодами, расшифровками и библиографическим описанием.

По сферам использования, целям и назначению общероссийские классификаторы делятся на группы:

- административно-управленческая – ОКОГУ, ОКОК, ОКОПФ, ОКПО, ОКФС, ОКУД;
- персонально-описательная – ОКИН, ОКИСЗН;
- природно-сырьевая – ОКГР, ОКПИиПВ;
- производственно-образовательная – ОКПДТР, ОКНПО, ОКСВНК, ОКСО, ОКЗ;
- производственно-техническая – ЕСКД, ОКД, ОКЕИ, ОТКД, ОТКСЕ;
- промышленно-экономическая – ОКВЭД, ОКВЭД 2, ОКДП, ОКОНХ, ОКПД, ОКПД 2, ОКУН;
- территориально-экономическая – КИЕС, ОКАТО, ОКВ, ОКСМ, ОКТМО, ОКЭР;
- торгово-промышленная – КГС, ТНВЭД, ОКВГУМ, ОКОФ, ОКП, ОКС, ОКТС.

Принципы алгоритмов применения классификатора строительной информации

Предлагаются следующие принципы алгоритмов применения классификатора строительной информации [18, статья 57.6; 19].

а. Для заполнения значений параметров, связанных с кодами классификаторов, используются коды общероссийских классификаторов, входящих в единую систему классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации, коды ведомственных классификаторов, введенных в действие нормативными правовыми актами органов исполнительной власти Российской Федерации.

В частности:

- для назначения кодов строительных ресурсов (материалов, изделий, машин и механизмов) применять классификатор строительных ресурсов – КСР [20, 21];
- для назначения кодов трудовых ресурсов (профессии рабочих и должности служащих) применять общероссийский классификатор профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов – ОКПДТР [22, 23];
- для назначения кодов видов разрешенного использования земельных участков применять классификатор видов разрешенного использования земельных участков, утвержденный Приказом Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 10 ноября 2020 № П/0412 «Об утверждении классификатора видов разрешенного использования земельных участков» [24];
- для назначения кодов функционального назначения объектов капитального строительства применять классификатор объектов капитального строительства по их назначению и функционально-технологическим особенностям, утвержденный Приказом Минстроя России от 02 ноября 2022 года № 928/пр «Об утверждении классификатора объектов

капитального строительства по их назначению и функционально-технологическим особенностям» [25];

– для назначения кодов видов работ применять государственные элементные сметные нормы – ГЭСН [26, 27].

б. Для кодирования информационных параметров применяется таблица 21_Хрк (Характеристики) классификатора строительной информации.

Использование кодов информационных параметров позволит достичь следующих эффектов [28]:

- сокращение текста программного кода;
- более удобное внедрение в машиночитаемые документы;
- независимость от типа восприятия и языковых знаний человека.

Из допустимых недостатков можно назвать необходимость знания значений кодов информационных параметров.

Приведем пример применения предлагаемых принципов алгоритмов применения классификатора строительной информации при кодировании материалов строительных конструкций.

Кодирование материала кирпичной стены с использованием классификатора КСР:

Код КСР по КСИ: XNCC0001.

Информационный параметр «Материал» по КСИ: XPM_0002.

Материал: Кирпич керамический лицевой полнотелый одинарный, размеры $250 \times 120 \times 65$ мм, марка 150.

Код материала по КСР: 23.32.11.110.06.1.01.05-0017-000.

Результат:

XPM_0002: XNCC0001.23.32.11.110.06.1.01.05-0017-000.

Выводы

На основе проведенных научных исследований и анализа полученной информации предлагается замена «классификатора строительной информации» на «систему классификации в строительстве». Данное предложение подразумевает координацию применения существующих отраслевых и межотраслевых классификаторов, исключая тем самым нерациональное увеличение времени работы при классификации элементов и атрибутов информационных и цифровых информационных моделей.

Также данное предложение находится в рамках парадигмы применения единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации.

Представляемые научные результаты получены в рамках работы «Разработка научно обоснованного подхода к модернизации структуры и принципов формирования классификатора строительной информации», выполненной за счет средств Фонда поддержки и развития науки АО «НИЦ «Строительство».

Список литературы

1. Единая система классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации. Большая российская энциклопедия [интернет]. Режим доступа: <https://bigenc.ru/c/edinaia-sistema-klassifikatsii-i-kodirovaniia-tekhniko-ekonomicheskoi-i-sotsial-noi-informatsii-5191d3> [дата обращения: 22.08.2024].
2. Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 8 октября 1970 г. «О мерах по совершенствованию управления в народном хозяйстве на основе широкого использования средств вычислительной техники». Вестник Университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА). 2023;(2):210–217.
3. Постановление Совета Министров СССР от 2 июля 1971 г. № 458 «Об улучшении организации и ускорении работ по созданию унифицированных систем документации и единой системы классификации и кодирования технико-экономической информации, используемых в автоматизированных системах управления в народном хозяйстве» [интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/765710759>.
4. ГОСТ 6.01.1-87 Единая система классификации и кодирования технико-экономической информации. Основные положения. Москва: Издательство стандартов; 1987.
5. Постановление Правительства РФ от 1 ноября 1999 г. № 1212 «О развитии единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации» [интернет]. Режим доступа: <https://government.ru/docs/all/33293/>.
6. Постановление Правительства РФ от 10 ноября 2003 г. № 677 «Об общероссийских классификаторах технико-экономической и социальной информации в социально-экономической области» [интернет]. Режим доступа: <https://government.ru/docs/all/47059/>.
7. ПР 50.1.019-2000. Правила стандартизации. Основные положения единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации и унифицированных систем документации в Российской Федерации. Москва: Издательство стандартов; 2001.
8. ПР 50.1.024-2005. Правила стандартизации. Основные положения и порядок проведения работ по разработке, ведению и применению общероссийских классификаторов. Москва: Стандартиформ; 2006.
9. Федеральный закон Российской Федерации от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации» (с изменениями на 30 декабря 2020 года № 523-ФЗ) [интернет]. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=393371>.
10. Постановление Правительства Российской Федерации от 7 июня 2019 г. № 733 «Об общероссийских классификаторах технико-экономической и социальной информации» [интернет]. Режим доступа: <https://government.ru/docs/all/122338/>.
11. Приказ Министерства финансов Российской Федерации от 12 июля 2021 г. № 98н «Об утверждении Перечня общероссийских классификаторов технико-экономической и социальной информации и федеральных органов исполнительной власти, ответственных за их формирование» (с изменениями на 18 марта 2024 года) [интернет]. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=479051>.
12. Общероссийские классификаторы [интернет]. Режим доступа: <https://classifikators.ru> (дата обращения: 03.04.2025).
13. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации (Минцифры России). Единая система нормативной справочной информации [интернет]. Режим доступа: <https://digital.gov.ru/information-systems/edinaya-sistema-normativno-spravocnoj-informaczii> (дата обращения: 03.04.2025).
14. Единая система нормативной справочной информации [интернет]. Режим доступа: <https://esnsi.gosuslugi.ru/classifiers> (дата обращения: 03.04.2025).
15. Постановление Правительства РФ от 14 мая 2021 г. № 733 «Об утверждении Положения о федеральной государственной информационной системе «Единая информационная платформа национальной системы управления данными» и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» [интернет]. Режим доступа: <https://government.ru/docs/all/134361/>.
16. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации (Минцифры России). Федеральная государственная информационная система «Единая информационная платформа Национальной системы управления данными» (ФГИС «ЕИП НСУД») [интернет]. Режим доступа: <https://digital.gov.ru/information-systems/federalnyj-reestr-gosudarstvennyh-i-municipalnyh-uslug-funkczij> (дата обращения: 03.04.2025).

17. Единая информационная платформа национальной системы управления данными [интернет]. Режим доступа: <https://nsud.gosuslugi.ru> (дата обращения: 03.04.2025).
18. Федеральный закон Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации» [с изменениями на 08 августа 2024 года № 232-ФЗ] [интернет]. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=489371>.
19. Классификатор строительной информации [интернет]. Режим доступа: <https://стройкомплекс.рф/ksi> (дата обращения: 03.04.2025).
20. Приказ Минстроя России от 17 ноября 2022 г. № 969/пр «О формировании классификатора строительных ресурсов» [интернет]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/232535/>.
21. Классификатор строительных ресурсов [интернет]. Режим доступа: <https://fgiscs.minstroyrf.ru/ksr> (дата обращения: 03.04.2025).
22. Постановление Госстандарта РФ от 26.12.1994 № 367 (ред. от 19.06.2012) «О принятии и введении в действие Общероссийского классификатора профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов ОК 016–94» [интернет]. Режим доступа: https://amt-oia.ru/documents/vrach-profpatolog/941226_PGosstandarta367.pdf.
23. Общероссийский классификатор профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов [интернет]. Режим доступа: <https://okpdr.ru> (дата обращения: 03.04.2025).
24. Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии. Приказ от 10 ноября 2020 года № П/0412 «Об утверждении классификатора видов разрешенного использования земельных участков» [интернет]. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=494542>.
25. Приказ Минстроя России от 02 ноября 2022 года № 928/пр «Об утверждении классификатора объектов капитального строительства по их назначению и функционально-технологическим особенностям» [интернет]. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=443904>.
26. Приказ Минстроя России от 30 декабря 2016 г. № 1038/пр «Об утверждении сметных нормативов» [интернет]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/13419/>.
27. ГЭСН. Государственные элементные сметные нормы [интернет]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/trades/view.state-gesn.php> (дата обращения: 03.04.2025).
28. Чельшков П.Д., Волков А.А., Бачурина С.С., Бабушкин Е.С., Лысенко Д.А. Подходы к формированию системы цифровых нормативно-технических документов в строительном комплексе. Промышленное и гражданское строительство. 2022;(1):46–51. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2022.01.46-51>.

References

1. Unified system of classification and coding of technical, economic and social information. The Great Russian Encyclopedia [internet]. Available at: <https://bigenc.ru/c/edinaia-sistema-klassifikatsii-i-kodirovaniia-tekhniko-ekonomicheskoi-i-sotsial-noi-informatsii-5191d3> (accessed 22 August 2024). (In Russian).
2. Resolution of the Central Committee of the CPSU and the Council of Ministers of the USSR of October 8, 1970 No. 849-291 “On measures to improve management in the national economy based on the widespread use of computer technology”. Courier of Kutafin Moscow State Law University (MSAL). 2023;(2):210–217. (In Russian).
3. Resolution of the Council of Ministers of the USSR of July 2, 1971 No. 458 “On improving the organization and accelerating work on the creation of unified documentation systems and a unified system of classification and coding of technical and economic information used in automated control systems in the national economy” [internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/765710759>. (In Russian).
4. State Standard GOST 6.01.1-87. Unified system of classification and coding of technical and economic information. Basic provisions. Moscow: Publishing standards; 1987. (In Russian).
5. RF Government Resolution of November 1, 1999 No. 1212 “On the Development of a Unified System of Classification and Coding of Technical, Economic and Social Information” [internet]. Available at: <https://government.ru/docs/all/33293/>. (In Russian).
6. RF Government Resolution of November 10, 2003 No. 677 “On All-Russian Classifiers of Technical, Economic and Social Information in the Socio-Economic Sphere” [internet]. Available at: <https://government.ru/docs/all/47059/>. (In Russian).

7. PR 50.1.019-2000. Standardization Rules. Basic Provisions of a Unified System of Classification and Coding of Technical, Economic and Social Information and Unified Documentation Systems in the Russian Federation. Moscow: Publishing standards; 2001. (In Russian).
8. PR 50.1.024-2005. Standardization Rules. Basic Provisions and Procedure for Carrying Out Work on the Development, Maintenance and Application of All-Russian Classifiers. Moscow: Standartinform Publ.; 2006. (In Russian).
9. Federal Law of the Russian Federation of June 29, 2015 No. 162-FZ "On Standardization in the Russian Federation" (as amended on December 30, 2020 No. 523-FZ) [internet]. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=393371>. (In Russian).
10. Resolution of the Government of the Russian Federation of June 7, 2019 No. 733 "On All-Russian Classifiers of Technical, Economic and Social Information" [internet]. Available at: <https://government.ru/docs/all/122338/>. (In Russian).
11. Order of the Ministry of Finance of the Russian Federation of July 12, 2021 No. 98n "On Approval of the List of All-Russian Classifiers of Technical, Economic and Social Information and Federal Executive Bodies Responsible for Their Formation" (as amended on March 18, 2024). [internet]. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=479051>. (In Russian).
12. All-Russian Classifiers [internet]. Available at: <https://classifikators.ru> (accessed 03 April 2025). (In Russian).
13. Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation (Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation). Unified system of regulatory reference information [internet]. Available at: <https://digital.gov.ru/information-systems/edinaya-sistema-normativno-spravochnoj-informaczii> (accessed 03 April 2025). (In Russian).
14. Unified system of regulatory reference information [internet]. Available at: <https://esnsi.gosuslugi.ru/classifiers> (accessed 03 April 2025). (In Russian).
15. Resolution of the Government of the Russian Federation of May 14, 2021 No. 733 "On approval of the Regulation on the federal state information system 'Unified information platform of the national data management system' and on amendments to certain acts of the Government of the Russian Federation" [internet]. Available at: <https://government.ru/docs/all/134361/>. (In Russian).
16. Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation (Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation). Federal state information system "Unified information platform of the National Data Management System" (FGIS "UIP NSUD") [internet]. Available at: <https://digital.gov.ru/information-systems/federalnyj-reestr-gosudarstvennyh-i-municipalnyh-uslug-funkczij> (accessed 03 April 2025). (In Russian).
17. Unified information platform of the national data management system [internet]. Available at: <https://nsud.gosuslugi.ru> (accessed 03 April 2025). (In Russian).
18. Federal Law of the Russian Federation of December 29, 2004 No. 190-FZ "Urban Planning Code of the Russian Federation" (as amended on August 8, 2024 No. 232-FZ) [internet]. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=489371>. (In Russian).
19. Classifier of construction information [internet]. Available at: <https://стройкомплекс.пф/ksi> (accessed 03 April 2025). (In Russian).
20. Order of the Ministry of Construction of Russia dated November 17, 2022 No. 969/pr "On the formation of the classifier of construction resources" [internet]. Available at: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/232535/>. (In Russian).
21. Classifier of construction resources [internet]. Available at: <https://fgiscs.minstroyrf.ru/ksr> (accessed 03 April 2025). (In Russian).
22. Resolution of the State Standard of the Russian Federation dated December 26, 1994 No. 367 (as amended on June 19, 2012) "On the adoption and implementation of the All-Russian classifier of workers' professions, employee positions and wage grades OK 016-94" [internet]. Available at: https://amt-oha.ru/documents/vrach-profpatolog/941226_PGosstandarta367.pdf. (In Russian).
23. All-Russian classifier of workers' professions, employee positions and wage grades [internet]. Available at: <http://okpdtr.ru> (accessed 03 April 2025). (In Russian).
24. Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography. Order of November 10, 2020 No. P/0412 "On approval of the classifier of types of permitted use of land plots" [internet]. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=494542>. (In Russian).

- 25.** Order of the Ministry of Construction of Russia dated November 2, 2022 No. 928/pr "On approval of the classifier of capital construction projects by their purpose and functional and technological features" [internet]. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=443904>. (In Russian).
- 26.** Order of the Ministry of Construction of Russia dated December 30, 2016 No. 1038/pr "On approval of estimate standards" [internet]. Available at: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/13419/>. (In Russian).
- 27.** GESN. State elemental estimate standards [internet]. Available at: <https://www.minstroyrf.gov.ru/trades/view.state-gesn.php> (accessed 03 April 2025). (In Russian).
- 28.** Chelyshkov P.D., Volkov A.A., Bachurina S.S., Babushkin E.S., Lysenko D.A. Approaches to the Formation of a System of Digital Regulatory and Technical Documents in the Construction Complex. *Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo* = Industrial and Civil Engineering. 2022;(1):46–51. (In Russian). <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2022.01.46-51>.

Информация об авторах / Information about the authors

Андрей Анатольевич Волков, д-р техн. наук, старший научный сотрудник, АО «НИЦ «Строительство», Москва; профессор, Институт архитектуры, Харбинский политехнический университет, Харбин
Andrey A. Volkov, Dr. Sci. (Engineering), Senior Researcher, JSC Research Center of Construction, Moscow; Professor, School of Architecture, Harbin Institute of Technology, Harbin

Павел Дмитриевич Челышков✉, д-р техн. наук, руководитель центра информационного моделирования ДНТПИЭ, АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: chelyshkovpd@cstroy.ru
Pavel D. Chelyshkov✉, Dr. Sci. (Engineering), Head, Information Modeling Center, Unit of Scientific and Technical Projects and Inspection, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: chelyshkovpd@cstroy.ru

Алексей Евгеньевич Давыдов, канд. техн. наук, научный сотрудник центра информационного моделирования ДНТПИЭ, АО «НИЦ «Строительство», Москва
Alexey E. Davydov, Cand. Sci. (Engineering), Researcher, Information Modeling Center, Unit of Scientific and Technical Projects and Inspection, JSC Research Center of Construction, Moscow

Артем Александрович Никитенко, эксперт центра информационного моделирования ДНТПИЭ, АО «НИЦ «Строительство», Москва
Artem A. Nikitenko, Expert, Information Modeling Center, Unit of Scientific and Technical Projects and Inspection, JSC Research Center of Construction, Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН»

Журнал «Бетон и железобетон» – научно-техническое рецензируемое издание для профессионалов-строителей, архитекторов, инженеров, проектировщиков, всех работников строительного комплекса, а также для индивидуальных застройщиков. Издается с 1955 г. В журнале публикуются материалы о новых конструктивных и планировочных решениях, прогрессивных строительных материалах, о теплосберегающих технологиях и конструкциях, об экономике жилищно-гражданского строительства, проблемах архитектуры, градостроительства, сельского строительства, экологии жилища.

Учредитель: Ассоциация «Железобетон».

Издатель: АО «НИЦ «Строительство».

Журнал включен в перечень ВАК с 10.06.2024 г. по научным специальностям:

2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);

2.1.5 – Строительные материалы и изделия (технические науки).

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации печатного издания ПИ № ФС 77-76959 от 09.10.2019. Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС77-86552 от 26.12.2023.

Журнал зарегистрирован в Национальном центре ISSN (International Standard Serial Number): печатное – 0005-9889, сетевое – 3034-1302.

Журнал издается на платформе Elpub Национального консорциума российских библиотек (НЭИКОН). Входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе eLIBRARY.ru.

Основан: Институт НИИЖБ Госстроя СССР и ВНИИжелезобетон Минстройматериалов СССР.

Тираж печатного издания – 300 экземпляров.

Периодическое печатное издание (6 раз в год).

Подробная информация на сайте **bzhb.ru**

Подписной индекс ООО «АРЗИ» – **85502**.



*Приглашаем к сотрудничеству
ученых, аспирантов,
исследователей!*

Адрес редакции: г. Москва, 2-я Институтская ул.,
дом 6, корпус 1

Тел. редакции: +7(495)602-00-70 доб. 1022, 1023

Выпускающий редактор – Починина Наталья

e-mail: pochininane@estroy.ru



АО «НИЦ «Строительство» —
это более чем 95-летний опыт исследований
и достижений в области строительной науки.

Мы — команда единомышленников,
способных реализовать сложнейшие
инженерные проекты.

УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР

АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



ниц строительство
научно-исследовательский центр



НИИСК
ВНИИСК



НИИЖБ
ВНИИЖБ



НИИОСП
ВНИИОСП



г. Москва,
2-я Институтская ул., д. 6



+7 (499) 174-73-84 | +7 (499) 174-73-80



www.cstroy.ru



motorina@cstroy.ru | smirnova@cstroy.ru



ПРОЕКТИРОВАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ

ИЗЫСКАНИЯ

СТРОИТЕЛЬСТВО



повысить квалификацию
специалистов и экспертов



пройти обучение в аспирантуре



подготовить диссертацию в докторантуре



защитить диссертацию на соискание ученой
степени **кандидата наук**, на соискание ученой
степени **доктора наук**

Учебный центр
АО «НИЦ «Строительство»
приглашает вас:





АО «НИЦ «Строительство» проводит подготовку специалистов на курсах повышения квалификации по очной и заочной формам:

- — в области инженерных изысканий
- — в области проектирования
- — в области строительства
- — по уникальным программам АО «НИЦ «Строительство»
- — разработка индивидуальных программ обучения и учебно-тематических планов



Преподавательский состав Учебного центра

- — лекции читают академики, действующие члены и члены-корреспонденты РААСН, лауреаты Премий Правительства РФ, заслуженные деятели науки и техники РФ, доктора и кандидаты технических наук
- — учебный класс рассчитан на обучение до 75 человек одновременно. Оснащен системой кондиционирования и видеонаблюдения

ФОРМЫ ПОДГОТОВКИ ДИССЕРТАЦИИ В АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



Обучение в аспирантуре,
докторантуре

Прикрепление для
подготовки диссертации без
освоения образовательных
программ



Набор в аспирантуру и докторантуру АО «НИЦ «Строительство» проводится по направлению **08.06.01 «Техника и технология строительства»** по направлениям:

- 2.1.1** «Строительные конструкции, здания и сооружения»
- 2.1.2** «Основания и фундаменты, подземные сооружения»
- 2.1.5** «Строительные материалы и изделия»



В АО «НИЦ «Строительство» работает совет по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Защита диссертаций проводится по следующим научным специальностям:

- 2.1.1** «Строительные конструкции, здания и сооружения»
- 2.1.2** «Основания и фундаменты, подземные сооружения»
- 2.1.5** «Строительные материалы и изделия»

Научное издание

Вестник НИЦ «Строительство»
Вып. 2(45) 2025

Редактор выпуска: Починина Н.Е.
Компьютерная верстка: Чорненький С.И.

Дата выхода в свет: 30.06.2025 г. Формат 70×100/16
Бумага мелованная. Офсетная печать.
Тираж 500 экз. Заказ № 20162

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии «Триада»
170034, Российская Федерация,
г. Тверь, пр. Чайковского, д. 9, оф. 514.
тел.: +7 910 647-49-85
e-mail: triadatver@yandex.ru
Свободная цена



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр

ISSN: 2224-9494 (Print)

ISSN: 2782-3938 (Online)

Подписной индекс: 36569

АО «НИЦ «Строительство»

Москва, 2025