



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр



ISSN 2224-9494 (Print)

ISSN 2782-3938 (Online)

№ 3(46) 2025

ВЕСТНИК

НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



НАУЧНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ
СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр

ВЕСТНИК

НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

№ 4(47) 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

Журнал в «БЕЛОМ СПИСКЕ» научных изданий.

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: vestnikcstroy@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. 4(47) 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

The journal is on the "WHITE LIST" of scientific publications.

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



Редакционная коллегия

УДК 69; 624; 55; 550.34; 531.01; 531.03

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

БРУШКОВ Анатолий Викторович, д-р геолого-
минералогических наук, ФГБОУ ВО

«МГУ им. М.В. Ломоносова», Москва, 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
РААЧ, 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. Герсеванова
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

МАИЛЯН 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 (РААЧ) ГОУ ВПО
«СпбГАСУ», Санкт-Петербург, Российская Федерация

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

МОНДРУС Владимир Львович, д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВО «НИЦ 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

PUZRIN 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-МАРТИРОСЯН Армен Завенович, д-р техн. наук
ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», Москва, Российская Федерация

ТРАВУШ Владимир Ильич, вице-президент РААЧ,
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

ЧЕВЕРЕВ Виктор Григорьевич, д-р геолого-минералогических
наук, ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова», Москва,
Российская Федерация

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

Вестник НИЦ «Строительство»

Научный потенциал строительной отрасли

Вып. 4(47) / под ред. А.И. Звездова. –

М.: АО «НИЦ «Строительство», 2025. – 160 с.

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

DOI журнала: <https://doi.org/10.37538/2224-9494>

DOI выпуска: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47))

В действующем Перечне ВАК от 25.11.2025 г. под номером 628.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере
связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-75189 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**BROUCHKOV Anatoly V.**, Dr. Sci. (Geology and Mineralogy),
Lomonosov Moscow State University, Moscow, 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. Kucherenko, 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 Yury 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. Kucherenko, 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
JCSC "Gorproject", Moscow, Russian Federation**FARFEL Mikhail I.**, Cand. Sci. (Engineering)
Research Institute of Building Constructions named after
V.A. Kucherenko, 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**CHEVEREV Viktor G.**, Dr. Sci. (Geology and Mineralogy),
Lomonosov Moscow State University, 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 4(47) / edited by A.I. Zvezdov. –

M.: JSC Research Center of Construction, 2025. – 160 p.

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

DOI journal <https://doi.org/10.37538/2224-9494>DOI issue [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47))
**In the current version of List of HAC from November 25, 2025
our journal has a number 628.**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

Гуров С.В., Глазунов О.В., Кондрашов Д.В., Коняшин Д.Ю., Фарфель М.И.

Научно-техническое сопровождение строительства вытяжной башни газоочистки 7

Зенин С.А., Мухамедиев Т.А., Семенов А.А.

Особенности методики расчета по прочности наклонных сечений железобетонных конструкций на действие поперечных и продольных сил по СП 63.13330.2018 19

Ищук М.К., Ищук Е.М.

Исследования прочности и деформаций исторической кладки 33

Комарова М.А., Мельников Н.О., Власкин И.А., Шалабин М.В.

Эффективность конструктивной огнезащиты на основе минераловатных плит при ускоренном климатическом старении 47

Соколов Б.С., Иванов А., Пасхин Д.В., Титаев В.А.

Исследования пространственных конструктивных решений зданий из гнутоформованных элементов 62

Титаев В.А., Соколов Б.С., Черный И.А.

Актуализация межгосударственного стандарта «Плиты железобетонные предварительно напряженные для облицовки оросительных каналов мелиоративных систем» 76

Основания и фундаменты, подземные сооружения

Сазонов П.М., Дымченко И.А., Щербакова А.А.

Влияние конструктивных параметров термометрических скважин на точность измерения температуры грунтов 90

Чуркин А.А.

Развитие нормативной регламентации неразрушающего контроля качества свайных фундаментов 104

Шулятьев О.А., Мартынов Д.Г., Орехов В.В.

Жидкий грунт: инновационная технология обратной засыпки и стабилизации оснований 118

Строительные материалы и изделия

Романов П.Г., Слепцов А.А.

Эффекты при отражении волны напряжений в деревянных образцах 132

Управление жизненным циклом объектов строительства

Барков А.С., Заболотников А.С.

Применение беспилотных летательных аппаратов в строительстве: внедрение новых технологий и нормативные изменения 144

Contents

Building constructions, buildings and structures

Gurov S.V., Glazunov O.V., Kondrashov D.V., Konyashin D.Yu., Farfel M.I.	
Scientific and technical support for the construction of a gas cleaning extraction tower	7
Zenin S.A., Mukhamediev T.A., Semenov A.A.	
Features of calculating the strength of inclined sections for reinforced concrete structures under transverse and longitudinal forces according to SP 63.13330.2018.....	19
Ishchuk M.K., Ishchuk E.M.	
Stress and strain studies of historical masonry	33
Komarova M.A., Melnikov N.O., Vlaskin I.A., Shalabin M.V.	
Efficiency of mineral wool slabs for fire protection of structures under accelerated climatic aging.....	47
Sokolov B.S., Ivanov A., Paskhin D.V., Titaev V.A.	
Flexible mould processing technology in spatial design concepts of buildings.....	62
Titaev V.A., Sokolov B.S., Chernyi I.A.	
Update of the interstate standard "Prestressed reinforced concrete slabs for irrigation canal lining of melioration systems"	76

Foundations, underground structures

Sazonov P.M., Dymchenko I.A., Shcherbakova A.A.	
Design effects on the accuracy of soil temperature measurements in thermometric wells	90
Churkin A.A.	
Development of regulations for non-destructive testing of pile foundations.....	104
Shulyatyev O.A., Martynov D.G., Orekhov V.V.	
Controlled low strength material: innovative technology for backfilling and stabilizing foundations	118

Building materials and products

Romanov P.G., Sleptsov A.A.	
Effects of stress wave reflection in wooden samples	132
Lifecycle management of construction projects	
Barkov A.S., Zabolotnikov A.S.	
Unmanned aerial vehicles in construction: advanced technologies and regulatory changes....	144

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫТЯЖНОЙ БАШНИ ГАЗООЧИСТКИ

С.В. ГУРОВ^{1,*}

О.В. ГЛАЗУНОВ¹

Д.В. КОНДРАШОВ¹

Д.Ю. КОНЯШИН¹

М.И. ФАРФЕЛЬ^{1,2}, канд. техн. наук

¹ 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

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

Аннотация

Введение. Приведены данные, полученные во время проведения научно-технического сопровождения (НТС) изготовления и монтажа сооружения надземной части вытяжной башни высотой 150 м – поддерживающей конструкции газоочистки аглофабрики в г. Новокузнецке в процессе НТС и мониторинга, проводимого сотрудниками Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций им. В.А. Кучеренко в период с января 2024 года по май 2025. В наиболее напряженных элементах конструкции, находящихся на отм. +1,700 и +17,000, были установлены механические тензометры и устройства, с которых снимались показания для получения картины напряженного состояния конструкции в целом. При этом проводился анализ данных деформированного состояния, полученных от Заказчика по результатам геодезической службы, выполняющей работы при строительстве.

Цель. Проведение НТС и мониторинга по разработанной в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко методике для наблюдения за состоянием отдельных конструкций и ответственных узлов башни, поддерживающей конструкции газоочистки аглофабрики и для предупреждения коллизий при укрупнении.

Материалы и методы. При изготавлении металлических конструкций применялись следующие неразрушающие методы качества: визуально-измерительный, ультразвуковой контроль и метод капиллярной (цветной) дефектоскопии. Сечения элементов башни – круглые электросварные прямозовные трубы С355 (ГОСТ 27772-2021) различных диаметров, приварные фланцы из толстолистовой стали С390 (ГОСТ 27772-2021), монтажные узлы на болтовых соединениях.

Результаты. Проведение в процессе НТС изготовления и монтажа мониторинга башни, поддерживающей стальные строительные конструкции элементов газоочистки на металлургическом заводе ЕВРАЗ, обеспечивает механическую безопасность сооружения путем контроля напряжений в наиболее нагруженных элементах конструкций, а также путем анализа их перемещений и деформаций.

Ключевые слова: сталь, стальная конструкция, газоочистка аглофабрики, несущая способность, перемещения, деформации, жесткость, стержень

Для цитирования: Гуров С.В., Глазунов О.В., Кондрашов Д.В., Коняшин Д.Ю., Фарфель М.И. Научно-техническое сопровождение строительства вытяжной башни газоочистки. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2025;47(4):7-17. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-7-17](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-7-17)

Вклад авторов

Все авторы внесли равнозначный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование выполнялось за счет Заказчика – ЕВРАЗ ЗСМК.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 20.08.2025

Поступила после рецензирования 27.09.2025

Принята к публикации 02.10.2025

SCIENTIFIC AND TECHNICAL SUPPORT FOR THE CONSTRUCTION OF A GAS CLEANING EXTRACTION TOWER

S.V. GUROV^{1,*}

O.V. GLAZUNOV¹

D.V. KONDRAZHOV¹

D.Yu. KONYASHIN¹

M.I. FARFEL^{1,2}, Cand. Sci. (Engineering)

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

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

Abstract

Introduction. The article presents data on scientific and technical support (STS) for the manufacture and installation of the above-ground part of a 150 m high extraction tower, which is a supporting structure for gas cleaning at a sintering plant in Novokuznetsk. STS and monitoring were carried out by employees of the Research Institute of Building Constructions named after V.A. Kucherenko from January 2024 to May 2025. The most stressed elements of the structure, located at elevations +1.700 and +17.000, were equipped with mechanical strain gauges and devices; their readings provided an overview of the stress state of the entire structure. In addition, geodetic data on the strain state of the structure acquired during construction and provided by the Customer were analyzed.

Aim. To perform scientific and technical support and monitoring using a method developed by the Research Institute of Building Constructions named after V.A. Kucherenko for observing the condition of individual structures and critical components of the tower, supporting structures of the sinter plant gas cleaning system, and for preventing collisions during enlargement.

Materials and methods. Metal structures were manufactured using non-destructive testing methods including visual inspection, ultrasonic testing, and capillary (color) flaw detection. The cross-sections of the tower elements are round electric-welded straight-seam pipes C355 (State Standard 27772-2021) of various diameters, welded flanges made of thick-sheet steel C390 (State Standard 27772-2021), and mounting nodes on bolted joints.

Results. The monitoring of the tower supporting the steel structures of the gas cleaning elements at the EVRAZ metallurgical plant, carried out during the STS manufacturing and installation process, ensures the mechanical safety of the structure by controlling the stresses in the most loaded structural elements and by analyzing their movements and deformations.

Keywords: steel, steel structure, gas cleaning of sinter plant, bearing capacity, movement, strain, rigidity, rod

For citation: Gurov S.V., Glazunov O.V., Kondrashov D.V., Konyashin D.Yu., Farfel M.I. Scientific and technical support for the construction of a gas cleaning extraction tower. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science*

and Research Center of Construction. 2025;47(4):7–17. [In Russian]. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-7-17](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-7-17)

Authors contribution statement

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

Funding

The study was conducted at the expense of the customer EVRAZ ZSMK.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 20.08.2025

Revised 27.09.2025

Accepted 02.10.2025

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 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 методов, требующих проверки на физических моделях.

Башня, поддерживающая конструкции газоочистки аглофабрики в г. Новокузнецке, имеет «повышенный» уровень ответственности сооружения, класс сооружения – КС-3 по классификации ГОСТ 27751-2014 [4], высота по проекту – 160 м. Именно поэтому она относится к уникальным сооружениям, для которых предусмотрена процедура научно-технического сопровождения (НТС) и мониторинга.

Конструктивные особенности башни

Для поддержания конструкций вытяжки газоочистки аглофабрики были запроектированы несущие конструкции башни (высотой 160 м), элементы которой изготавливались и предварительно собирались на Нижнетагильском заводе металлических конструкций (ООО «НТЗМК», г. Нижний Тагил).

Для выполнения проектных указаний при изготовлении металлоконструкций башни в заводских условиях проводился дополнительный выборочный входной контроль, выборочный операционный контроль и контроль качества сварных соединений, выборочный приемочный контроль материалов и элементов конструкции (рис. 1).

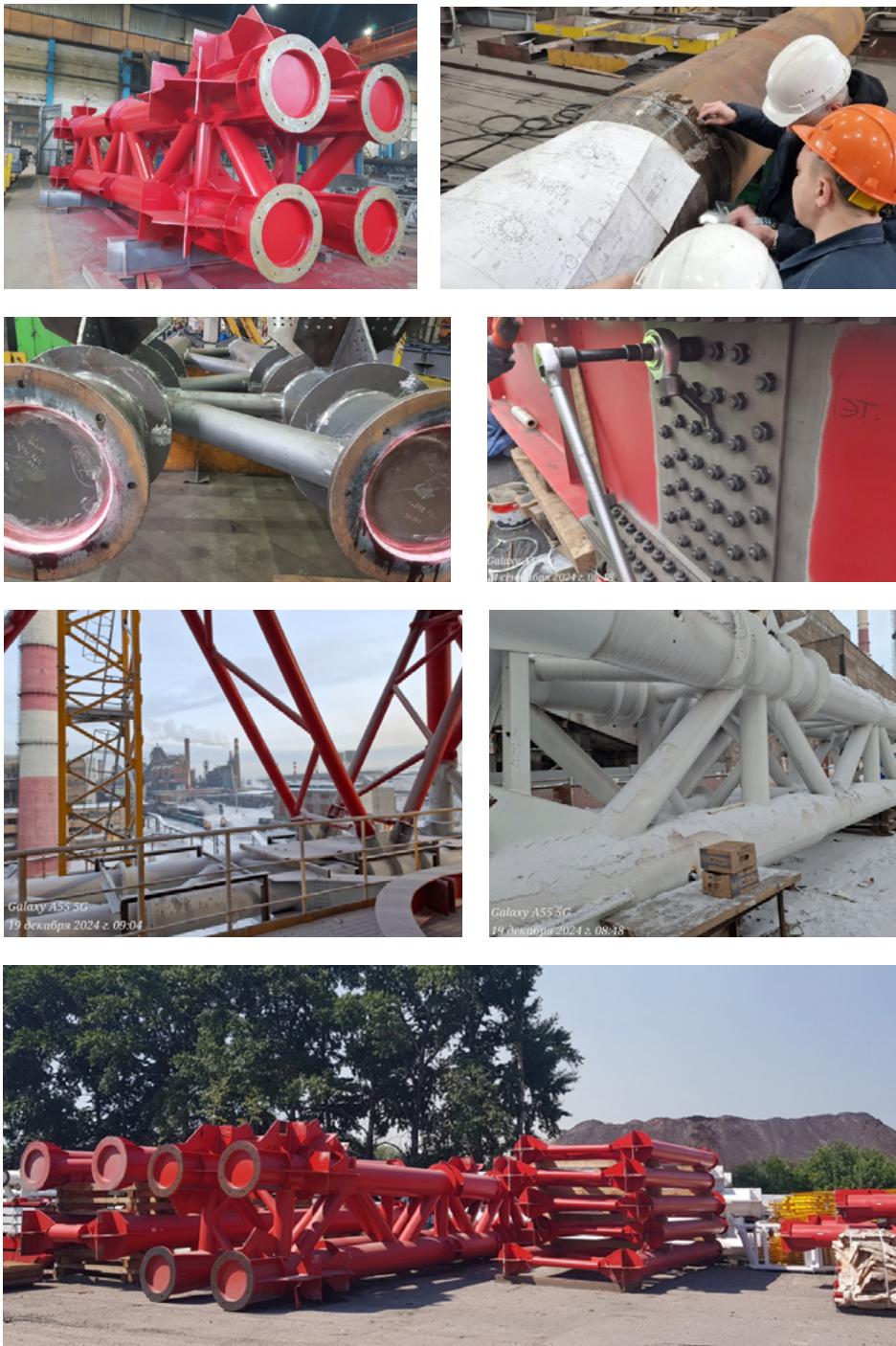


Рис. 1. Операционный неразрушающий контроль сварных соединений, контроль геометрических параметров на заводе ООО «НТЗМК», входной контроль конструкций башни на площадке строительства, контроль болтовых соединений и монтажа конструкций башни

Fig. 1. Operational non-destructive testing of welded joints, inspection of geometric parameters at the NTZMK LLC plant, entrance inspection of tower structures at the construction site, inspection of bolted joints and installation of tower structures

При выборе поставляемого проката, для изготовления элементов конструкций, были проведены консультации по подбору и сплошная проверка сертификатов на материал на соответствие предъявляемым требованиям нормативно-технических документов и проектной документации. Также проведены консультации по выбору сварочных материалов, оборудования и наполнению технологических карт на проведение сварочных и контрольных работ.

На каждую принятую партию проката были дополнительно проконтролированы сортамент и классы прочностей сталей, клейма поставщика проката, бирки на пачках и маркировка на листах и сертификатах качества. Также выборочно проконтролирован прокат на отсутствие видимых расслоений, раковин, трещин, закатов, вмятин и деформаций, превышающих допустимые по нормативно-техническим документам на прокат.

Специалисты ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко совместно с представителями завода-изготовителя и Заказчика проводили контрольную сборку элементов башни при последовательном укрупнении. В ходе контрольной сборки проверялось соответствие изготовленных конструкций требованиям проекта и нормативной документации, величины зазоров во фланцевых соединениях.

При изготовлении металлических конструкций применялись следующие неразрушающие методы качества: визуально-измерительный, ультразвуковой контроль и метод капиллярной (цветной) дефектоскопии (рис. 1).

В 2024 г. в г. Новокузнецке для поддержки конструкции газовой очистки аглофабрики была смонтирована четырехугольная башня с сечением, уменьшающимся к верху, по высоте и по форме напоминающая Эйфелеву башню в Париже. Монтаж конструкций осуществлялся с помощью двух кранов, установленных на отдельных фундаментах.

В ходе НТС башни на строительной площадке специалистами ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко проводились следующие работы:

- выборочный входной контроль конструкций башни;
- выборочный визуальный контроль качества поступающих на стройплощадку материалов и конструкций в объеме 5 % от общего объема контрольных мероприятий;
- участие в укрупнительной контрольной сборке металлоконструкций на площадке завода-изготовителя и строительной площадке, установке, выверке и закреплении металлоконструкций башни;
- разработка рекомендаций по устранению выявленных дефектов в ходе выполнения работ по монтажу металлоконструкций башни;
- оказание научно-технического содействия при решении технических вопросов, возникающих в ходе работ по укрупнению и монтажу стальных строительных конструкций башни;
- участие в работе совещаний и видеоконференций.

Процесс возведения башни показан на рис. 2.



а (a)

б (b)

в (c)

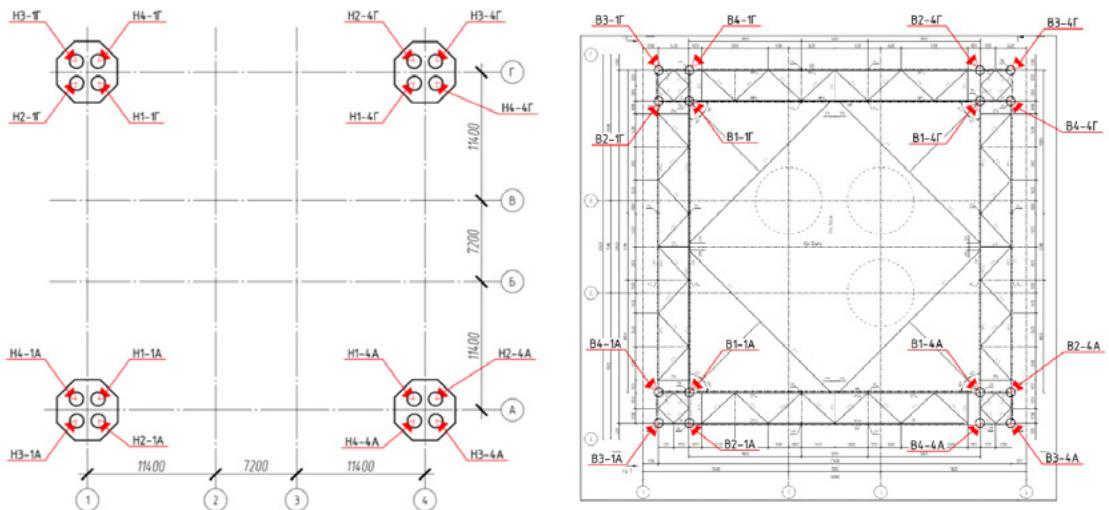
Рис. 2. Монтируемые {а – 19.12.2024; б – 24.04.2025} и окончательно установленные {в – 29.05.2025} конструкции башни, поддерживающие газоочистку аглофабрики

Fig. 2. Structures of the tower supporting gas cleaning at the sintering plant, mounted [a – 19.12.2024; b – 24.04.2025] and finally installed [c – 29.05.2025]

Используемые приборы

Для проведения НТС и мониторинга напряженного состояния конструкций башни на ее опорных стойках были установлены механические тензометры ТМИ-500М с использованием деформометров ИЧ-10 (рис. 3 и 4), разработанные в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко и получившие патенты РФ № 135927, № 220058, № 2808937 (рис. 5). С их помощью по методике, описанной в [5], определялись деформации и напряжения в элементах поддерживающей конструкции газовой очистки на металлургическом заводе ЕВРАЗ в г. Новоокузненске.

Схема мест расположения датчиков определения напряжений, их вид в установленном состоянии и снятии данных представлены на рис. 3. и 6. Установка базы под механические тензометры типа ТМИ со съемными деформометрами и настройка самих приборов показаны на рис. 4, 7, 8. Всего было установлено и настроено 30 датчиков: 16 были установлены на отм. +1,700 м от верха четырех фундаментов и 14 датчиков – на отм. +17,000 м.



a (a)

Рис. 3. а – Общий вид фрагмента башни с местами установки тензометров и типовой узел их фиксации на высоте 1,7 м от отм. ±0,000; б – схема расположения механических тензометров с их условными обозначениями на отм. +17,000

Fig. 3. a – General view of the tower fragment with locations for installing strain gauges and a typical mounting unit at a height of 1.7 m from elevation ±0.000; b – layout of mechanical strain gauges with their designations at elevation +17.000



Рис. 4. Установленное приспособление под механический тензометр перед настройкой
Fig. 4. Fixture installed for mechanical strain gauge before adjustment



Рис. 5. Патенты на приборы, используемые при мониторинге

Fig. 5. Patents for monitoring devices

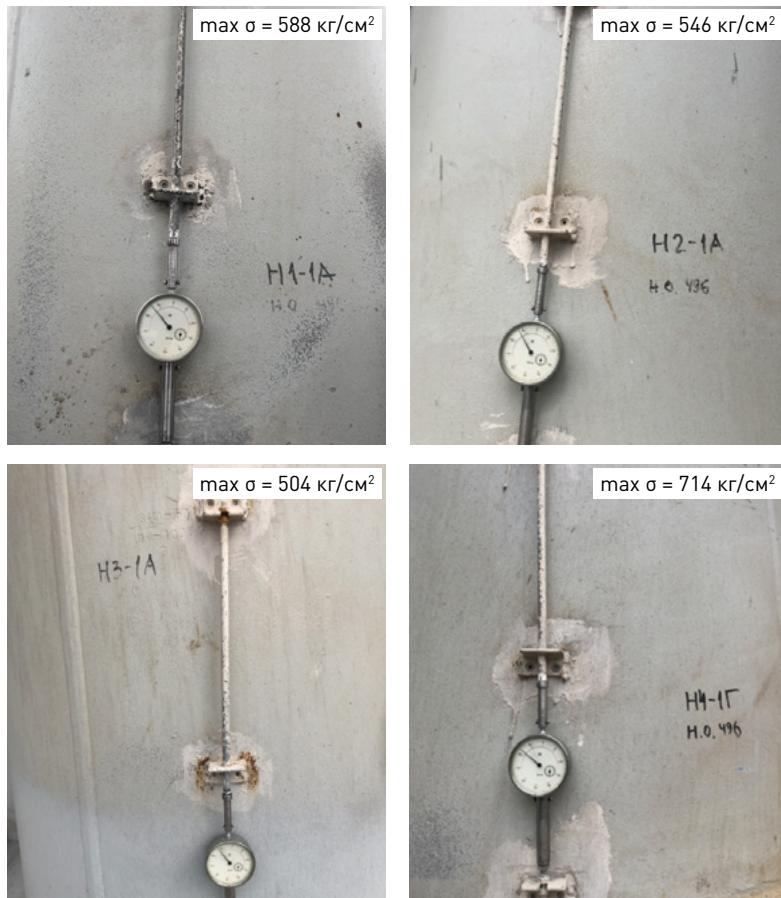


Рис. 6. Внешний вид датчиков и снятие показаний
 Fig. 6. View of gauges and reading of measurements



Рис. 7. Настройка механического тензометра перед измерением на конструкциях башни

Fig. 7. Adjusting the mechanical strain gauge before measurement on tower structures



Рис. 8. Установка тензометров на отм. +1,700 (на высоте 1,7 м от отм. ±0,000) в сечениях 1/А и 1/Г

Fig. 8. Installation of strain gauges at elevation +1.700 (at a height of 1.7 m from elevation ±0.000) in sections 1/A and 1/G



Результаты измерений напряженного состояния

По результатам выполненного мониторинга напряженно-деформированного состояния определено, что уровни напряжений в элементах, смонтированных в проектное положение конструкций, увеличивались равномерно до момента начала работ по забиванию свай на соседнем участке во время проведения строительно-монтажных работ. В дальнейшем подтвердилось, что негативное влияние от динамического воздействия на грунты забиваемых свай в непосредственной близости с опорными железобетонными фундаментами привело к локальному снижению напряжения сжатия в наиболее нагруженных элементах опорных частей башни. При этом величины снижения напряжений сжатия и значения перемещений фундаментов на смонтированные конструкции влияют незначительно.

Анализ периодически представляемых монтажной организацией ООО «Мост» результатов геодезической съемки в процессе укрупнения и монтажа показывал, что зафиксированные фактические величины отклонений от проектных значений не превышали предельных допустимых значений, установленных СП 70.13330.2012 [6].

Качество нанесенных лакокрасочных покрытий по баллу адгезии и толщине сухой пленки соответствует требованиям ГОСТ 23118-2019 [7] и проекта. На поверхностях металлических конструкций были выявлены повреждения нанесенного лакокрасочного покрытия. Повреждения имели локальный характер и устранились на приобъектном участке монтажной организацией. Причиной локального повреждения лакокрасочного покрытия являлись погрузо-разгрузочные работы при транспортировании конструкций. После ремонта участки подвергались контролю.

Выходы

1. Элементы башни испытывали в основном сжимающие напряжения от собственного веса конструкций.
2. Ветровая нагрузка на моменты измерений не оказывала существенного воздействия на несущую способность башни вследствие решетчатой конструкции.
3. Сейсмическая нагрузка на каркас башни на момент измерений не была зафиксирована.
4. Максимальный уровень зафиксированных напряжений в элементах без учета сейсмической нагрузки составил 70 Н/мм².

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=501796>.
3. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ [интернет]. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=475858>.
4. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. Москва: Стандартинформ; 2019.
5. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство». Программа проведения работ по мониторингу конструкций поддерживающих конструкций башен газоочистки аглофабрики высотой 150 м. Москва; 2024.
6. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. Москва: Минрегион России; 2012.
7. ГОСТ 23118-2019. Конструкции стальные строительные. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ; 2020.
8. 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).
9. Егоров М.И., Баранов Д.С. Мониторинг напряженно-деформированного состояния несущих конструкций уникальных сооружений Москвы. Промышленное и гражданское строительство. 2001;(10):14-17.

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=501796>. (In Russian).
3. Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures: Federal Law of December 30, 2009, No. 384-FZ [internet]. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=475858>. (In Russian).
4. State Standard 27751-2014. Reliability for constructions and foundations. General principles. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
5. Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction. Program for monitoring the supporting structures of 150-meter high gas cleaning towers of a sintering plant. Moscow; 2024. (In Russian).
6. 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).
7. State Standard 23118-2019. Building steel structures. General specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2020. (In Russian).

- 8.** *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).
- 9.** *Egorov M.I., Baranov D.S.* Monitoring the Stress-Strain State of Load-Bearing Structures of Unique Moscow Buildings. *Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering.* 2001;(10):14-17. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the author

Сергей Викторович Гуров[✉], заведующий лабораторией прочности проката и соединений, отдел металлических конструкций, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: x25xe@mail.ru

Sergey V. Gurov[✉], Head of the Laboratory for Strength of Rolled Products and Joints, Department of Metal Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Kucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: x25xe@mail.ru

Олег Владимирович Глазунов, заместитель заведующего лабораторией прочности проката и соединений, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: oglazunov71@mail.ru

Oleg V. Glazunov, Deputy Head of the Laboratory for Strength of Rolled Products and Joints, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Kucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: oglazunov71@mail.ru

Дмитрий Владимирович Кондрашов, ведущий научный сотрудник лаборатории расчеты и экспертизы металлических конструкций, отдел металлических конструкций, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: dkondras@mail.ru

Dmitry V. Kondrashov, Leading Researcher, the Laboratory for Calculation and Examination of Metal Structures, Department of Metal Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Kucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: dkondras@mail.ru

Дмитрий Юрьевич Коняшин, старший научный сотрудник лаборатории расчетов и экспертизы металлических конструкций, отдел металлических конструкций, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: dkon10@yandex.ru

Dmitry Yu. Konyashin, Senior Researcher, the Laboratory for Calculation and Examination of Metal Structures, Department of Metal Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Kucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: dkon10@yandex.ru

Михаил Иосифович Фарфель, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории расчетов и экспертизы металлических конструкций, отдел металлических конструкций, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»; доцент кафедры металлических и деревянных конструкций, НИУ МГСУ, Москва
e-mail: farfeli@yandex.ru

Mikhail I. Farfel, Cand. Sci. (Engineering), Leading Researcher, the Laboratory for Calculation and Examination of Metal Structures, Department of Metal Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Kucherenko, JSC Research Center of Construction; Associate Professor, Department of Metal and Wooden Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow
e-mail: farfeli@yandex.ru

[✉] 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

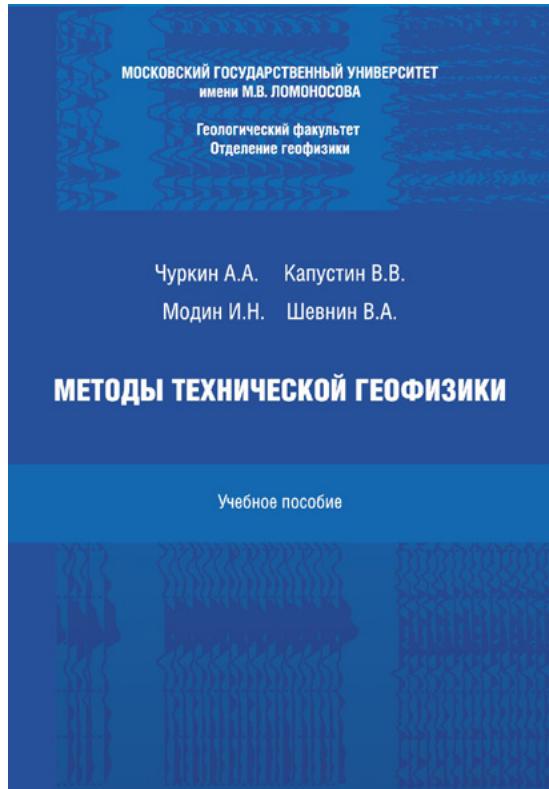
Тер-Мартиросян А.З., д.т.н., проректор, профессор кафедры механики грунтов и геотехники НИУ МГСУ

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



ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПО ПРОЧНОСТИ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ДЕЙСТВИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ И ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ ПО СП 63.13330.2018

С.А. ЗЕНИН^{1,✉}, канд. техн. наук

Т.А. МУХАМЕДИЕВ¹, д-р техн. наук

А.А. СЕМЕНОВ^{1,2}

¹Научно-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

²АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

Аннотация

Введение. В статье рассмотрена методика расчета наклонных сечений на действие поперечных сил с учетом влияния сжимающих продольных сил, приведенная в СП 63.13330.2018. Были проанализированы точный и упрощенные методы определения средних напряжений, а также методика расчета коэффициента, учитывающего влияние продольных сил на прочность наклонных сечений. Также выполнен сравнительный анализ значений данного коэффициента при определении напряжений по упрощенным и точной методикам, показаны отдельные недостатки нормативной методики в области высоких сжимающих напряжений, которые указывают на необходимость проведения дальнейших исследований.

Цель. Рассмотрение особенностей нормативной методики расчета прочности наклонных сечений железобетонных элементов при действии поперечных и продольных сил.

Материалы и методы. Теоретические исследования проведены на основе результатов численного анализа методик расчетов прочности наклонных сечений, изложенных в СП 63.13330.2018.

Результаты. В работе были выполнены численные теоретические исследования по сравнительному анализу методик расчетов, приведенных в нормах, при различном содержании арматуры в железобетонных элементах. По результатам анализа установлено, что при высоких уровнях напряжения, а также высоком содержании арматуры методики норм могут показывать существенные расхождения, что оказывает влияние на корректность оценки прочности наклонных сечений при действии продольных сил. В связи с этим указывается на необходимость проведения исследований по данному вопросу, включая элементы из высокопрочных бетонов.

Выводы. Анализ нормативных методов расчета прочности наклонных сечений с учетом влияния продольных сил показывает, что при высоком уровне обжатия в ряде случаев могут наблюдаться существенные расхождения в оценке прочности наклонных сечений. Учитывая возможность хрупкого разрушения при действии поперечных сил, это показывает необходимость проведения дальнейших исследований данного вопроса, включая конструкции из высокопрочных бетонов, и дальнейшего развития методики расчета наклонных сечений с учетом продольных сил.

Ключевые слова: методика расчета, несущие элементы, железобетон, прочность, поперечные силы, продольные силы, наклонные сечения, напряжения, сжатие, растяжение

Для цитирования: Зенин С.А., Мухамедиев Т.А., Семенов А.А. Особенности методики расчета по прочности наклонных сечений железобетонных конструкций на действие поперечных и продольных сил по СП 63.13330.2018. Вестник НИЦ «Строительство». 2025;47(4):19–32. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-19-32](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-19-32)

Вклад авторов

Зенин С.А. – проведение численных исследований, сравнительный анализ, написание и корректировка статьи.

Мухамедиев Т.А. – анализ методов расчета, корректировка статьи.

Семенов А.А. – проведение численных исследований.

Финансирование

Исследование выполнено за счет собственных средств авторов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 09.07.2025

Поступила после рецензирования 28.08.2025

Принята к публикации 04.09.2025

FEATURES OF CALCULATING THE STRENGTH OF INCLINED SECTIONS FOR REINFORCED CONCRETE STRUCTURES UNDER TRANSVERSE AND LONGITUDINAL FORCES ACCORDING TO SP 63.13330.2018

S.A. ZENIN^{1,✉}, Cand. Sci. (Engineering)

T.A. MUKHAMEDIEV¹, Dr. Sci. (Engineering)

A.A. SEMENOV^{1,2}

¹Research 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

²JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract

Introduction. The article discusses the SP 63.13330.2018 methodology for calculating inclined sections under the action of transverse forces, taking into account the influence of compressive longitudinal forces. The precise and simplified methods for determining average stresses, as well as the method for calculating the coefficient of the longitudinal force effect on the strength of inclined sections are analyzed. Moreover, a comparative analysis of this coefficient determined using simplified and precise methods is carried out. The shown individual shortcomings of the standard method in the area of high compressive stresses indicate the need for further research.

Aim. To consider the features of the standard methodology for calculating the strength of inclined sections for reinforced concrete elements under the action of transverse and longitudinal forces.

Materials and methods. Theoretical studies are carried out based on the results of the numerical analysis of SP 63.13330.2018 methods for calculating the strength of inclined sections.

Results. The present work includes numerical theoretical studies on a comparative analysis of calculation methods given in the standards for different reinforcement contents of concrete elements. The results demonstrate that at high stress levels and reinforcement content, standard methods may show significant

discrepancies affecting the correctness of the strength assessment for inclined sections under longitudinal forces. In this regard, the need for research on this issue, including elements made of high-strength concrete, is indicated.

Conclusions. The performed analysis of standard methods for calculating the strength of inclined sections, taking into account the effect of longitudinal forces, shows that significant discrepancies in the strength of inclined sections can be observed in a number of cases with a high level of compression. The possibility of brittle failure under the action of transverse forces necessitate further research on this issue, including for high-strength concrete structures, and further development of the calculation method for inclined sections taking into account longitudinal forces.

Keywords: calculation method, load-bearing elements, reinforced concrete, strength, transverse forces, longitudinal forces, inclined sections, stress, compression, tension

For citation: Zenin S.A., Mukhamediev T.A., Semenov A.A. Features of calculating the strength of inclined sections for reinforced concrete structures under transverse and longitudinal forces according to SP 63.13330.2018. *Vestnik NIC Stroitel'stvo – Bulletin of Science and Research Center of Construction.* 2025;47(4):19–32. [In Russian]. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-19-32](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-19-32)

Authors contribution statement

Zenin S.A. – conducting numerical studies and comparative analysis, writing and editing the manuscript.

Mukhamediev T.A. – analyzing calculation methods, correcting the manuscript.

Semenov A.A. – conducting numerical studies.

Funding

The study was carried out at the authors' own expense.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 09.07.2025

Revised 28.08.2025

Accepted 04.09.2025

Введение

Как известно, методика расчета наклонного сечения по прочности на совместное действие поперечных и сжимающих сил была откорректирована изменением № 1 к СП 63.13330.2018 [1]. В некоторых случаях у пользователей свода правил применение данной методики вызывает вопросы. С целью разъяснения и развития положений норм ниже приведены отдельные комментарии к уточненной методике свода правил по расчету наклонных сечений при действии сжимающей продольной силы.

Особенности нормативной методики расчета

Оценка наклонных сечений по прочности при действии продольных и поперечных сил, согласно СП 63.13330.2018 [1], зависит от величины сжимающей продольной силы. По результатам проведенных исследований [2, 3] установлено, что с ростом сжимающей силы прочность наклонных сечений возрастает, затем при достижении определенного значения сжимающей силы наблюдается снижение несущей способности наклонного сечения. Данная зависимость отражена в своде правил в виде коэффициента φ_n , значение которого

определяют в зависимости от величины сжимающего напряжения в бетоне σ_{cp} . Таким образом, в качестве базового параметра, характеризующего величину сжимающей продольной силы, в своде правил сейчас рассматривается среднее значение сжимающего напряжения в бетоне по нормальному сечению элемента. Как уже отмечалось в [4], по сравнению с ранее действовавшей методикой, изложенной в СП 63.13330.2012 [5], в действующей редакции СП 63.13330.2018 [1] расчет по прочности наклонных сечений при действии продольных сил выполняют с учетом продольной арматуры. Это обстоятельство учтено при определении среднего значения сжимающего напряжения в нормальном сечении элемента.

Согласно методике СП 63.13330.2018 [1], среднее значение сжимающего напряжения σ_{cp} допускается определять точным и приближенными методами.

Точный метод заключается в расчете нормального сечения по нелинейной деформационной модели с учетом действующих изгибающих моментов и продольной силы с определением среднего сжимающего напряжения в бетоне. При действии как сжимающей, так и растягивающей продольной силы расчет выполняют на центральное приложение продольной силы без учета влияния изгибающих моментов. Имея значение напряжения, в данном случае можно сразу определить значение коэффициента φ_n , исходя из следующих условий:

$$\begin{aligned}\varphi_n &= 1 + \frac{\sigma_{cp}}{R_b} \text{ при } \sigma_{cp} \leq 0,25R_b; \\ \varphi_n &= 1,25 \text{ при } 0,25R_b < \sigma_{cp} \leq 0,5R_b; \\ \varphi_n &= 2,5 \left(1 - \frac{\sigma_{cp}}{R_b}\right) \geq 0 \text{ при } \sigma_{cp} > 0,5R_b.\end{aligned}\quad (1)$$

При действии растягивающей продольной силы значение коэффициента φ_n принимают равным:

$$\varphi_n = 1 - \frac{\sigma_{cp}}{2R_{bt}} \geq 0. \quad (2)$$

В силу того, что в практике встречаются случаи работы элементов преимущественно при действии продольных сжимающих сил, ниже основное внимание будет уделено именно этому случаю.

Очевидно, что при расчете точным методом распределение сжимающих напряжений по сечению учитывает наличие арматуры в сечении. Однако данный метод требует применения специализированных программных средств, поэтому для практического применения в своде правил был также предложен упрощенный метод.

Упрощенный метод определения средних сжимающих напряжений основан на использовании секущего модуля бетона при его деформациях, отвечающих вершине криволинейной диаграммы деформирования бетона, и позволяет учесть наличие продольной арматуры на общих принципах расчета железобетонных элементов.

В этом случае значение сжимающего напряжения определяют по формуле:

$$\sigma_{cp} = \frac{N}{A_{red}}. \quad (3)$$

При определении сжимающего напряжения рассматривают площадь приведенного поперечного сечения элемента A_{red} , которую определяют с учетом арматуры, а также неупругих свойств бетона при сжатии, устанавливаемых на базе криволинейной диаграммы деформирования бетона. На основе этого в своде правил площадь приведенного поперечного сечения элемента A_{red} определяют по формуле:

$$A_{red} = A + \frac{\alpha}{v_b} A_s, \quad (4)$$

где A – площадь поперечного сечения бетона;

A_s – площадь всей продольной арматуры;

v_b – коэффициент упругости бетона при сжатии;

α – коэффициент приведения арматуры к бетону.

Значение коэффициента упругости бетона при сжатии v_b в общем случае определяют по указаниям Приложения Г к СП 63.13330.2018 [1], рассматривая полную диаграмму и вводя в нее расчетные прочностные характеристики бетона.

Однако учитывая, что при определении значения данного коэффициента используется параметр η , характеризующий уровень напряжений (т. е. искомую величину среднего напряжения), то в нормах была предложена упрощенная методика определения коэффициента упругости бетона v_b . Для этого в качестве характерной точки криволинейной диаграммы рассмотрена ее вершина, положение которой характеризуется коэффициентом упругости бетона v_b , определяемом при сжатии по формуле:

$$v_b = \frac{R_b}{\epsilon_{b0} E_b}. \quad (5)$$

При растяжении значение коэффициента упругости бетона v_{bt} принимают равным:

$$v_{bt} = \frac{R_{bt}}{\epsilon_{bt0} E_b}. \quad (6)$$

Также надо отметить, что значения относительных деформаций бетона при сжатии и растяжении ϵ_{b0} и ϵ_{bt0} принимают по пункту 6.1.14 свода правил для непродолжительного действия нагрузки, то есть на данный момент при длительных нагрузках учет влияния продольных сил на прочность наклонных сечений выполняется как при кратковременном действии нагрузок. Влияние длительности действия подлежит дополнительному исследованию.

Отдельно следует отметить, что по СП 63.13330.2018 [1] допускается величину σ_{cp} определять без учета арматуры при содержании продольной арматуры не более 3 %, то есть принимая напряжения равными:

$$\sigma_{cp} = \frac{N}{A}, \quad (7)$$

где A – площадь поперечного сечения элемента.

Очевидно, что все вышеуказанные методики расчета приводят к вариативности значений величины средних сжимающих и растягивающих напряжений и, соответственно, значения коэффициента ϕ_n , учитывающего ее влияние на прочность наклонного сечения.

Для удобства дальнейшего сравнения результатов методик можно их обобщить следующим образом:

- точная методика с определением средних напряжений в сечении расчетом по нелинейной деформационной модели (НДМ, далее – метод 1);
- упрощенная методика с определением среднего напряжения при помощи коэффициента секущего модуля бетона в вершине криволинейной диаграммы деформирования по формулам (4) и (5) (далее – метод 2);
- упрощенная методика с определением среднего напряжения при малом содержании арматуры по формуле (7) (далее – метод 3).

Предложенные методики позволяют выполнять расчеты по желанию пользователя норм с привлечением программных средств либо вручную. Ниже приведены результаты сравнительного анализа нормативных методик при действии сжимающего усилия. При сравнительном анализе вышеуказанных методов за эталонный был принят метод 1 – метод расчета с применением НДМ. Также при сравнении рассматривалось различное содержание арматуры – от 0,1 до 6 %.

Сравнительный анализ метода 1 (НДМ) и метода 2 (с определением коэффициента секущего модуля бетона по вершине криволинейной диаграммы) показал, что отклонения значений средних сжимающих напряжений носят криволинейный характер: при малых уровнях напряжений напряжение по упрощенному методу 2 ниже, чем по НДМ (от 2 % до 1,8 раза в зависимости от содержания арматуры), с ростом уровня обжатия разница нивелируется. Сравнение средних сжимающих напряжений по НДМ и упрощенному методу 3 показывает обратное: с ростом уровня обжатия сечения разница существенно увеличивается, при высоком уровне она может достигать до 2-х раз и более. На рис. 1–3 приведены зависимости для соотношений средних напряжений по упрощенным моделям к напряжениям, полученным по НДМ при различном содержании арматуры.

При сравнении значений напряжений по различным методикам при $N = N_{ult}$ видно, что значение соотношения напряжений по упрощенному методу 2 (по вершине диаграммы) и по НДМ равно единице. Учитывая, что сравнительный анализ значений напряжений в данном случае был выполнен на конкретных примерах с округлением напряжений до десятых долей, а также, что сравнение нулевых значений напряжений между собой математически невозможно, это нашло отражение на графиках на рис. 1–3. Так же при сравнительном анализе методик на рис. 1–3 и ниже учитывалась область применения упрощенной методики 3, то есть при содержании арматуры более 3 % данная методика в анализе не рассматривалась.

Весьма наглядной является вторая упрощенная методика (метод 3), при которой не учитывается влияние продольной арматуры. При малом содержании арматуры (1 % и менее) методика оценивает значения средних напряжений выше (до 20 %), чем по НДМ. С увеличением содержания арматуры до 3–5 % значения средних напряжений по данной методике могут превышать напряжения в бетоне, полученные с применением НДМ, до 2-х раз и выше. Очевидно, что при всей простоте расчета это делает методику весьма осторожной и позволяет использовать ее для быстрой предварительной оценки прочности наклонных сечений с учетом влияния продольных сил.

Указанная особенность по отклонению значений напряжений при упрощенной методике от значений напряжений, полученных при расчете по НДМ, имеет отражение и при определении значения коэффициента φ_n . Как видно из зависимости (1), в своде правил

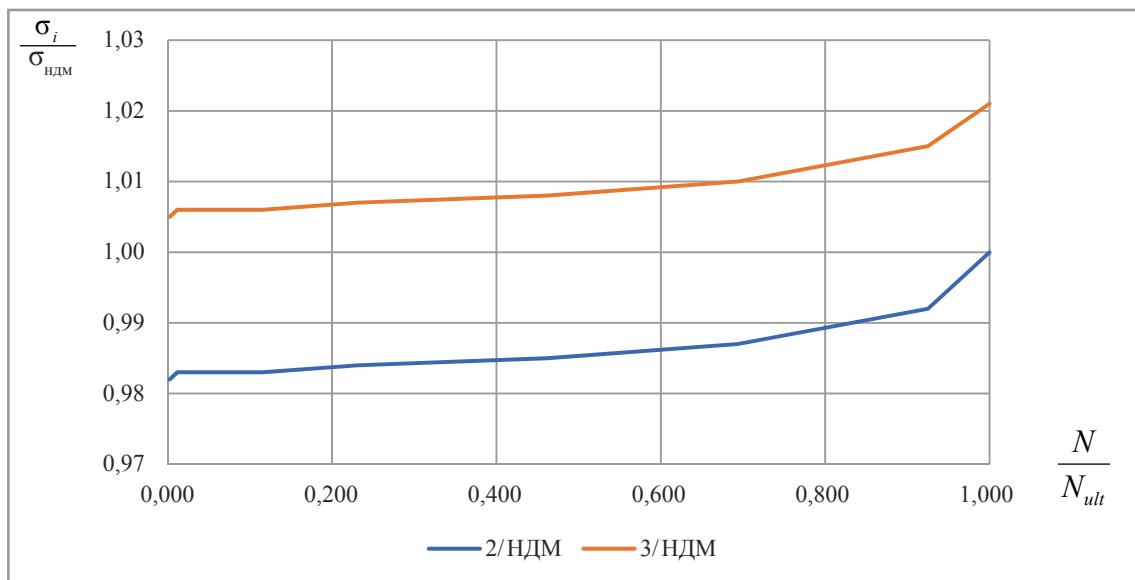


Рис. 1. Соотношение значений средних сжимающих напряжений, определяемых по различным методикам, при содержании арматуры 0,1%: σ_i – напряжения, определяемые по упрощенным методам (методы 2 и 3); $\sigma_{\text{НДМ}}$ – напряжения, определяемые по НДМ

Fig. 1. Ratio of average compressive stresses determined by various methods at a reinforcement content of 0.1%: σ_i – stresses determined by simplified methods 2 and 3; σ_{NSSM} – stresses determined by the Nonlinear Stress-Strain Model

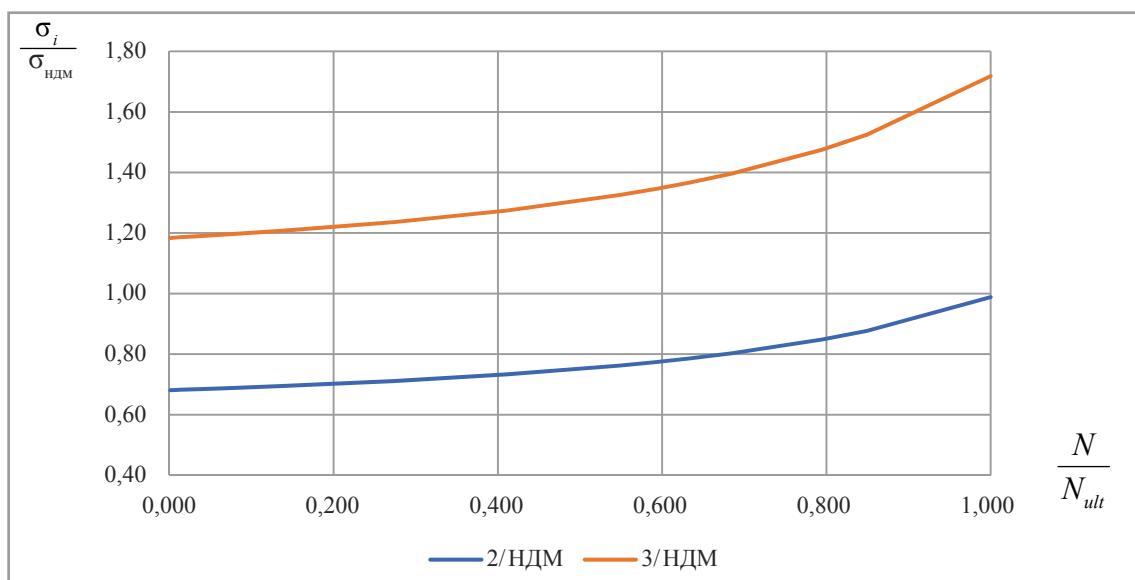


Рис. 2. Соотношение значений средних сжимающих напряжений, определяемых по различным методикам, при содержании арматуры 3%: σ_i – напряжения, определяемые по упрощенным методам (методы 2 и 3); $\sigma_{\text{НДМ}}$ – напряжения, определяемые по НДМ

Fig. 2. Ratio of average compressive stresses determined by various methods at a reinforcement content of 3%: σ_i – stresses determined by simplified methods 2 and 3; σ_{NSSM} – stresses determined by the Nonlinear Stress-Strain Model

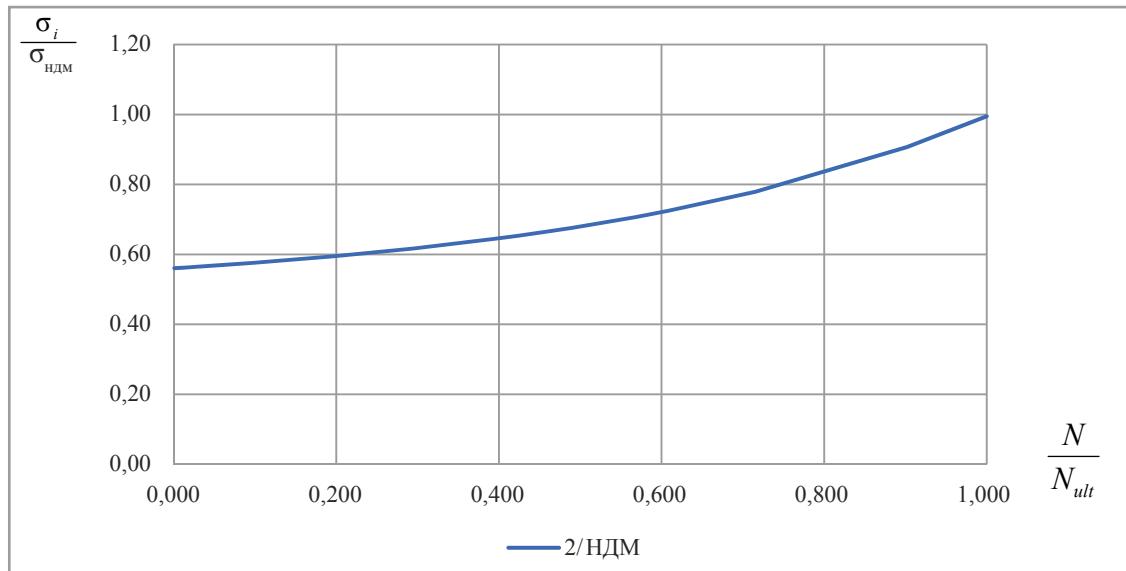


Рис. 3. Соотношение значений средних сжимающих напряжений, определяемых по методу 2, при содержании арматуры 6%: σ_i – напряжения, определяемые по упрощенному методу 2; $\sigma_{\text{НДМ}}$ – напряжения, определяемые по НДМ

Fig. 3. Ratio of average compressive stresses determined by the method 2 at a reinforcement content of 6%:
 σ_i – stresses determined by the simplified method 2; σ_{NSSM} – stresses determined by the Nonlinear Stress-Strain Model

принята трехлинейная диаграмма зависимости несущей способности наклонного сечения, характеризуемого коэффициентом φ_n , от уровня обжатия продольной силой, выраженной через соотношение средних напряжений к прочности бетона (рис. 4). При действии продольных растягивающих сил диаграмма имеет вид линейно падающей функции (рис. 5).

Видно, что диаграмма для коэффициента φ_n при действии сжимающих продольных сил имеет высокую чувствительность на ниспадающей ветви при высоком уровне сжимающих напряжений $\sigma_{cp} > 0,5R_b$. Незначительное отклонение величины среднего напряжения именно в этой области может привести к существенному отклонению в значении коэффициента φ_n . В связи с этим при проектировании конструкций по наклонному сечению с высоким уровнем сжимающих напряжений, отвечающим предельной стадии работы нормального сечения элемента, может возникнуть ситуация, когда значения коэффициента φ_n при определении напряжений в бетоне по НДМ в предельной стадии могут быть существенно ниже, чем при определении напряжений по упрощенной методике 2, когда для оценки напряжений используется вершина криволинейной диаграммы. Надо отметить, что данная ситуация имеет место только для конструкций при содержании арматуры более 1% и при уровне сжимающих напряжений от 70% и выше. Графическое сравнение значений коэффициентов φ_n при действии сжимающих продольных сил, определенных по трем указанным методикам при различном содержании арматуры, приведено на рис. 6–9.

Из приведенных на рис. 6–9 значений коэффициентов φ_n видно, что при малом содержании арматуры в элементах упрощенные методики показывают хорошую сходимость с методикой, основанной на определении средних напряжений по НДМ. С ростом содержания арматуры при малых уровнях нагрузления (до уровня $\sigma_{cp} < 0,5R_b$) расхождение в методиках также несущественно и составляет в среднем около 3%.

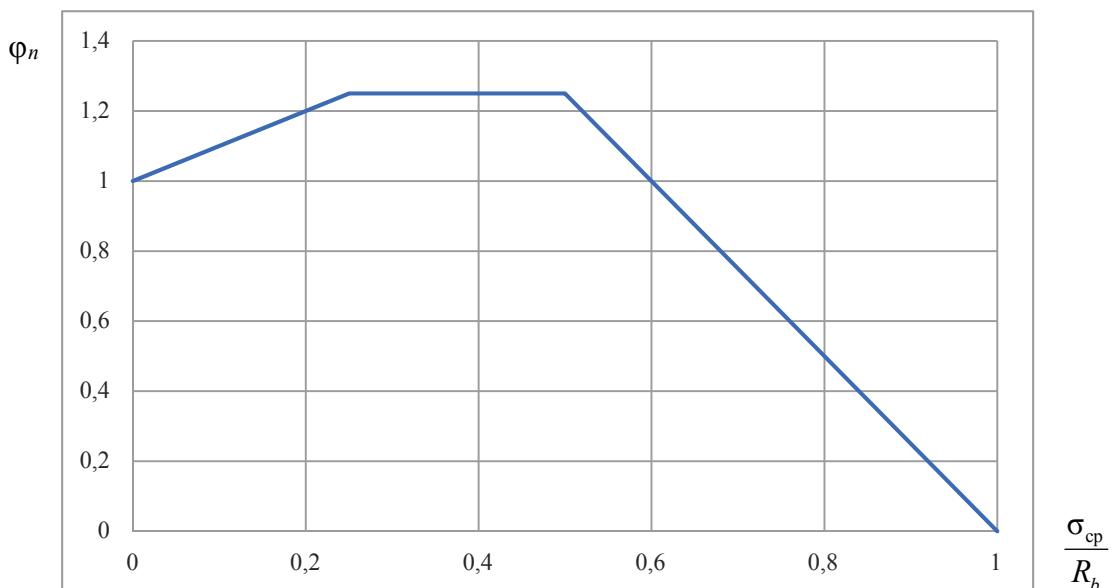


Рис. 4. Нормативная зависимость значения коэффициента Φ_n при действии продольных сжимающих сил от соотношения σ_{cp}/R_b

Fig. 4. Standard dependence of the coefficient Φ_n on the ratio σ_{av}/R_b under the action of longitudinal compressive forces

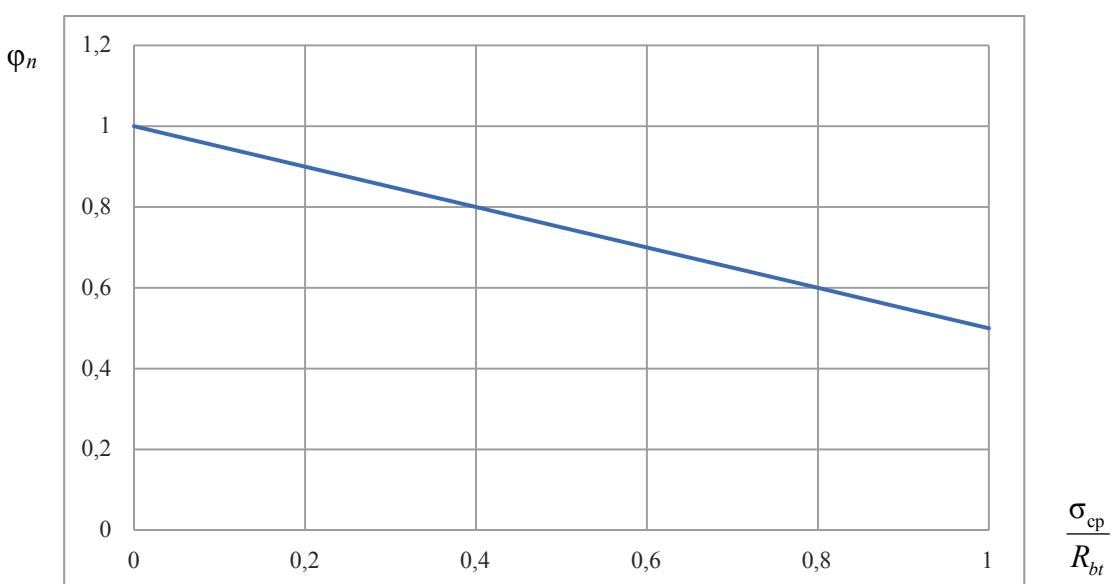


Рис. 5. Нормативная зависимость значения коэффициента Φ_n при действии продольных растягивающих сил от соотношения σ_{cp}/R_{bt}

Fig. 5. Standard dependence of the coefficient Φ_n on the ratio σ_{av}/R_{bt} under the action of longitudinal tensile forces

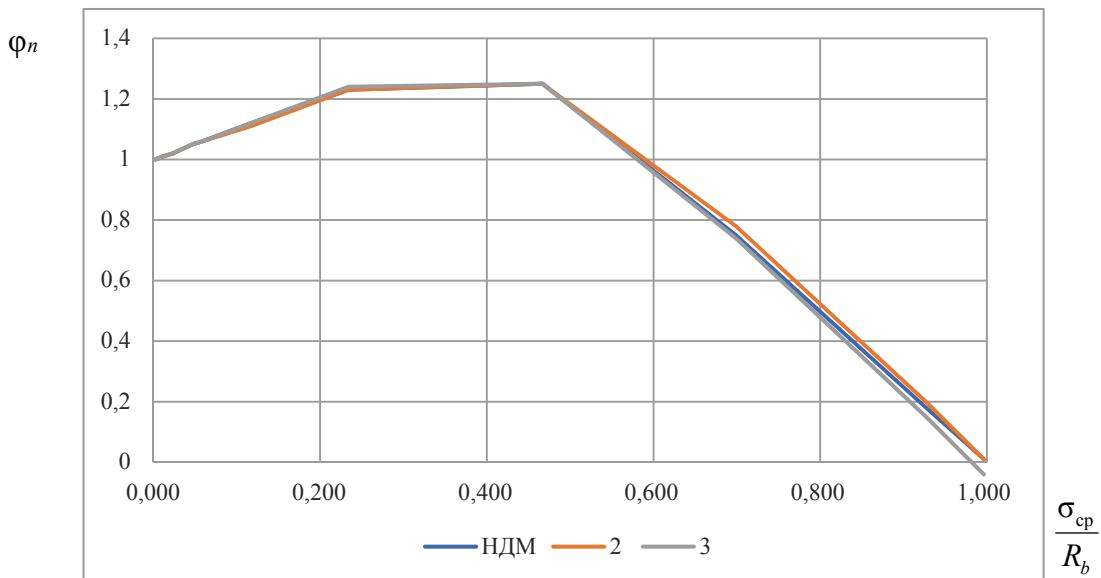


Рис. 6. Значения коэффициентов Φ_n при действии сжимающих продольных сил, определенных по НДМ и упрощенным методикам с учетом продольной арматуры (2) и без нее (3), при содержании арматуры 0,1 %

Fig. 6. Coefficients Φ_n under the action of compressive longitudinal forces: calculation according to the Nonlinear Stress-Strain Model and simplified methods with (2) and without (3) longitudinal reinforcement at a reinforcement content of 0.1 %

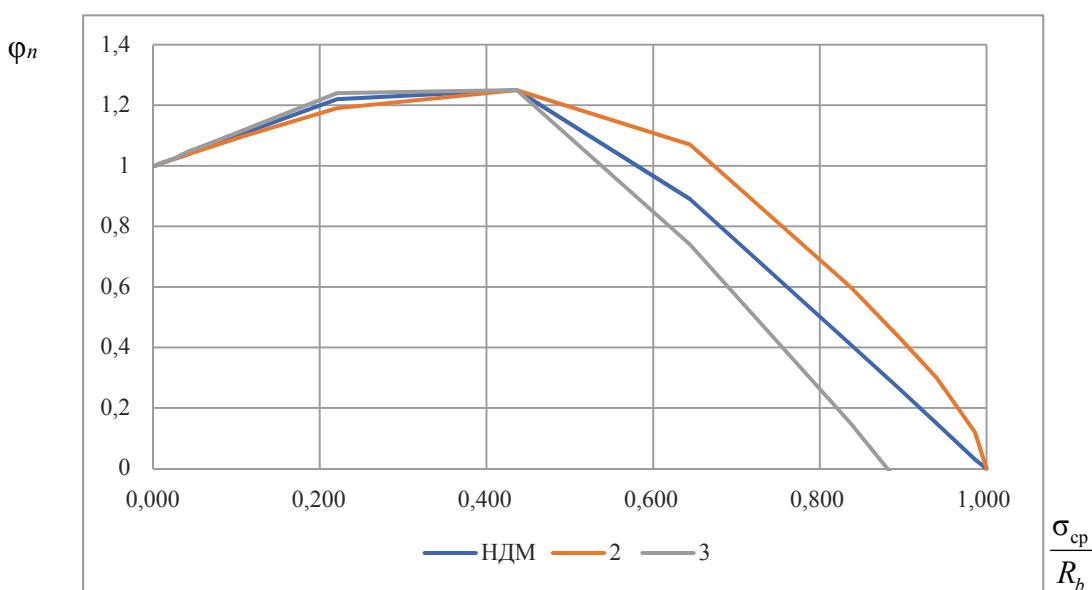


Рис. 7. Значения коэффициентов Φ_n при действии сжимающих продольных сил, определенных по НДМ и упрощенным методикам с учетом продольной арматуры (2) и без нее (3), при содержании арматуры 1 %

Fig. 7. Coefficients Φ_n under the action of compressive longitudinal forces: calculation according to the Nonlinear Stress-Strain Model and simplified methods with (2) and without (3) longitudinal reinforcement at a reinforcement content of 1 %

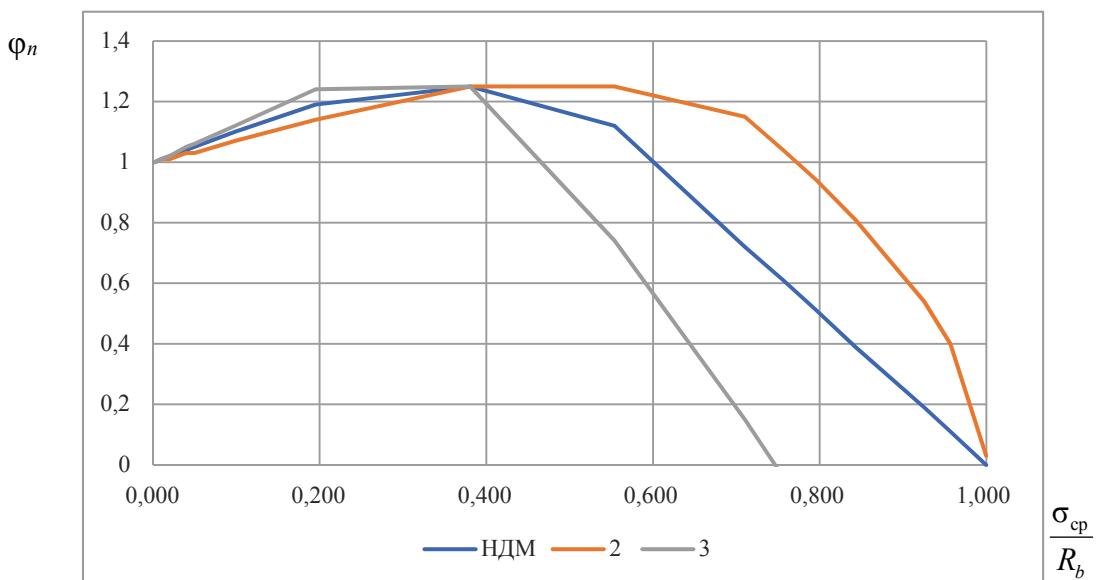


Рис. 8. Значения коэффициентов Φ_n при действии сжимающих продольных сил, определенных по НДМ и упрощенным методикам с учетом продольной арматуры [2] и без нее [3], при содержании арматуры 3%

Fig. 8. Coefficients Φ_n under the action of compressive longitudinal forces: calculation according to the Nonlinear Stress-Strain Model and simplified methods with [2] and without [3] longitudinal reinforcement at a reinforcement content of 3%

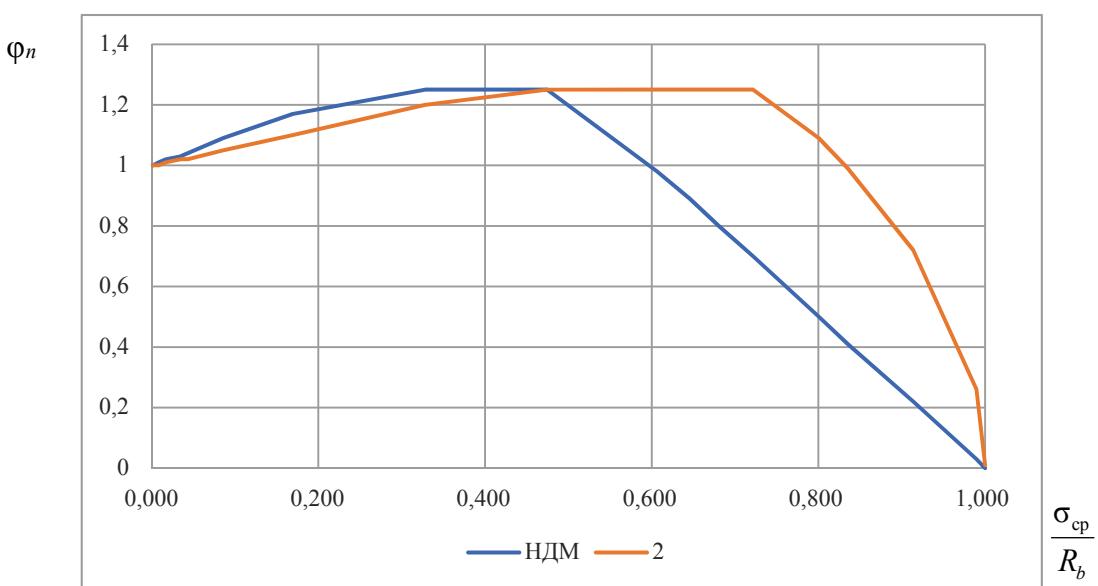


Рис. 9. Значения коэффициентов Φ_n при действии сжимающих продольных сил, определенных по НДМ и упрощенной методике с учетом продольной арматуры [2], при содержании арматуры 6%

Fig. 9. Coefficients Φ_n under the action of compressive longitudinal forces: calculation according to the Nonlinear Stress-Strain Model and simplified method taking into account longitudinal reinforcement [2] at a reinforcement content of 6%

Однако также видно, что с увеличением содержания арматуры (выше 1 %) при высоком уровне сжимающих напряжений значения коэффициентов φ_n , полученные с применением упрощенной методики 2, могут превышать до двух раз соответствующие значения коэффициентов, полученных с применением НДМ. Можно обратить внимание, что эта погрешность существенна при весьма малых абсолютных значениях данного коэффициента, отвечающих высокому уровню обжатия, то есть на стадии, близкой к разрушению элемента по нормальному сечению. Данное обстоятельство требует дополнительной проверки, особенно учитывая хрупкий характер работы, для конструкций из высокопрочных бетонов при действии поперечных сил.

Второй упрощенный метод (метод 3), когда напряжения определяют по формуле (7) без учета продольной арматуры, всегда дает осторожные решения по значениям коэффициента φ_n по сравнению со всеми остальными методиками.

Дополнительно можно отметить, что при определении площади поперечного сечения A отдельные пользователи свода правил также учитывают площадь продольной арматуры A_s , которая замещает часть бетона в сечении, вычитая ее из общей площади поперечного сечения. Анализ показывает, что при использовании упрощенной методики данным обстоятельством можно пренебречь, так как даже при существенном содержании арматуры (порядка 6 %) отклонения в результатах при определении среднего сжимающего напряжения σ_{cp} будут составлять не более 3 %.

Отдельно следует обратить внимание на то, что величина среднего напряжения определяется из оценки напряженно-деформированного состояния нормального сечения. Соответственно, в условиях методики расчета прочности наклонных сечений, когда рассматривают ряд наклонных сечений по длине пролета среза, это приводит к необходимости назначения положения нормального сечения в рамках пролета среза, в котором будет определяться значение среднего напряжения в бетоне, что также может влиять на корректность оценки прочности наклонных сечений с учетом действия продольных сил.

Нельзя не заметить, что в нормах сейчас имеется ситуация, при которой упрощенная методика определения величины сжимающих напряжений с применением коэффициента упругости бетона, определяемого по вершине криволинейной диаграммы (методика 2), показывает приемлемую сходимость для элементов с малым содержанием арматуры (до 1 %) по сравнению с точным определением напряжений по НДМ. Однако с ростом содержания арматуры до 6 % расхождение значений коэффициентов φ_n по точной методике и упрощенной методике 2 увеличивается. Причем одновременно с увеличением армирования наблюдается снижение уровня нагружения, при котором увеличивается это расхождение – от 0,94 при $\mu = 1\%$ до 0,8 при $\mu = 6\%$ соответственно. Графически отклонения значений по упрощенной методике 2 от НДМ при различном содержании армирования приведены на рис. 10.

Выходы

Анализ нормативных методов расчета прочности наклонных сечений с учетом влияния продольных сил показывает, что при использовании отдельных упрощенных методов определения значений средних сжимающих напряжений при высоком уровне обжатия в ряде случаев могут наблюдаться существенные расхождения в оценке прочности наклонных сечений. Учитывая возможность хрупкого разрушения при действии поперечных сил, это

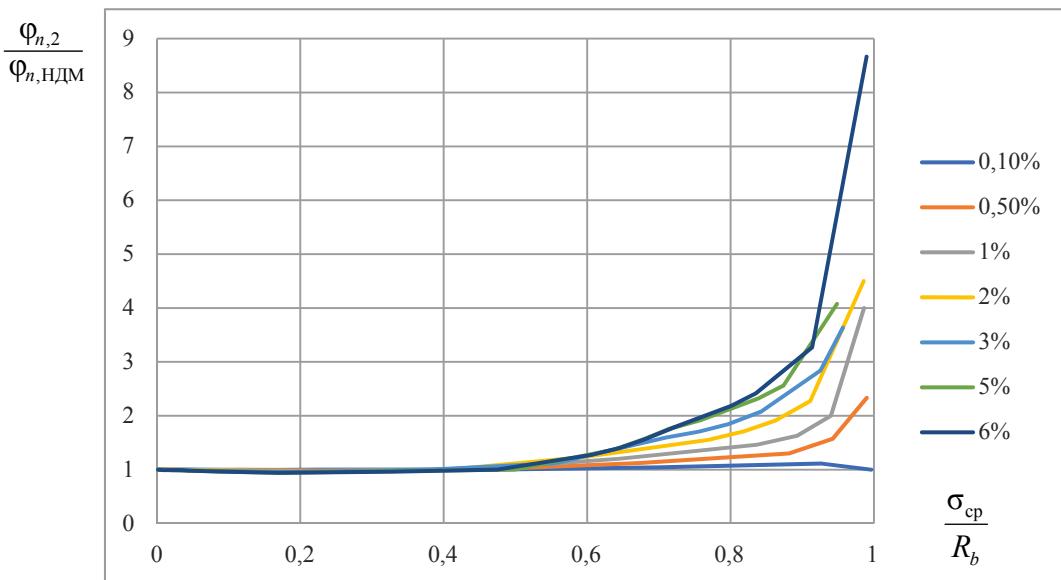


Рис. 10. Отклонения значений коэффициентов ϕ_n при действии сжимающих продольных сил, определенных по НДМ и упрощенной методике с учетом продольной арматуры [2], при различном содержании арматуры

Fig. 10. Deviation of coefficients ϕ_n under the action of compressive longitudinal forces: calculation according to the Nonlinear Stress-Strain Model and simplified method taking into account longitudinal reinforcement (2) at various reinforcement contents

показывает необходимость проведения дальнейших исследований данного вопроса, включая конструкции из высокопрочных бетонов. Соответственно, с целью обеспечения необходимого уровня надежности и конструктивной безопасности железобетонных элементов действующая методика расчета наклонных сечений с учетом продольных сил также требует дальнейшей проработки и совершенствования, в том числе с верификацией опытными исследованиями.

Список литературы

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Москва: Стандартинформ; 2019.
2. Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В. Влияние сжимающих напряжений на прочность наклонных сечений внецентренно сжатых железобетонных элементов. Бетон и железобетон. 2021;603(1):44–51.
3. Мухамедиев Т.А., Зенин С.А. Учет влияния продольных сил при расчете железобетонных конструкций по наклонным сечениям. В: Современные проблемы расчета и проектирования железобетонных конструкций многоэтажных зданий: сб. док. Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию со дня рождения П.Ф. Дроздова. Москва: Московский государственный строительный университет; 2013, с. 170–174.
4. Зенин С.А. К вопросу расчета железобетонных конструкций на действие изгибающих моментов, продольных и поперечных сил по СП 63.13330.2018. Бетон и железобетон. 2023;616(2):50–55. [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2\(616\)-50-55](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2(616)-50-55).
5. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Москва: Минстрой России; 2015.

References

1. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Updated version of SNiP 52-01-2003. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
2. Zenin S.A., Sharipov R.Sh., Kudinov O.V. Effect of compressive stresses on strength of inclined sections of out-of-center compressed reinforced concrete elements. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete.* 2021;603(1):44–51. (In Russian).
3. Mukhamediev T.A., Zenin S.A. Accounting for the Influence of Longitudinal Forces in the Calculation of Reinforced Concrete Structures on Inclined Sections. In: *Modern Problems of Calculation and Design of Reinforced Concrete Structures of Multi-Story Buildings: Collection of Papers from the International Scientific Conference Dedicated to the 100th Anniversary of the Birth of P.F. Drozdova.* Moscow: Moscow State University of Civil Engineering; 2013, pp. 170–174. (In Russian).
4. Zenin S.A. On the issue of calculations of reinforced concrete structures under the action of bending moments, longitudinal and transverse forces according to SP 63.13330.2018. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete.* 2023;616(2):50–55. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2\(616\)-50-55](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2(616)-50-55).
5. SP 63.13330.2012. Concrete and won concrete construction. Design requirements. Updated version of SNiP 52-01-2003. Moscow: Ministry of Construction of Russia; 2015. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Алексеевич Зенин[✉], канд. техн. наук, заведующий лабораторией теории железобетона и конструктивных систем, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: lab01@mail.ru

Sergei A. Zenin[✉], Cand. Sci. (Engineering), Laboratory Head, Laboratory of Reinforced Concrete Structures and Structural Systems, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: lab01@mail.ru

Тахир Абдурахманович Мухамедиев, д-р техн. наук, главный научный сотрудник лаборатории теории железобетона и конструктивных систем, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: takhir50@rambler.ru

Takhir A. Mukhamediev, Dr. Sci. (Engineering), Chief Researcher, Laboratory of Reinforced Concrete Structures and Structural Systems, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: takhir50@rambler.ru

Алексей Александрович Семенов, инженер 2-й категории центра проектирования и экспертизы, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»; аспирант, АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: alexi-1999@mail.ru

Aleksei A. Semenov, 2nd Category Engineer, Design and Examination Center, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow; Postgraduate Student, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: alexi-1999@mail.ru

[✉] Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАЦИЙ ИСТОРИЧЕСКОЙ КЛАДКИ

М.К. ИЩУК[✉], д-р техн. наук
Е.М. ИЩУК

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. Кирпичная кладка исторических зданий имеет ряд особенностей по сравнению с кладкой из современных материалов. Это относится как к прочностным, так и деформационным характеристикам. Неверная оценка деформационных характеристик кладки стен, столбов и т. д. может привести к некорректной оценке величины усилий, перераспределяемых между ними.

Цель. Получение экспериментальных данных по прочности и деформациям кладки из исторического кирпича, в том числе выполненной на известковом растворе; использование полученных результатов для исследования прочности и деформаций кладки, усиленной различными методами [инъекцией раствора, в том числе в сочетании с косвенным армированием, на участках с вычинкой при восстановлении «старой» кладки «новой», совместной работы забутовки и лицевых слоев].

Материалы и методы. Испытывались на сжатие образцы из исторического кирпича в виде столбов и стенок, выполненные на растворах различной прочности, в том числе на известковом растворе. На центральное сжатие равномерно распределенной нагрузкой и на местное сжатие испытывались также образцы, в которых внутренний слой (забутовка) отличался по прочности и деформациям от лицевых слоев.

Результаты. Получены основные прочностные и деформационные характеристики кладки из исторического кирпича, в том числе на известковом растворе. Результаты исследований использованы при разработке нормативных документов по каменным конструкциям и разработке рекомендаций и проектов усиления каменных конструкций исторических зданий.

Выводы. Упругая характеристика кладки, выполненной на известковом и сложном растворах с добавкой извести, оказалась ниже нормативных значений. Получены коэффициенты поперечного расширения кладки (коэффициент Пуассона) при различных уровнях вертикальных напряжений, отсутствовавшие в нормативных документах. Прочность кладки на сжатие существенно превысила приведенные в нормах значения, чему во многом способствует качество выполняемых работ, а также особенности работы кладки из исторического кирпича.

Ключевые слова: историческая кирпичная кладка, известковый раствор, деформационные характеристики кладки, прочность кладки, испытания, центральное сжатие, местное сжатие, коэффициент Пуассона

Для цитирования: Ищук М.К., Ищук Е.М. Исследования прочности и деформаций исторической кладки. Вестник НИЦ «Строительство». 2025;47(4):33–46. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-33-46](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-33-46)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Финансирование выполнено за счет: собственных средств лаборатории – 90 %, федерального бюджета – 10 %.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 01.09.2025

Поступила после рецензирования 17.10.2025

Принята к публикации 23.10.2025

STRESS AND STRAIN STUDIES OF HISTORICAL MASONRY

M.K. ISHCHUK✉, Dr. Sci. (Engineering)

E.M. ISHCHUK

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

Abstract

Introduction. Brick masonry of historical buildings has a number of features compared to masonry made of contemporary materials. This applies to both strength and strain characteristics. Incorrectly assessed strain of masonry walls, pillars, etc. can lead to a faulty estimate of the magnitude of forces redistributed between them.

Aim. To obtain experimental data on the strength and strain of masonry made of historical brick, including that constructed with lime mortar; to use the obtained results for strength and strain studies of masonry reinforced by mortar injection, including in combination with indirect reinforcement, in areas with repairs during the restoration of historical masonry with contemporary one, as well as in locations of combined action of backfill and facing layers.

Materials and methods. Compression tests are carried out on historical brick samples in the form of pillars and walls with mortars of various strengths, including lime mortar. Samples with the inner layer (backfill) different in strength and strain from the facing layers are additionally tested for local compression and central compression with a uniformly distributed load.

Results. The main strength and strain characteristics of masonry made of historical brick, including those with lime mortar, are obtained. The research results are used in the development of regulatory documents on masonry structures, as well as recommendations and projects for strengthening the masonry structures of historical buildings.

Conclusions. The elastic characteristics of masonry with lime and complex lime-admixed mortars are below the standard values. The transverse expansion coefficients of masonry (Poisson's ratio) for various vertical stresses were obtained to be included in regulatory documents. The compressive strength of the masonry significantly exceeds the values specified in the standards, which is largely due to the quality of performed work as well as specifics of historical bricks masonry.

Keywords: historical brick masonry, lime mortar, masonry strain, masonry strength, testing, central compression, local compression, Poisson's ratio

For citation: Ishchuk M.K., Ishchuk E.M. Stress and strain studies of historical masonry. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction.* 2025;47(4):33–46. [In Russian]. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-33-46](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-33-46)

Authors contribution statement

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

Funding

Funding was provided by the laboratory own funds and federal budget for 90 and 10%, respectively.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 01.09.2025

Revised 17.10.2025

Accepted 23.10.2025

Введение

При реконструкции и ремонте зданий с каменными конструкциями важно знать как прочностные характеристики кладки, так и деформационные. Неверная оценка деформационных характеристик кладки стен, столбов и т. д. может привести к некорректной оценке величины усилий, перераспределяемых между ними.

В настоящей работе приводятся результаты испытаний 16 образцов. Из них 9 образцов усиливались после первого этапа испытаний и испытывались вновь. Таким образом, количество испытаний образцов составило 25. Результаты испытаний усиленной кладки инъекцией раствора на втором этапе, в том числе в сочетании с косвенным армированием, приведены в работах авторов [1–4].

Было проведено четыре серии испытаний на центральное сжатие равномерно распределенной нагрузкой и на местное сжатие.

Зависимость прочности кладки от прочности кирпича и раствора

Л.И. Онищуком [5] предложена формула зависимости прочности кладки при одноосном сжатии от прочности кирпича и раствора:

$$R_u = AR_1 \left(1 - \frac{a}{b + R_2 / 2R_1} \right) \gamma, \quad (1)$$

где R_u – предел прочности кладки на сжатие;

R_1 – предел прочности кирпича на сжатие;

R_2 – предел прочности раствора на сжатие;

$a = 0,2$; $b = 0,3$; $m = 1,25$; $n = 3$ – эмпирические коэффициенты, принимаемые по [5].

Коэффициент γ в (2) применяют при определении прочности кладки на растворах марок 25 и ниже.

A – коэффициент, показывающий степень использования в кладке прочности кирпича на сжатие, принимаемый по наименьшему значению, полученному по (2a), (2б), (2в):

$$A = \min \begin{cases} \frac{100 + R_1}{100m + nR_1} \\ \frac{1,2}{1 + \frac{R_1}{3R_{u,b}}} \end{cases}, \quad (2a)$$

$$A = \min \begin{cases} \frac{1,2}{1 + \frac{R_1}{3R_{u,b}}} \\ \frac{2,2}{1 + \frac{R_1}{R_{u,sh}}} \end{cases}, \quad (2\beta)$$

$$A = \min \begin{cases} \frac{2,2}{1 + \frac{R_1}{R_{u,sh}}} \end{cases} \quad (2\gamma)$$

где R_{ub} – предел прочности кирпича при изгибе;

$R_{u,sh}$ – предел прочности кирпича при срезе.

Поскольку между R_{ub} и $R_{u,sh}$ существует корреляционная зависимость, со временем было принято решение отказаться от оценки коэффициента A по формуле (2в). Коэффициент γ в (1) применяют при определении прочности кладки на растворах марок М25 и ниже. В нашем случае для кладки из кирпича $\gamma = 1$.

В работе В.П. Некрасова [6] показано, что при пластичных глиняных и известковых растворах, сглаживающих неровности растворной постели, влияние качества разравнивания раствора в меньшей степени влияет на прочность кирпичной кладки. Для менее пластичных цементных растворов было предложено ввести понижающий коэффициент 0,7.

В работе американского исследователя Л.Б. Лента [7], напротив, показано, что в случае пластичных известковых растворов качество кладки оказывается в большей степени, чем в случае цементно-известковых.

В работах В.А. Камейко, С.А. Семенцова [8] и Л.И. Онищика [9] показано, что качество изготовления кладки, которое можно оценить коэффициентом $k_{\text{рука кам}}$, может изменяться в пределах от 0,9 для малоквалифицированных каменщиков до 1,55. Начиная с 1949 г. в нормативных документах [10, 11] прочность кладки, определенная по формуле Л.И. Онищика, принятая при $k_{\text{рука кам}} = 1$. В работе Л.И. Онищика [12] приведены переводные эмпирические коэффициенты на различные формы и масштабы опытных образцов, которые мы обозначили k_m . Подставив в (1) коэффициенты $k_{\text{рука кам}}$ и k_m , получим видоизмененную формулу Л.И. Онищика:

$$R_u = k_{\text{рука кам}} k_m A R_1 \left(1 - \frac{a}{b + \frac{0,5R_2}{R_1}} \right) \gamma. \quad (3)$$

Следует отметить, что неучет качества изготовления кладки, формы и габаритов образцов является типичной ошибкой при проведении многих экспериментальных исследований. Учет этих факторов следует внести и в ГОСТ [13] по испытанию кладки на сжатие.

1. Серии М1 и М1Иэп-тр

1.1. Материалы и методы экспериментальных исследований

Конструкции и материалы экспериментальных образцов

Образцы серий М1 и М1Иэп-тр имели габариты $0,25 \times 0,38 \times 0,9$ м (рис. 1). Образцы выполнялись из кирпича, отобранного с ЦВЗ «Манеж» (далее – «Манеж»), марки М50 на известковом растворе прочностью на сжатие $R_2 = 0,8$ МПа. При этом предварительно известковое тесто выдерживалось в залитой водой емкости более одного года. На рис. 1 показаны подготовленные к испытаниям образцы серии М1.

Методика проведения испытаний

Образцы испытывались равномерно распределенной нагрузкой на центральное сжатие в гидравлическом прессе (рис. 2). Верхняя плита пресса была оборудована шаровым шарниром, нижняя – заклинена.

Вертикальные и горизонтальные деформации определялись по перемещениям, измеряемым индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм.



Рис. 1. Образцы кладки серии М1
Fig. 1. M1 series masonry samples

Образцы серии М1 испытывались в один этап. Образцы серии М1Иэп-тр, получившие трещины после испытания на первом этапе, усиливались инъекцией. Результаты испытаний усиленных образцов на втором этапе приведены в [2].

1.2. Результаты испытаний образцов кладки серий М1 и М1Иэп-тр

Характер разрушения опытных образцов

Первые трещины появлялись при уровне нагрузки 0,6–0,8 от предельного значения N_u . Трещины были преимущественно вертикальные и проходили по всей высоте образцов. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Прочность кладки

Среднее значение временного сопротивления кладки сжатию R_u у образцов с индексом «с», сложенных первым каменщиком (табл. 1), составило 2,3 МПа, а у образцов с индексом «д», сложенных вторым каменщиком, оно равно 1,9 МПа. При этом оба каменщика работали одновременно и пользовались раствором, замешенным в одной емкости. Таким образом, влияние квалификации каменщика («руки каменщика») составило более 20 %.

Упругие свойства кладки

На рис. 3 приведены зависимости вертикальных деформаций кладки от относительного уровня ее обжатия.

Пределные вертикальные деформации кладки ε_u составили $0,47 \times 10^{-2}$. Горизонтальные предельные деформации $\varepsilon_{r,u}$ оказались существенно выше ($-1,1 \times 10^{-3}$).

Модуль упругости кладки E_0 при уровне нагрузки $N = 0,2N_u$, когда нелинейные деформации еще невелики, составил 636 МПа.

Упругая характеристика кладки α , являющаяся коэффициентом пропорциональности между модулем упругости и временными сопротивлением R_u , равна:

$$A = E_0/R_u = 300. \quad (4)$$

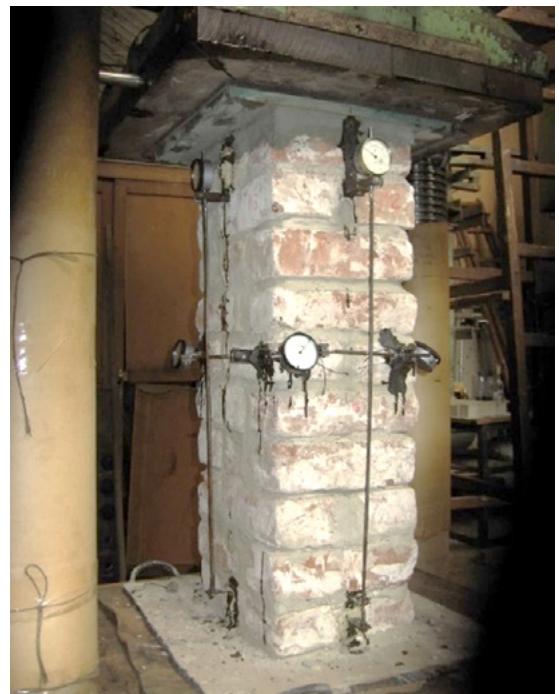


Рис. 2. Образец серии М1 в гидравлическом прессе
Fig. 2. M1 series masonry sample in a hydraulic press

Таблица 1

Результаты испытаний образцов кладки

Results of testing masonry samples

№	Серия	№ образца	N_u , МН	Габариты, м	Масштаб- ный коэф. k_m по [12]	Прочность кладки, R_u , МПа	
						единич- ное	средн.
Образцы из кирпича «Манеж» на известковом растворе							
1	M1	№ 1с	0,245	~0,25 × 0,38	0,91	2,4	2,3
2		№ 2с	0,225			2,2	
3		№ 3с	0,225			2,2	
4		№ 7с	0,243			2,3	
Образцы из кирпича «Манеж» на известковом растворе. После первого этапа усилены инъекциями							
5	M1Иэп-тр	№ 1д	0,184	~0,25 × 0,38	0,91	1,8	1,9
6		№ 2д	0,205			2,0	
Образцы из кирпича «Манеж» испытаны в один этап без усиления							
7	M3	№ 1Ст	0,147	~0,12 × 0,24	0,75	3,8	4,2
8		№ 2Ст	0,191			4,9	
9		№ 3Ст	0,145			3,8	
Образцы из кирпича «Манеж» из комбинированной кладки. После испытания усилены инъекциями							
10	M4-ЦС	№ 1-4д	0,843	~0,38 × 0,51	1,0	4,4	4,0
11		№ 2-5д	0,716			3,7	
12	M5-МС	№ 3-8с	0,343		1,0	–	–
13		№ 4-9с	0,343			–	
Образцы из кирпича БТ. После первого этапа усилены инъекциями							
14	БТ-Иэп-тр	№ 2-1	0,132	~0,42 × 0,57	1,01	0,6	1,0
15		№ 2-2	0,343			1,4	
16		№ 3-2	0,157			0,8	

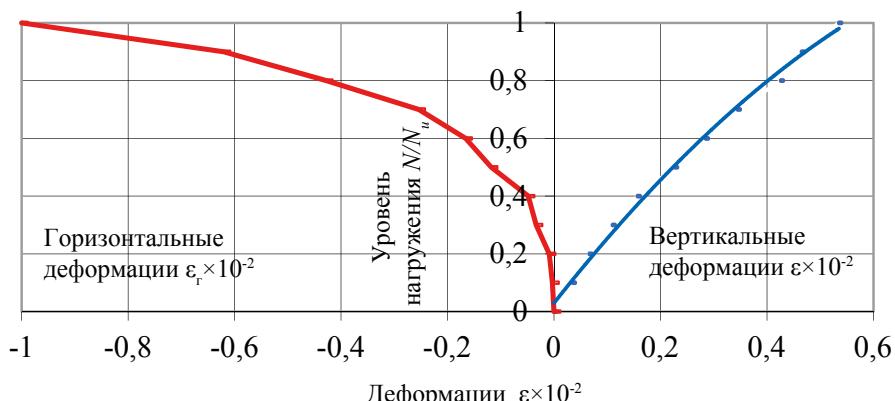


Рис. 3. Образцы серий М1 и М1Иэп-тр. Зависимости вертикальных и горизонтальных деформаций кладки от относительного уровня ее обжатия

Fig. 3. M1 and M1-lep-tr series masonry samples: dependence of vertical and horizontal strain on relative compression

Значения коэффициента поперечного расширения кладки (коэффициента Пуассона) при различных уровнях нагрузки приведены в табл. 2.

Коэффициент Пуассона при различных уровнях нагрузки

Таблица 2

Poisson's ratio at various load levels

Table 2

Уровень нагрузки, N/N_u	Деформации		Коэф. Пуассона, $\nu = \epsilon_r/\epsilon$
	вертик., $\epsilon \times 10^{-2}$	горизонт., $\epsilon_r \times 10^{-2}$	
0,2	0,066	0,009	0,14
0,5	0,227	0,118	0,52
0,8	0,426	0,428	1,00

2. Серия М3

2.1. Материалы и методы экспериментальных исследований

Из кирпича «Манеж» М50 на растворе прочностью на сжатие $R_2 = 6,6$ МПа были изготовлены три образца с габаритами в плане 12×24 см (рис. 4).

Методика проведения испытаний была аналогичной для образцов серии М1.

2.2. Результаты испытаний образцов

Характер разрушения опытных образцов

Первые трещины появлялись при уровне нагрузки 0,7–0,9 от предельного значения N_u . Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Прочность кладки

Прочность кладки R_u , средняя из испытаний трех образцов, с учетом масштабного коэффициента, равного 0,75, составила 4,16 МПа.

Упругие свойства кладки

Предельные деформации составили в среднем для трех образцов $0,47 \times 10^{-2}$. Средний для трех образцов модуль упругости $E_0 = 1188$ МПа, упругая характеристика кладки $\alpha = 286$.



Рис. 4. Образец серии М3 после испытаний на сжатие
Fig. 4. M3 series masonry sample after compression tests

3. Серия БТ-Иэп-тр

3.1. Материалы и методы экспериментальных исследований

Образцы имели габариты в плане $0,38 \times 0,51 \times 1,2$ м и $0,42 \times 0,57 \times 1,2$ м. Отобранный во время реконструкции здания Большого театра кирпич был двух марок: М100 и М50. Кладка велась на растворах низкой прочности 0,2 МПа без добавки извести. Образцы испытывались на центральное сжатие в гидравлическом прессе (рис. 5а).

3.2. Результаты испытаний

На рис. 5б приведена фотография образца после первого этапа испытаний (до усиления). Разрушение происходило в результате образования вертикальных трещин, проходящих по кирпичу и вертикальным растворным швам. Первые трещины у образцов из кирпича М100 появлялись при уровне нагрузки, равном 0,1–0,3 от предельного значения N_u . Трещины развивались равномерно по всей высоте образца, разделяя его на отдельные вертикальные столбики. Среднее значение временного сопротивления кладки из кирпича марки М100 составило 1,0 МПа, а из кирпича М50 – 0,8 МПа.

Пределные деформации кладки из кирпича М100 составили $3,2 \times 10^{-3} - 4,5 \times 10^{-3}$ и из кирпича М50 $2,5 \times 10^{-3}$. На рис. 6 приведен средний для трех образцов график зависимости вертикальных деформаций кладки от относительного уровня ее обжатия. Упругая характеристика кладки α составила 818.

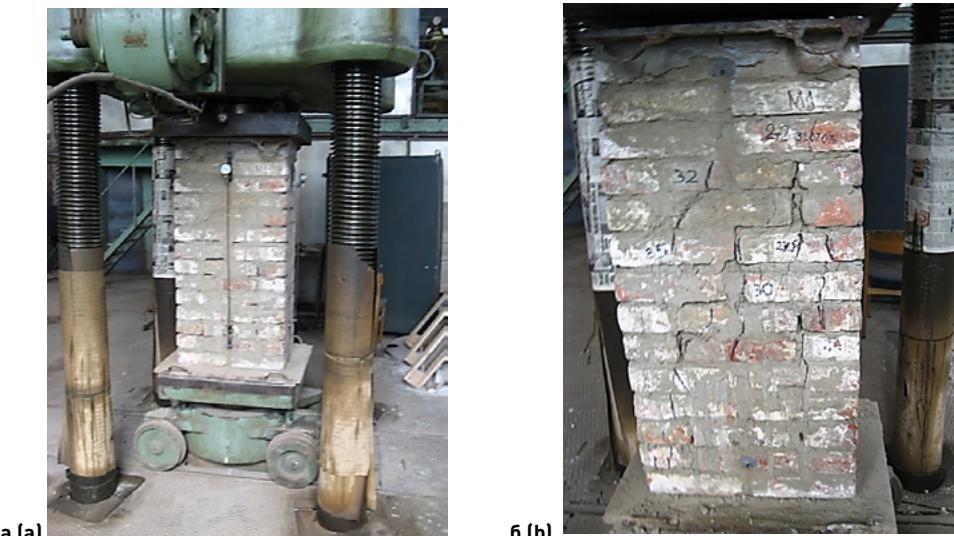


Рис. 5. Образец серии БТ-Иэп-тр: а – в процессе испытания; б – после испытания
Fig. 5. BT-Iep-tr series masonry sample: a – during testing; b – after testing

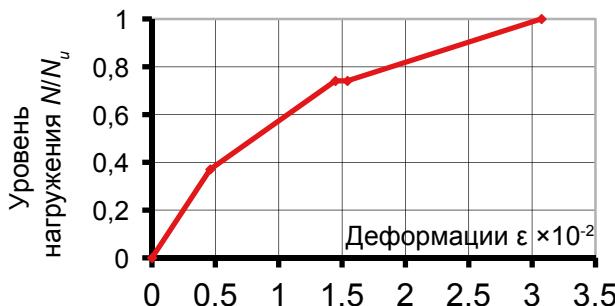


Рис. 6. Образцы серии БТ-Иэп-тр. Зависимость вертикальных деформаций кладки от относительного уровня ее обжатия

Fig. 6. BT-lep-tr series masonry samples: dependence of vertical and horizontal strain on relative compression

4. Образцы серий М4-ЦС и М5-МС

4.1. Материалы и методы экспериментальных исследований

Конструкции и материалы экспериментальных образцов

Образцы выкладывались из кирпича «Манеж» марки М50. Забутовка (внутренний слой кладки), обычно имеющая меньшую прочность по сравнению с лицевыми слоями, по свойствам была идентична образцам серии М1, выкладывалась на растворе прочностью 0,8 МПа и имела сечение в плане $0,25 \times 0,38$ м. Лицевые слои по свойствам были идентичны образцам серии М3, выкладывались на растворе прочностью 6,6 МПа и имели толщину по 0,12 м (рис. 7).

Перевязка забутовки и лицевых слоев осуществлялась через пять рядов кладки (рис. 8). Габариты образцов в плане составили $0,38 \times 0,50$ м, высота – четырнадцать рядов кладки (1,2 м).

Образцы обеих серий испытывались в два этапа. Получившие трещины на первом этапе образцы усиливались инъекцией раствора с добавкой гидравлической извести и косвенным армированием. В настоящей статье приведены результаты испытаний образцов на первом этапе.

Образцы серии М4-ЦС испытывались равномерно распределенной нагрузкой. Индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм измерялись вертикальные перемещения. Образцы серии М5-МС были испытаны на местное сжатие с передачей нагрузки через стальную

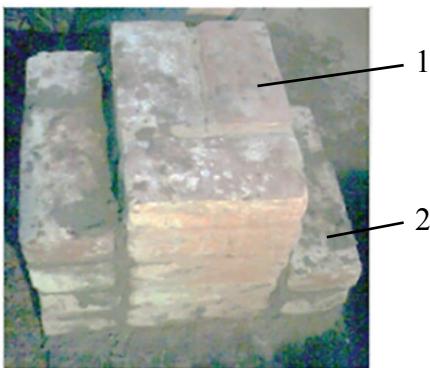


Рис. 7. Изготовление образца серии М4-ЦС:
1 – забутовка; 2 – лицевой слой

Fig. 7. Manufacturing of a M4-TsS series masonry sample: 1 – backfill; 2 – facing layer

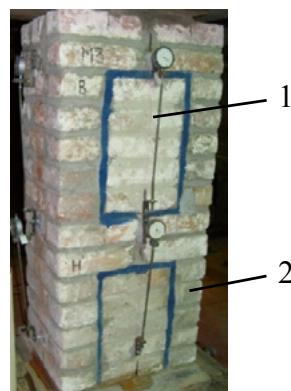


Рис. 8. Образец серии М4-ЦС: 1 – забутовка;
2 – лицевой слой

Fig. 8. M4-TsS series masonry sample: 1 – backfill;
2 – facing layer



Рис. 9. Образец серии М4-ЦС после испытаний на сжатие равномерно распределенной нагрузкой
Fig. 9. M4-TsS series masonry sample after compression tests with a uniformly distributed load

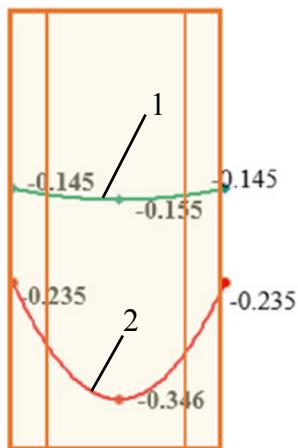


Рис. 10. Эпюры вертикальных деформаций $\epsilon \times 10^{-2}$ в средней по высоте части образца № 1-4д серии М4-ЦС при уровнях нагрузки: 1 – $N = 0,5N_u$; 2 – $N = 0,8N_u$

Fig. 10. Diagrams of vertical strain $\epsilon \times 10^{-2}$ in the middle height part of the M4-TsS series sample No. 1-4d at various load levels: 1 – $N = 0.5N_u$; 2 – $N = 0.8N_u$

тических растворных швах по оси приложения усилия и по границам забутовки в верхней части образца. При уровне усилия $0,86N_u$ произошло практически полное отделение лицевых слоев от забутовки, за исключением нижней части образца. Таким образом, по мере роста нагрузки происходило выключение из работы кладки лицевых слоев вследствие их отделения

плиту шириной 25 см, уложенную по оси симметрии образца. Индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм измерялись вертикальные перемещения в двух уровнях по высоте образцов.

4.2. Результаты испытаний образцов серии М4-ЦС (первый этап)

Характер разрушения опытных образцов серии М4-ЦС

Первые трещины появились на широких гранях по вертикальным швам между забутовкой и лицевыми слоями, а также по вертикальному шву между перевязочными кирпичами в двух верхних рядах кладки при уровне нагрузки 40–50 % от предельного значения. При уровне нагрузки 60–70 % от предельной появились трещины в лицевых слоях. Разрушение происходило в результате образования по всем граням вертикальных трещин (рис. 9).

Прочностные характеристики кладки образцов серии М4-ЦС

Средняя величина предельного вертикального усилия N_u составила 0,8 МН.

Упругие свойства кладки образцов серии М4-ЦС

На рис. 10 приведены эпюры вертикальных деформаций в образце № 1-4д. С ростом нагрузки деформации кладки забутовки все более превышают деформации лицевых слоев.

4.3. Результаты испытаний образцов серии М5-МС (первый этап)

Характер разрушения опытных образцов серии М5-МС

Первые видимые трещины образовались при уровне вертикального усилия $0,4N_u$ в вер-



а (а)



б (б)

Рис. 11. Образцы серии М5-МС после испытания на местное сжатие: а – № 3-9с; б – № 4-8с

Fig. 11. M5-MS series masonry samples after local compression tests: a – No. 3-9s; b – No. 4-8s

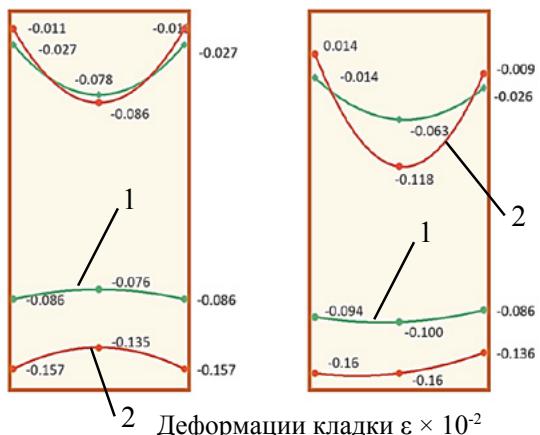


Рис. 12. Эпюры вертикальных деформаций кладки в средней по высоте части образца серии М5-МС: а – № 4-8с; б – № 3-9с при уровне нагрузки;

1 – $N = 0,5N_u$; 2 – $N = 0,8N_u$

Fig. 12. Diagrams of vertical strain in the middle-height part of the M5-MS series masonry sample: a – No. 4-8s; b – No. 3-9s at a load level: 1 – $N = 0,5N_u$; 2 – $N = 0,8N_u$

от забутовки по их границам вертикальными трещинами в верхней части образца (рис. 11). По боковым граням в лицевых слоях в их верхней части произошло раскрытие горизонтальных растворных швов.

Прочностные характеристики кладки

Предельное вертикальное усилие N_u для образцов серии М5-МС на первом этапе испытаний составило 0,34 МН. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Деформации кладки образцов серии М5-МС

После образования трещин между забутовкой и лицевыми слоями деформации кладки лицевых слоев в верхней части образца по боковым граням несколько уменьшились и стали еще более отличаться от деформаций забутовки. В нижней части образца деформации отличались между собой не столь значительно вплоть до разрушения образцов (рис. 12).

5. Анализ результатов исследований

5.1. Сравним несущую способность кладки из исторического кирпича М50 на известковом растворе прочностью $R_2 = 0,8$ МПа серии М1 с несущей способностью кладки из современного керамического кирпича той же марки.

Для кладки из кирпича «Манеж» прочностью на сжатие $R_1 = 6,2$ МПа и изгиб $R_b = 1,4$ МПа конструктивный коэффициент A в (1) принимаем по изгибу (2б) как по наименьшему значению, равному 0,48. Коэффициент γ в (1) принимаем равным 1.

Отсюда прочность кладки по (1) равна:

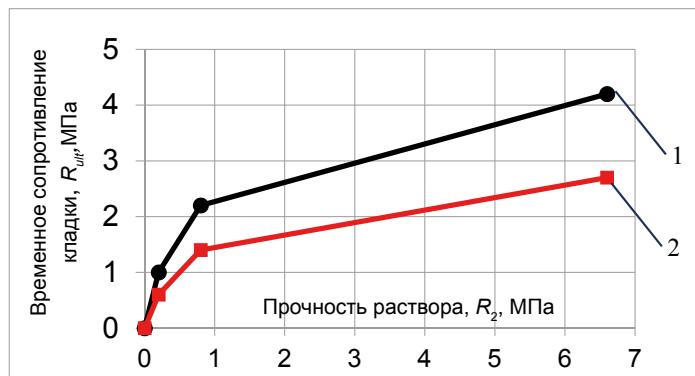


Рис. 13. Зависимости прочности кладки R_u от прочности кладочного раствора R_2 : 1 – кладка из исторического кирпича; 2 – кладка из современного кирпича

Fig. 13. Dependencies of the masonry strength R_u on the strength of the masonry mortar R_2 : 1 – historical brick masonry; 2 – contemporary brick masonry

$$R_u = 0,48 \times 6,2 \left(1 - \frac{0,2}{0,3 + \frac{0,8}{2 \times 6,2}} \right) 1,0 = 1,3 \text{ МПа.}$$

Это значение в 1,7 раза меньше полученного с учетом масштабного коэффициента $k_m = 0,91$ экспериментального значения $R_u = 2,3$ МПа.

Аналогично подсчитаны по (1) значения прочности кладки для образцов серий М3 и БТ-Исп-тр. Для образцов серии М3, выполненной на растворе $R_2 = 6,6$ МПа, экспериментальные значения $R_u = 4,2$ МПа превышают приведенные в нормах также в 1,8 раза. Для образцов серии БТ-Исп-тр, выполненной на растворе $R_2 = 0,2$ МПа, экспериментальные значения $R_u = 1,0$ МПа превышают приведенные в нормах в 1,7 раза, однако в силу ограниченного количества образцов это значение рассматриваем как предварительное.

На рис. 13 показаны графики зависимости прочности кладки R_u из исторического кирпича (кривая 1), полученные из эксперимента, и современного кирпича (кривая 2), подсчитанные по формуле (1), от прочности кладочного раствора R_2 .

Принимая в запас максимально возможную величину коэффициента $k_{\text{рука кам}} = 1,55$, получаем превышение прочности испытанной кладки по отношению к полученной по формуле (3) на 10 %. В этой связи рекомендовано для кладки из исторического кирпича М50 на растворах прочностью М10–М50 ввести повышающий коэффициент 1,1.

5.2. Упругая характеристика кладки $\alpha = 300$ для образцов из кирпича М50 на известковом растворе прочностью $R_2 = 0,8$ МПа и $\alpha = 286$ для образцов из кирпича М50 на растворе цементно-известковом прочностью $R_2 = 6,6$ МПа. Таким образом, для практического применения для испытанной кладки из исторического кирпича на растворах прочностью 0,8–6,6 МПа может быть принято $\alpha = 300$.

5.3. Коэффициент поперечного расширения кладки (коэффициент Пуассона) из исторического кирпича, выполненной на известковом растворе, $\nu = 0,14$ при уровне вертикальных напряжений $\sigma = 0,2R_u$. При уровне напряжений, равном расчетному сопротивлению кладки $R = 0,5R_u$, коэффициент $\nu = 0,52$.

5.4. Упругая характеристика кладки $\alpha = 800$ для образцов из кирпича М50–М100 на слабом жестком растворе без добавок извести прочностью $R_2 = 0,2$ МПа, что может иметь место при выветренном растворе на участках ремонта кладки (например, вокруг оконных и дверных проемов).

5.5. При уровне равномерно распределенной нагрузки до 50 % от предельной была обеспечена совместная работа лицевых слоев с забутовкой. При местном приложении нагрузки отделение лицевых слоев от забутовки началось при уровне нагрузки 40 % от предельной.

5.6. Прочность кладки на сжатие целесообразно считать по видоизмененной формуле Л.И. Онищика (3) с введением в нее коэффициентов, учитывающих качество кладки ($k_{\text{рукам}}$) и влияние габаритов (k_m).

Список литературы

1. Ищук М.К., Фролова И.Г., Ищук Е.М. Усиление каменных конструкций. Промышленное и гражданское строительство. 2006;{8}:28–30.
2. Ищук М.К., Ищук Е.М., Фролова И.Г. Усиление кладки методом инъекции эпоксидной смолы. Промышленное и гражданское строительство. 2013;{4}:48–51.
3. СТО 36554501-010-2008. Усиление кирпичной кладки методом инъекции эпоксидной смолы GLOBALPOX I-10/138/BT. Москва: НИЦ «Строительство», 2008.
4. Ищук М.К., Ищук Е.М., Гогуа О.К. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство». Методические указания по усилению каменной кладки, в том числе исторических зданий, инъекцией раствором [интернет]. Москва; 2019. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293720/4293720336.pdf>.
5. Онищик Л.И. Каменные конструкции. Москва: Стройиздат; 1939.
6. Некрасов В.П. Теория прочности каменных кладок. Москва: Стройиздат; 1947.
7. Лент Л.Б. Кирпич и кирпичная кладка в США: (Исследования и испытания). Москва; Ленинград: ОНТИ. Глав. ред. строит. лит-ры; 1937.
8. Камейко В.А., Семенцов С.А. Состояние и основные направления исследований прочности каменных конструкций. В: Теоретические и экспериментальные исследования каменных конструкций: сб. тр. Москва: Стройиздат; 1978, с. 6–45.
9. Онищик Л.И. Пояснительная записка к главе 3. В: Нормы проектирования конструкций: проект. Материалы для урочного положения. 4 ред. Москва: Машстройиздат; 1949, с. 131–152.
10. Глава 3. Нормы проектирования каменных и армокаменных конструкций. В: Нормы проектирования конструкций (проект). Материалы для урочного положения. 4 ред. Москва: Машстройиздат; 1949, с. 37–63.
11. НИТУ 120-55. Нормы и технические условия проектирования каменных и армокаменных конструкций. Киев: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре; 1956.
12. Онищик Л.И. Особенности работы каменных конструкций под нагрузкой в стадии разрушения. В: Исследования по каменным конструкциям: сб. ст. Москва, Ленинград: Стройиздат; 1949, с. 5–44.
13. ГОСТ 32047-2012. Кладка каменная. Метод испытания на сжатие. Изм. №1 [интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200101520>.

References

1. Ishchuk M.K., Frolova I.G., Ishchuk E.M. Strengthening of Masonry Structures. Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering. 2006;{8}:28–30. (In Russian).
2. Ishchuk M.K., Ishchuk E.M., Frolova I.G. Strengthening Masonry by Injecting Epoxy Resin. Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering. 2013;{4}:48–51. (In Russian).
3. STO 36554501-010-2008. Strengthening Brickwork by Injecting Epoxy Resin GLOBALPOX I-10/138/BT. Moscow: SC Research Center of Construction; 2008. (In Russian).

4. *Ishchuk M.K., Ishchuk E.M., Gogua O.K.* Research Institute of Building Constructions named after V.A. Kucherenko, JSC Research Center of Construction. Guidelines for Strengthening Masonry, Including Historic Buildings, by Injecting Mortar [internet]. Moscow; 2019. (In Russian).
5. *Onishchik L.I.* Stone Structures. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1939. (In Russian).
6. *Nekrasov V.P.* Theory of Masonry Strength. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1947. (In Russian).
7. *Lent L.B.* Brick and Brickwork in the USA: (Research and Testing). Moscow; Leningrad: ONTI. Editor-in-Chief of Construction Literature; 1937. (In Russian).
8. *Kameiko V.A., Semenov S.A.* Status and Main Directions of Research on the Strength of Masonry Structures. In: Theoretical and Experimental Studies of Masonry Structures: collection of works. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1978, pp. 6–45. (In Russian).
9. *Onishchik L.I. Explanatory Note to Chapter 3.* In: Structural Design Standards: draft. Materials for the Standard Position. Fourth edition. Moscow: Mashstroyizdat Publ.; 1949, pp. 131–152. (In Russian).
10. Chapter 3. Design Standards for Masonry and Reinforced Masonry Structures. In: Structural Design Standards: draft. Materials for the Standard Position. Fourth edition. Moscow: Mashstroyizdat Publ.; 1949, pp. 37–63. (In Russian).
11. NiTU 120-55. Design Standards and Technical Conditions for Masonry and Reinforced Masonry Structures. Kyiv: State Publishing House of Literature on Construction and Architecture; 1956. (In Russian).
12. *Onishchik L.I.* Performance of Masonry Structures under Load in the Fracture Stage. Research on Masonry Structures: Collection of Articles. Moscow, Leningrad: Stroyizdat Publ.; 1949, pp. 5–44. (In Russian).
13. State Standard 32047-2012. Masonry. Compression Test Method with Amendment No. 1 [internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200101520>. (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Михаил Карпович Ищук[✉], д-р техн. наук, заведующий лабораторией реконструкции уникальных каменных зданий и сооружений, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: kamkon@yandex.ru

Mikhail K. Ishchuk[✉], Dr. Sci. (Engineering), Laboratory Head, Laboratory for the Reconstruction of Unique Stone Buildings and Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Kucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: kamkon@yandex.ru

Евгений Михайлович Ищук, заведующий группой лаборатории реконструкции уникальных каменных зданий и сооружений, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: ruskon@inbox.ru

Evgeny M. Ishchuk, Group Head, Laboratory for the Reconstruction of Unique Stone Buildings and Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Kucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: ruskon@inbox.ru

[✉] Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНСТРУКТИВНОЙ ОГНЕЗАЩИТЫ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛОВАТНЫХ ПЛИТ ПРИ УСКОРЕННОМ КЛИМАТИЧЕСКОМ СТАРЕНИИ

М.А. КОМАРОВА¹, канд. хим. наук
Н.О. МЕЛЬНИКОВ^{1,2,✉}, канд. техн. наук
И.А. ВЛАСКИН^{1,2}
М.В. ШАЛАБИН¹

¹ 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

² Российский химико-технологический университет (РХТУ) им. Д.И. Менделеева, Миусская площадь, д. 9, стр. 1,
г. Москва, 125047, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Эффективность огнезащитных систем для стальных конструкций определяется их способностью сохранять свойства при воздействии внешних факторов, включая климатические нагрузки. Натурные испытания долговечности покрытий требуют длительного времени, поэтому актуальным является применение ускоренных методик старения. В статье рассмотрены особенности экспериментального определения гарантийного или прогнозируемого сроков эксплуатации конструктивного огнезащитного покрытия на основе минераловатных плит для металлических строительных конструкций в зависимости от условий эксплуатации.

Цель. Исследование сохранения эффективности конструктивной огнезащиты на основе минераловатных плит при климатическом старении в условиях эксплуатации УХЛ2 и УХЛ3 по ГОСТ 15150-69 на примере современного покрытия.

Материалы и методы. В работе проведено циклическое искусственное старение образцов конструктивного огнезащитного покрытия на 5, 10, 15, 20 и 25 лет по методике ГОСТ Р 71618-2024 и оценена стойкость к воздействию климатических факторов и сохранность огнезащитных свойств в процессе эксплуатации тремя методами: измерением теплопроводности по ГОСТ 7076-99, термическим анализом по ГОСТ Р 53293-2009 и огнезащитной эффективностью по ГОСТ Р 53295-2009. Для исследования применялись пластины из листовой стали марки 08kp и 08pc по ГОСТ 16523-97 и ГОСТ 9045-93 размером 600 × 600 × 5 мм с нанесенной на них конструктивной системой «ЕТ-МЕТАЛЛ», включающей минераловатные теплоизоляционные плиты «EURO-ЛИТ» толщиной 30 мм и термостойкий клеящий состав «ПЛАЗАС» толщиной 2 мм.

Результаты. Установлено, что огнезащитная эффективность с увеличением количества циклов искусственного старения снижается и составляет 16,7 % в сторону уменьшения от контрольного образца при 125 циклах (25 лет).

Выводы. Прогнозируемый срок эффективной эксплуатации конструктивной системы «ЕТ-МЕТАЛЛ» на открытом воздухе под навесом (УХЛ2) и внутри зданий с естественной вентиляцией (УХЛ3) составляет не менее 25 лет.

Ключевые слова: пожарная безопасность зданий, огнестойкость строительных конструкций, конструктивная огнезащита, минераловатная плита, ускоренное климатическое старение, термический анализ, огнезащитная эффективность, теплопроводность, сохранение огнезащитных свойств

Для цитирования: Комарова М.А., Мельников Н.О., Власкин И.А., Шалабин М.В. Эффективность конструктивной огнезащиты на основе минераловатных плит при ускоренном климатическом старении. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2025;47(4):47–61. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-47-61](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-47-61)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках договорных работ между АО «НИЦ «Строительство» и АО «ТИЗОЛ».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 07.09.2025

Поступила после рецензирования 12.10.2025

Принята к публикации 16.10.2025

EFFICIENCY OF MINERAL WOOL SLABS FOR FIRE PROTECTION OF STRUCTURES UNDER ACCELERATED CLIMATIC AGING

M.A. KOMAROVA¹, Cand. Sci. (Chem.)

N.O. MELNIKOV^{1,2,✉}, Cand. Sci. (Engineering)

I.A. VLASKIN^{1,2}

M.V. SHABALIN¹

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

²Mendeleev University of Chemical Technology, Miusskaya Square, 9, bld. 1, Moscow, 125047, Russian Federation

Abstract

Introduction. The efficiency of fire protection systems for steel structures is determined by their ability to maintain their properties when exposed to external factors, including climatic loads. Natural tests of coating durability require a long time, making accelerated aging methods relevant. The article examines the features of experimental determination of the guaranteed or predicted service life for a structural fire protection based on mineral wool slabs for metal building structures, depending on operating conditions.

Aim. To study the efficiency of structural fire protection based on mineral wool slabs during climatic aging under UKhL2 and UKhL3 operating conditions according to State Standard 15150-69 using the example of a contemporary coating.

Materials and methods. The performed work includes cyclic artificial aging of a structural fire-protective coating for 5, 10, 15, 20, and 25 years according to the methodology of State Standard R 71618-2024. The resistance to climatic factors and maintenance of fire-protective properties during operation are assessed using three methods: measurement of thermal conductivity according to State Standard 7076-99, thermal analysis according to State Standard R 53293-2009, and assessment of fire protection efficiency according to State Standard R 53295-2009. The study uses 600 × 600 × 5 mm sheets of 08kp and 08ps steel according to State Standard 16523-97 and State Standard 9045-93 with applied ET-METALL structural system, including 30 mm EURO-LIT mineral wool thermal insulation slabs and 2 mm PLAZAS heat-resistant adhesive composition.

Results. The fire protection efficiency decreasing with an increase in the number of artificial aging cycles is established 16.7 % lower than the control sample at 125 cycles (25 years).

Conclusions. The predicted service life of the ET-METALL structural system outdoors under a canopy (UKhL2) and inside buildings with natural ventilation (UKhL3) is at least 25 years.

Keywords: fire safety of buildings, fire resistance of building structures, structural fire protection, mineral wool slab, accelerated climatic aging, thermal analysis, fire protection efficiency, thermal conductivity, preservation of fire protection properties

For citation: Komarova M.A., Melnikov N.O., Vlaskin I.A., Shalabin M.V. Efficiency of mineral wool slabs for fire protection of structures under accelerated climatic aging. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction.* 2025;47(4):47–61. [In Russian]. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-47-61](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-47-61)

Authors contribution statement

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

Funding

The study was carried out under the contract between the JSC Research Center of Construction and JSC TIZOL.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 07.09.2025

Revised 12.10.2025

Accepted 16.10.2025

Введение

В настоящее время средства конструктивной огнезащиты строительных конструкций находят широкое применение с целью обеспечения нормируемых требований пожарной безопасности зданий и сооружений. Облицовка конструкций такими средствами огнезащиты является наиболее эффективным способом достижения высоких пределов огнестойкости и обладает большей механической прочностью по сравнению с покрытиями на основе красок, которые в последнее время наиболее популярны. К наиболее распространенным сегодня средствам и методам конструктивной огнезащиты относится облицовка различными негорючими и теплоизолирующими материалами, такими как панельные и плитные материалы, в том числе на основе минеральной ваты.

В соответствии с ТР ЕАЭС 043/2017 [1] техническая документация на средства огнезащиты должна содержать сведения о технических характеристиках, определяющих область их применения, способ подготовки поверхности, применяемые материалы и составы, технологию нанесения на защищаемую поверхность, условия сушки, огнезащитную эффективность, методы защиты от климатических воздействий, условия и срок эксплуатации, меры безопасности при проведении работ, а также порядок транспортирования и хранения.

Одним из важнейших параметров, определяющих эффективность применения огнезащитных материалов, является прогнозируемый срок эксплуатации в зависимости от условий службы. Под сроком эксплуатации понимается способность огнезащитной системы сохранять свои свойства при воздействии внешних факторов и обеспечивать заявленные показатели огнестойкости.

На сегодняшний день единственным нормативным документом, дающим методические основы определения сохранения эффективности огнезащитных конструктивных покрытий металлических строительных конструкций при ускоренных климатических испытаниях, является ГОСТ Р 71618-2024 [2], разработанный специалистами НЭБ ПБС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко.

В работах [3, 4] описаны проведенные ранее исследования эффективности вспучивающихся тонкослойных огнезащитных покрытий в процессе ускоренных климатических испытаний. Конструктивные покрытия ранее не были исследованы по данным методикам.

Настоящая работа посвящена исследованию сохранения эффективности конструктивной огнезащиты на основе минераловатных плит при климатическом старении в условиях эксплуатации УХЛ2 и УХЛ3 по ГОСТ 15150-69 [5] на примере современного покрытия.

Объектом исследования является конструктивная огнезащитная система «ЕТ-МЕТАЛЛ» в составе:

- минераловатные теплоизоляционные плиты «EURO-ЛИТ» (ТУ 5762-011-0862-1635-2009 [6]) толщиной 30 мм;
- состав термостойкий клеящий «ПЛАЗАС» (ТУ 23.99.19-013-08621635-2020 [7]) толщиной 2 мм.

В качестве образцов использовались стальные пластины из листовой стали марок 08kp и 08ps по ГОСТ 16523-97 [8] и ГОСТ 9045-93 [9] размером 600 × 600 × 5 мм. Допустимые отклонения по ширине и длине стальной пластины не превышают ±5 мм, а по толщине – ±0,5 мм. Обратная сторона и кромки пластин окрашены шпатлевкой ЭП-0010 по ГОСТ 28379-89 [10], обеспечивающей защиту металлической поверхности в течение всего срока климатических испытаний.

Для проведения испытаний использовались образцы из расчета два образца на каждые пять лет срока службы огнезащитного покрытия и один контрольный, который не подвергался воздействию ускоренных климатических факторов. Таким образом, для проведения 125 циклов ускоренных климатических испытаний, соответствующих 25 годам эксплуатации огнезащитного покрытия, испытывалось 10 образцов и 1 контрольный образец огнезащитной системы.

Материалы и методы

Согласно программе исследований проводилось циклическое искусственное старение образцов, включающее многократное воздействие чередующихся климатических факторов (увлажнение, замораживание, нагрев, охлаждение), что обеспечивает моделирование длительной эксплуатации покрытия.

После завершения циклов старения осуществлялась оценка стойкости огнезащитной системы к воздействию климатических факторов и сохранность ее свойств. Для этого применялись:

- контроль теплопроводности, проводимый в соответствии с разделом 7 ГОСТ 7076-99 [11];
- термический анализ по ГОСТ Р 53293-2009 [12];
- оценка огнезащитной эффективности по ГОСТ Р 53295-2009 [13].

Искусственное старение проводили в климатической камере ТН-225 С (заводской номер LP 202209TH008) в эквиваленте сроков эксплуатации 5, 10, 15, 20 и 25 лет. На рис. 1 представлен внешний вид образцов в климатической камере перед началом испытаний.

Согласно ГОСТ Р 71618-2024 [2] (Приложение А, Таблица А.2), режим испытаний, последовательность перемещения и время выдержки образцов в аппаратах в одном цикле для условий эксплуатации УХЛ2 и УХЛ3 представлены в табл. 1.

После каждого цикла испытаний проводили визуальную оценку повреждений огнезащитной системы и оценивали изменение цвета, появление трещин, сколов, отслоение материала.

С целью уточнения фактических теплотехнических характеристик материала, применяемого в составе конструктивной системы, проводили измерение коэффициента теплопроводности минераловатной плиты. Несмотря на наличие паспортных данных, представленных производителем, реальные значения теплопроводности могут существенно зависеть от условий хранения и эксплуатации, а также от влажности, плотности и технологических особенностей производства.

Определение теплопроводности выполнялось в соответствии с требованиями ГОСТ 7076-99 [11] с использованием стационарного прибора ИТП-МГ4 «250», реализующего метод плоской одноосной теплопередачи в установившемся режиме. Принцип работы установки основан на передаче теплового потока от нагреваемой пластины через образец к охлаждаемой поверхности, при этом регистрируется величина теплового потока и разность температуры на границах контакта.

Перед проведением измерений минераловатная плита выдерживалась в климатической камере в течение 72 часов для стабилизации влажности и температуры. Для испытаний подготавливали образцы размером 100×100 мм и толщиной 10 мм.

Поверхности образца были выровнены, а отклонения от параллельности не превышали 1 мм, что обеспечивало корректность соприкосновения с измерительными пластинами. Приборная схема предусматривала размещение образца между нагревательной и охлаждающей пластинами с обеспечением плотного контакта. Температура нагревательной пластины поддерживалась в пределах 35–40 °C, а охлаждающей – около 20 °C, создавая необходимый температурный градиент в направлении теплового потока. Внешний вид образца в приборе перед измерением теплопроводности представлен на рис. 2.

Измерение проводилось после выхода системы на установившийся тепловой режим, что подтверждалось стабилизацией температурных показателей и величины теплового потока в течение не менее 60 минут.

Оценку сохранности огнезащитных свойств методами термического анализа, подготовку образцов и проведение испытаний выполняли согласно ГОСТ Р 53293-2009 [12].

Для получения идентификационных характеристик образцов применяли автоматизированный прибор термического анализа, имеющий программное обеспечение для обработки результатов, термоанализатор синхронный модификации STA 449 F5 Jupiter STA, 60486-15, заводской номер STA449F5B-0328-M.

Условия проведения термического анализа представлены в табл. 2.



Рис. 1. Образцы в климатической камере

TH-225 С перед началом испытаний

Fig. 1. Samples in the TN-225 S climatic chamber before testing

Таблица 1

Режим испытаний, последовательность перемещения и время выдержки образцов в аппаратах

Table 1

Test mode, movement sequence, and holding time of samples in the chambers

Испытание	Режимы испытания		Время выдержки, мин
	температура, °C	относительная влажность, %	
1. Выдержка	70 ± 2	20 ± 3	150
2. Понижение температуры	30 ± 2	97 ± 3	20
3. Орошение образца водой с расходом 1 л/м ²	30 ± 2	97 ± 3	50
4. Понижение температуры и влажности	5 ± 2	80 ± 3	20
5. Выдержка	5 ± 2	80 ± 3	50
6. Понижение температуры	Минус (20 ± 2)	Не нормируется	50
7. Выдержка	Минус (20 ± 2)	Не нормируется	250
8. Повышение температуры	10 ± 2	Не нормируется	20
9. Выдержка	10 ± 2	Не нормируется	50
10. Повышение температуры	70 ± 2	20 ± 3	30
11. Выдержка	70 ± 2	20 ± 3	90
12. Понижение температуры и повышение влажности	30 ± 2	70 ± 3	20
13. Выдержка	30 ± 2	70 ± 3	50
14. Понижение температуры	10 ± 2	70 ± 3	20
15. Выдержка	10 ± 2	70 ± 3	50
16. Понижение температуры	Минус (10 ± 2)	Не нормируется	50
17. Выдержка	5 ± 2	97 ± 3	50
18. Повышение температуры	Минус (20 ± 2)	Не нормируется	30
19. Выдержка	Минус (20 ± 2)	Не нормируется	250
20. Повышение температуры	10 ± 2	80 ± 3	20
21. Выдержка	10 ± 2	80 ± 3	50
22. Повышение температуры	70 ± 2	20 ± 3	50
Итого по одному циклу испытаний			1440

По результатам термического анализа определяются следующие значимые идентификационные характеристики:

- потеря массы при температуре 200, 300, 400 и 500 °C (по ТГ-кривым);
- зольный остаток при температуре 1000 °C (по ТГ-кривым);
- температура при потере массы 5, 10, 20, 30 и 50 % (по ТГ-кривым);
- температура максимума скорости потери массы (по ДТГ-кривым);
- максимальная скорость потери массы (по ДТГ-кривым).

По результатам термического анализа проводится оценка сохранности огнезащитных свойств по ряду критерииев. По характеристикам термоаналитических кривых и расчетным данным покрытие сохраняет свои огнезащитные свойства при соблюдении следующих условий: зависимости термогравиметрические (ТГ), термогравиметрические по производной (ДТГ) имеют подобный вид, соответственно совпадает количество интервалов деструкции и совпадает количество пиков ДТГ.

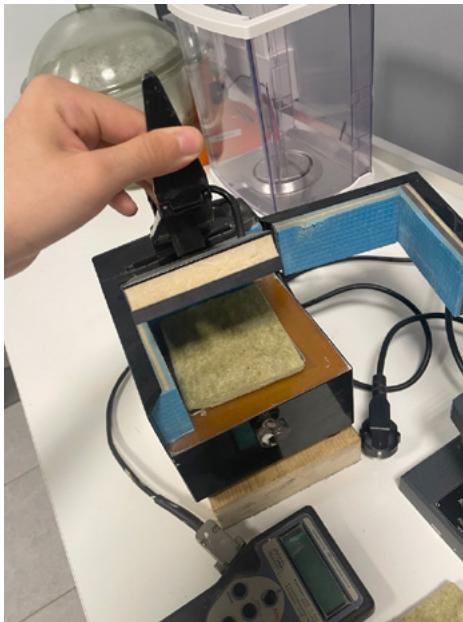


Рис. 2. Измеритель теплопроводности ИТП-МГ4 «250»

Fig. 2. ITP-MG4 250 thermal conductivity meter

Таблица 2
Условия проведения термического анализа

Table 2
Conditions of thermal analysis

Условия испытаний	Используемый метод (модуль)
	ТГ
Термопара (материал)	платина/платино-родий
Тигель (материал, объем)	корунд, 1 см ³
Масса образца, мг	10
Форма образца	порошок
Атмосфера	argon-воздух
Расход газа, мл/мин	30
Скорость нагрева, °C/мин	10
Конечная температура нагрева, °C	1000

Оценка огнезащитной эффективности покрытий проводится по п. 6 ГОСТ Р 53295-2009 [13]. Сущность метода заключается в одностороннем тепловом воздействии на образец и определении времени от начала теплового воздействия на образец до наступления предельного состояния этого образца. Режим теплового воздействия задается в соответствии с ГОСТ 30247.0-94 [14].

В процессе проведения испытаний регистрируются следующие показатели:

- время достижения металлом опытного образца предельного состояния – температуры, равной 500 °C (среднее значение по показаниям трех термопар);
- изменение температуры в печи;
- поведение огнезащитного покрытия (вспучивание, обугливание, отслоение, выделение дыма, продуктов горения и т. д.);
- изменение температуры на необогреваемой поверхности опытного образца.

За положительный результат испытаний принимается время достижения предельного состояния металлом опытного образца после ускоренных климатических испытаний, отличающееся от результатов испытаний образца исходного без старения менее чем на 20 % в сторону уменьшения.

Результаты

Внешний вид системы после ускоренных климатических испытаний представлен на рис. 3–7. Оценку состояния проводят методом визуального осмотра с применением инструментального контроля и тактильной проверки.

Обобщенные результаты ускоренных климатических испытаний приведены в табл. 3.



Рис. 3. Состояние системы покрытия после 25 циклов старения

Fig. 3. Coating system after 25 aging cycles



Рис. 4. Состояние системы покрытия после 50 циклов старения

Fig. 4. Coating system after 50 aging cycles



Рис. 5. Состояние системы покрытия после 75 циклов старения

Fig. 5. Coating system after 75 aging cycles



Рис. 6. Состояние системы покрытия после 100 циклов старения

Fig. 6. Coating system after 100 aging cycles

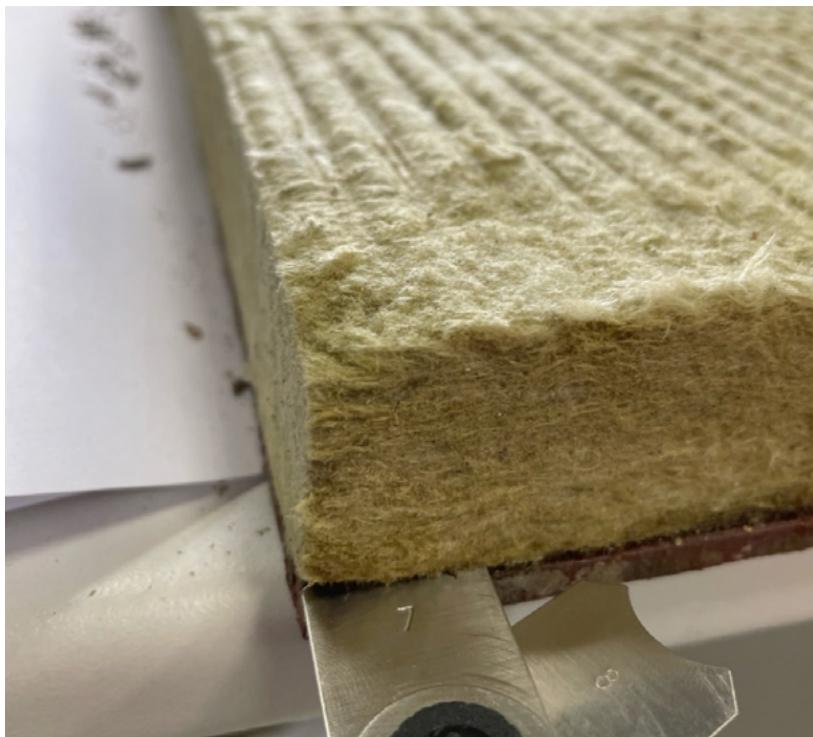


Рис. 7. Состояние системы покрытия после 125 циклов старения

Fig. 7. Coating system after 125 aging cycles

Таблица 3
Результаты ускоренных климатических испытаний

Table 3

Results of accelerated climatic tests

Срок эксплуатации, лет	Количество циклов	Состояние покрытия
5	25	без изменений (рис. 3)
10	50	без изменений (рис. 4)
15	75	отслоения термостойкого состава «ПЛАЗАС» на 0,5 мм от края пластины (рис. 5)
20	100	отслоения термостойкого состава «ПЛАЗАС» на 1,1 мм от края пластины (рис. 6)
25	125	отслоения термостойкого состава «ПЛАЗАС» на 1,5 мм от края пластины (рис. 7)

В результате проведенных ускоренных климатических испытаний установлено, что с увеличением времени выдержки и свыше 50 циклов минераловатная плита начинает отслаиваться от металлической пластины. При этом ее внешний вид сохраняется, растрескивания не наблюдаются.

Результаты измерения теплопроводности по ГОСТ 7076-99 [11] представлены в табл. 4.

Исследования показали, что теплопроводность минераловатной плиты при различных сроках эксплуатации меняется в рамках погрешности измерения прибора.

Термический анализ минераловатной плиты показал, что при ее нагреве до 1000 °C не происходит деструктивных изменений как в контрольном образце, так и в образцах, прошедших ускоренное старение.

Результаты оценки сохранности огнезащитной эффективности, а именно зависимости изменения температуры в печи и на образцах при испытаниях по ГОСТ Р 53295-2009 [13], представлены на рис. 8.

Внешний вид образцов после огневых испытаний представлен на рис. 9.

Результаты времени достижения критической температуры 500 °C на образцах представлены в табл. 5.

При анализе полученных данных установлено, что огнезащитная эффективность с увеличением количества циклов искусственного старения несколько снизилась и составила 16,7 % в сторону уменьшения от контрольного образца при 125 циклах.

В соответствии с ГОСТ Р 71618-2024 [2] за положительный результат испытаний принимается время достижения предельного состояния металлом опытного образца после ускоренных климатических испытаний менее чем на 20 % в сторону уменьшения. То есть можно подтвердить сохранение огнезащитной эффективности в течение 25 лет эксплуатации покрытия.

Таблица 4
Результаты измерения теплопроводности

Table 4
Results of thermal conductivity measurements

Наименование показателя	Количество циклов	Срок эксплуатации, лет	Результат, Вт/(м×К)
Коэффициент теплопроводности	0	0	0,034
	25	5	0,034
	50	10	0,035
	75	15	0,033
	100	20	0,032
	125	25	0,034

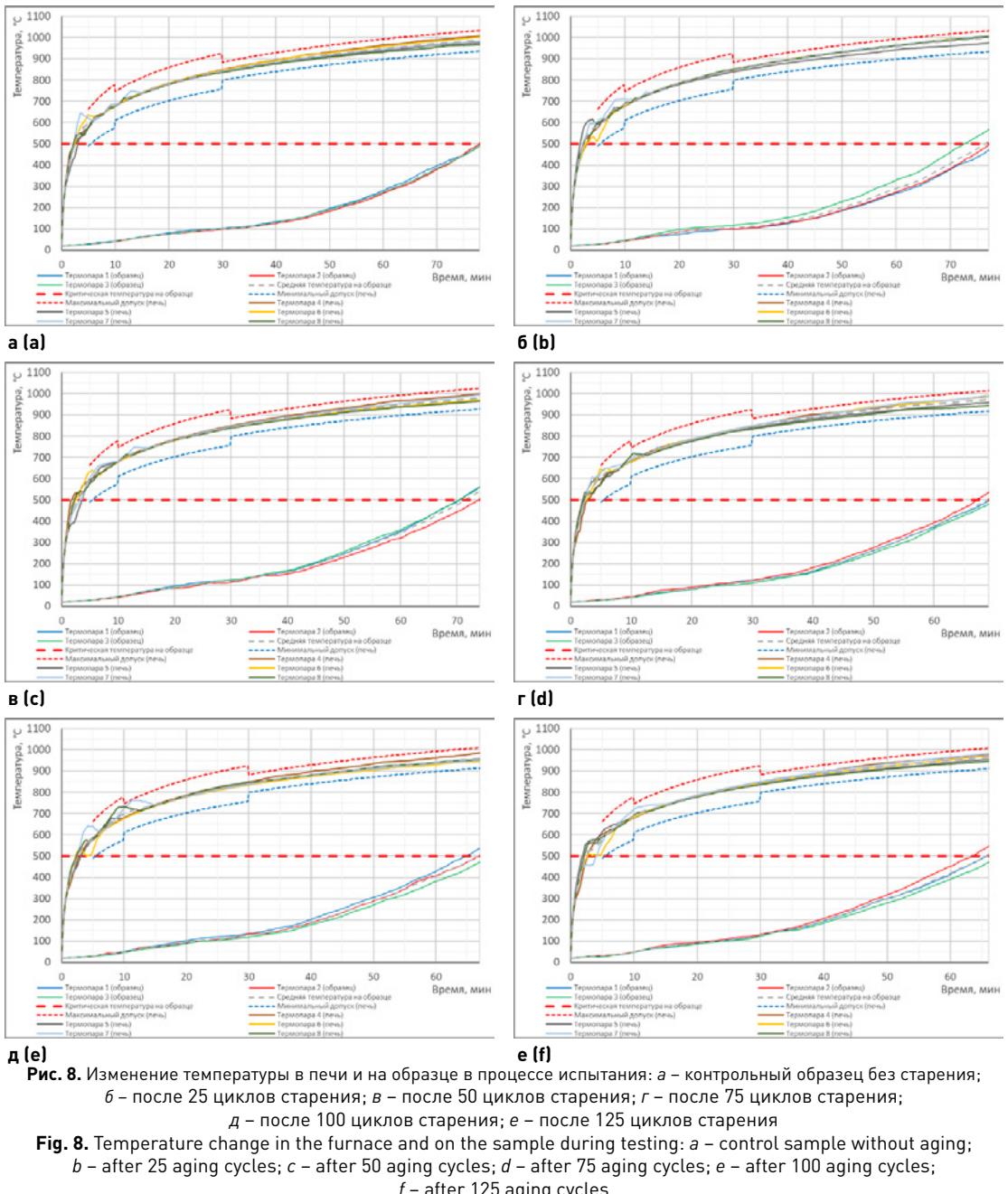
**д (е)**

Рис. 8. Изменение температуры в печи и на образце в процессе испытания: а – контрольный образец без старения;

б – после 25 циклов старения; в – после 50 циклов старения; г – после 75 циклов старения;

д – после 100 циклов старения; е – после 125 циклов старения

Fig. 8. Temperature change in the furnace and on the sample during testing: a - control sample without aging;

b - after 25 aging cycles; c - after 50 aging cycles; d - after 75 aging cycles; e - after 100 aging cycles;

f - after 125 aging cycles



а (а)



б (б)



в (в)



г (г)



д (д)



е (е)

е (ф)

Рис. 9. Образцы после проведения огневых испытаний: а – контрольный образец без старения; б – после 25 циклов старения; в – после 50 циклов старения; г – после 75 циклов старения; д – после 100 циклов старения; е – после 125 циклов старения

Fig. 9. Samples after fire tests: a – control sample without aging; b – after 25 aging cycles; c – after 50 aging cycles; d – after 75 aging cycles; e – after 100 aging cycles; f – after 125 aging cycles

Таблица 5
Огнезащитная эффективность

Table 5

Fire protection efficiency

Наименование показателя	Количество циклов	Срок эксплуатации, лет	Результат, Вт/(м×К)
Время достижения 500 °C	0	0	78
	25	5	76
	50	10	71
	75	15	68
	100	20	66
	125	25	65

Заключение

На основании проведенных исследований предполагаемый срок эффективной эксплуатации огнезащитной системы «ЕТ-МЕТАЛЛ» в условиях открытых объектов, находящихся под навесом либо в зонах, защищенных от прямого атмосферного воздействия (категория размещения УХЛ2 по ГОСТ 15150-69 [5]), а также внутри зданий и сооружений с естественной вентиляцией и без специального температурного контроля (категория УХЛ3) с сохранением огнезащитной эффективности при условии соблюдения всех требований технологического процесса получения покрытия составляет не менее 25 лет.

Список литературы

1. Технический регламент Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» (TP EAEC 043/2017) [интернет]. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293744/4293744691.pdf>. (дата обращения: 07.09.2025).
2. ГОСТ Р 71618-2024. Конструкции стальные строительные с огнезащитными покрытиями. Методы испытаний анткоррозионных свойств и стойкости к воздействию климатических факторов в процессе эксплуатации. Москва: Российский институт стандартизации; 2024.
3. Комарова М.А., Гришин И.А., Мельников Н.О., Шалабин М.В., Ведяков М.И. Оценка эффективности огнезащитных покрытий в процессе ускоренного климатического старения. Вестник НИЦ Строительство. 2024;42(3):28–46. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3\[42\]-28-46](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3[42]-28-46).
4. Комарова М.А., Мельников Н.О., Шалабин М.В., Скоробогатов В.А., Головина Е.В. Огнезащитная эффективность покрытий металлических строительных конструкций при ускоренном климатическом старении. Техносферная безопасность. 2024;(4):3–22.
5. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. Москва: Стандартинформ; 2010.
6. ТУ 5762-011-0862-1635-2009. Плиты минераловатные огнезащитные теплоизоляционные EURO-ЛИТ [интернет]. Режим доступа: https://skraska.ru/upload/iblock/71a/euro_lit.pdf.
7. ТУ 23.99.19-013-08621635-2020. Состав термостойкий клеящий «ПЛАЗАС». Технические условия.
8. ГОСТ 16523-97. Прокат тонколистовой из углеродистой стали качественной и обыкновенного качества общего назначения. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2008.

- 9.** ГОСТ 9045-93. Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки. Технические условия. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации; 1996.
- 10.** ГОСТ 28379-89. Шпатлевки ЭП-0010 и ЭП-0020. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2006.
- 11.** ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. Москва: Госстрой России; 2000.
- 12.** ГОСТ Р 53293-2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа. Москва: Стандартинформ; 2011.
- 13.** ГОСТ Р 53295-2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности. Москва: Стандартинформ; 2009.
- 14.** ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. Москва: Издательство стандартов, 2003.

References

- 1.** Technical Regulations of the Eurasian Economic Union "On requirements for fire safety and fire extinguishing equipment" [TR EAEU 043/2017] [internet]. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293744/4293744691.pdf>. (In Russian).
- 2.** State Standard R 71618-2024. Fire retardant compositions for steel constructions. General requirement. Method for determining fire retardant efficiency. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2024. (In Russian).
- 3.** Komarova M.A., Grishin I.A., Melnikov N.O., Shalabin M.V., Vedyakov M.I. Efficiency assessment of flame retardant coatings in the process of accelerated climatic aging. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2024;42(3):28-46. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3\(42\)-28-46](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3(42)-28-46).
- 4.** Komarova M.A., Melnikov N.O., Shalabin M.V., Skorobogatov V.A., Golovina E.V. Fire-Protective Efficiency of Coatings of Metal Building Structures under Accelerated Climatic Aging. Technosphere Safety. 2024;(4):3-22. (In Russian).
- 5.** State Standard 15150-69. Machines, instruments and other industrial products. Modifications for different climatic regions. Categories, operating, storage and transportation conditions as to environment climatic aspects influence. Moscow: Standartinform Publ.; 2010. (In Russian).
- 6.** TU 5762-011-0862-1635-2009 EURO-LIT fire-protective thermal insulation mineral wool slabs [internet]. Available at: https://skraska.ru/upload/iblock/71a/euro_lit.pdf.
- 7.** TU 23.99.19-013-08621635-2020. Heat-resistant adhesive composition "PLAZAS". Technical conditions.
- 8.** State Standard 16523-97. Rolled sheets from quality and ordinary carbon steel for general purposes. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2008. (In Russian).
- 9.** State Standard 9045-93. Cold-rolled thin sheets of low-carbon steel for cold stamping. Specifications. Minsk: Euro-Asian Council for standardization, metrology and certification; 1996. (In Russian).
- 10.** State Standard 28379-89. Putties ЭП-0010 and ЭП-0020. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2006. (In Russian).
- 11.** State Standard 7076-99. Building materials and products. Method of determination of steady-state thermal conductivity and thermal resistance. Moscow: Gosstroy of Russia; 2011. (In Russian).
- 12.** State Standard R 53293-2009. Fire hazard of substances and materials. Materials, substance and fire protective means. Identification by thermal analysis methods. Moscow: Standartinform Publ.; 2011. (In Russian).
- 13.** State Standard R 53295-2009. Fire retardant compositions for steel constructions. General requirement. Method for determining fire retardant efficiency. Moscow: Standartinform Publ.; 2009. (In Russian).
- 14.** State Standard 30247.0-94. Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. General requirements. Moscow: Publishing House of Standards; 2003. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Мария Александровна Комарова, канд. хим. наук, руководитель научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Maria A. Komarova, Cand. Sci. (Chem.), Bureau Head, Scientific Expert Bureau of Fire and Environmental Safety in Construction, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

Никита Олегович Мельников[✉], канд. техн. наук, доцент, заведующий лабораторией научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»; доцент, РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва

е-mail: no.melnikov@yandex.ru

Nikita O. Melnikov[✉], Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Laboratory Head, Scientific Expert Bureau of Fire and Environmental Safety in Construction, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow; Associate Professor, Mendeleev University of Chemical Technology, Moscow

е-mail: no.melnikov@yandex.ru

Игорь Андреевич Власкин, техник научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»; студент 1-го курса магистратуры кафедры техносферной безопасности, РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва

Igor A. Vlaskin, Technician, Scientific Expert Bureau of Fire and Environmental Safety in Construction, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction; Master Student, Department of Technosphere Safety, Mendeleev University of Chemical Technology, Moscow

Михаил Валерьевич Шалабин, аспирант, заведующий лабораторией научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Mikhail V. Shalabin, Postgraduate Student, Laboratory Head, Scientific Expert Bureau of Fire and Environmental Safety in Construction, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

[✉] Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ЗДАНИЙ ИЗ ГНУТОФОРМОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Б.С. СОКОЛОВ^{1,*}, канд. техн. наук

А. ИВАНОВ¹, д-р техн. наук

Д.В. ПАСХИН¹

В.А. ТИТАЕВ^{1,2}, канд. техн. наук

¹Научно-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

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

Аннотация

Введение. В НИИЖБ им. А.А. Гвоздева выполнены исследования конструкций пространственных зданий с несущими сборными железобетонными элементами, изготавляемыми по технологии формования на плоскости с последующим погибом.

Цель. Разработка основ нормативной базы проектирования зданий из гнутоформованных элементов.

Материалы и методы. Проведены расчетно-теоретические исследования конструктивных решений купольных и сводчатых зданий с применением сборных гнутоформованных элементов. Получены данные о напряженно-деформированном состоянии конструкций зданий разных типоразмеров при различных схемах нагружения.

Результаты. На основании анализа результатов расчетно-теоретических исследований выполнена разработка рекомендаций по конструированию элементов и узлов, по армированию элементов. Разработаны предложения по нормированию параметров конструктивных элементов зданий для внесения в нормативную документацию. Даны предложения по внесению нового раздела по конструкциям пространственных зданий из гнутоформованных элементов в СП 387.1325800.2018.

Выходы. Разработанные рекомендации направлены на повышение эффективности проектных решений пространственных зданий.

Ключевые слова: железобетонные оболочки, формообразование, технология формования, конструирование, купольное здание, сводчатое здание, гибкий поддон, сборный элемент, пространственная конструкция, расчетная модель

Для цитирования: Соколов Б.С., Иванов А., Пасхин Д.В., Титаев В.А. Исследования пространственных конструктивных решений зданий из гнутоформованных элементов. Вестник НИЦ «Строительство». 2025;47(4):62–75. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-62-75](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-62-75)

Вклад авторов

Все авторы внесли равнозначный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке ФАУ «ФЦС».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 12.03.2025

Поступила после рецензирования 16.05.2025

Принята к публикации 22.05.2025

FLEXIBLE MOULD PROCESSING TECHNOLOGY IN SPATIAL DESIGN CONCEPTS OF BUILDINGS

B.S. SOKOLOV^{1,✉}, Cand. Sci. (Engineering)

A. IVANOV¹, Dr. Sci. (Engineering)

D.V. PASKHIN¹

V.A. TITAEV^{1,2}, Cand. Sci. (Engineering)

¹Research 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

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

Abstract

Introduction. The present article considers a research into the spatial structures of buildings with load-bearing precast reinforced concrete elements manufactured using the technology of flexible mould processing (FMP).

Aim. To develop the fundamentals of the regulatory framework for the design of buildings with FMP elements.

Materials and methods. Computational and theoretical studies of design concepts for domed and vaulted buildings using precast FMP elements are carried out. Data on the stress-strain state of various-size building structures under various loading conditions are obtained.

Results. The results of computational and theoretical studies are analyzed to develop recommendations for the design and reinforcement of elements and units. Proposals for standardizing the parameters of building structural elements are developed for inclusion in regulatory documentation. Proposals are made to introduce a new section on the spatial building structures made of precast FMP elements into SP 387.1325800.2018.

Conclusions. The developed recommendations are aimed at increasing the efficiency of spatial design concepts for building structures.

Keywords: reinforced concrete shells, shaping, moulding technology, design, domed building, vaulted building, flexible mould, precast element, spatial structure, calculation model

For citation: Sokolov B.S., Ivanov A., Paskhin D.V., Titaev V.A. Flexible mould processing technology in spatial design concepts of buildings. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction.* 2025;47(4):62–75. [In Russian]. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-62-75](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-62-75)

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 the Federal Center for Regulation, Standardization and Technical Assessment in Construction (FAU "FCC").

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 12.03.2025

Revised 16.05.2025

Accepted 22.05.2025

В НИИЖБ им. А.А. Гвоздева выполнен комплекс научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ по разработке основ проектирования пространственных зданий с несущими сборными железобетонными элементами, изготавляемыми по технологии формования на плоскости с последующим погибом.

Гнутоформованный сборный элемент представляет собой окаймленную по контуру ребром тонкую плиту, изогнутую по поверхности, близкой к поверхности гиперболического параболоида, что обеспечивает большую пространственную жесткость элементов и их высокую несущую способность в работе в составе сооружения.

Основные геометрические параметры унифицированного пространственного элемента приведены на рис. 1. Элемент имеет в плане в общем случае ромбовидную форму вытянутого четырехугольника, в частном случае $a = l/2$ – форму правильного ромба.

Размеры элемента (b, l, h) и стрела его подъема f_1 определяются геометрическими параметрами и формой поверхности сборной конструкции и ограничиваются транспортными габаритами и грузоподъемностью кранового оборудования.

Гнутоформованные элементы изготавливают по технологии формования на плоскости с последующим погибом. Плоскую плиту габаритами $c \times l$, контур которой показан пунктиром на рис. 1, готовят в форме, представляющей собой соединенные линейным шарниром на оси X две половины жесткой рамы (рис. 2), к которым прикреплен гибкий стальной лист [1].

После формования плоской плиты элементы жесткой рамы с бортами формы поворотом в шарнирах поднимают на требуемую высоту h , при этом свежеотформованная плита, провисая на стальном листе, изгибается, приобретая проектное криволинейное очертание и проектные размеры в плане $2b \times l$. После достижения бетоном изделия необходимой прочности борта формы откидываются, а изделие извлекается из формы.

Непосредственно перед съемом ромбических элементов с формы на них устанавливается монтажная затяжка, обеспечивающая их целостность при складировании, транспортировке и монтаже. Затяжка устанавливается на верхней поверхности в наиболее широком сечении элемента и крепится к бортовым закладным деталям болтовым соединением. Демонтаж

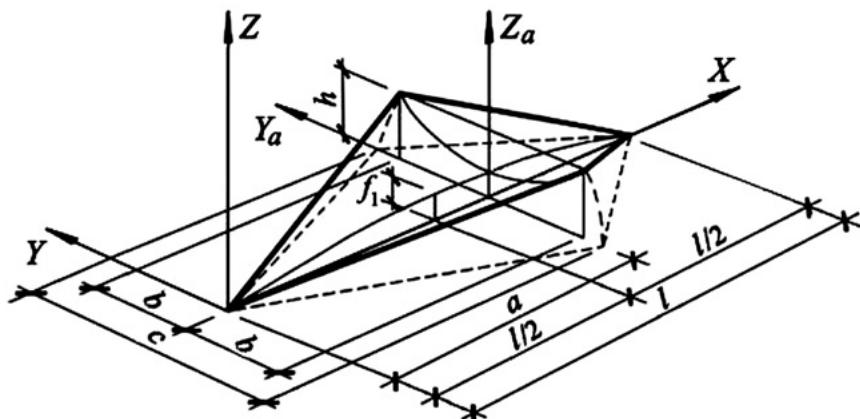


Рис. 1. Общий вид гнутоформованного ромбического элемента

Fig. 1. General view of a rhombic FMP element

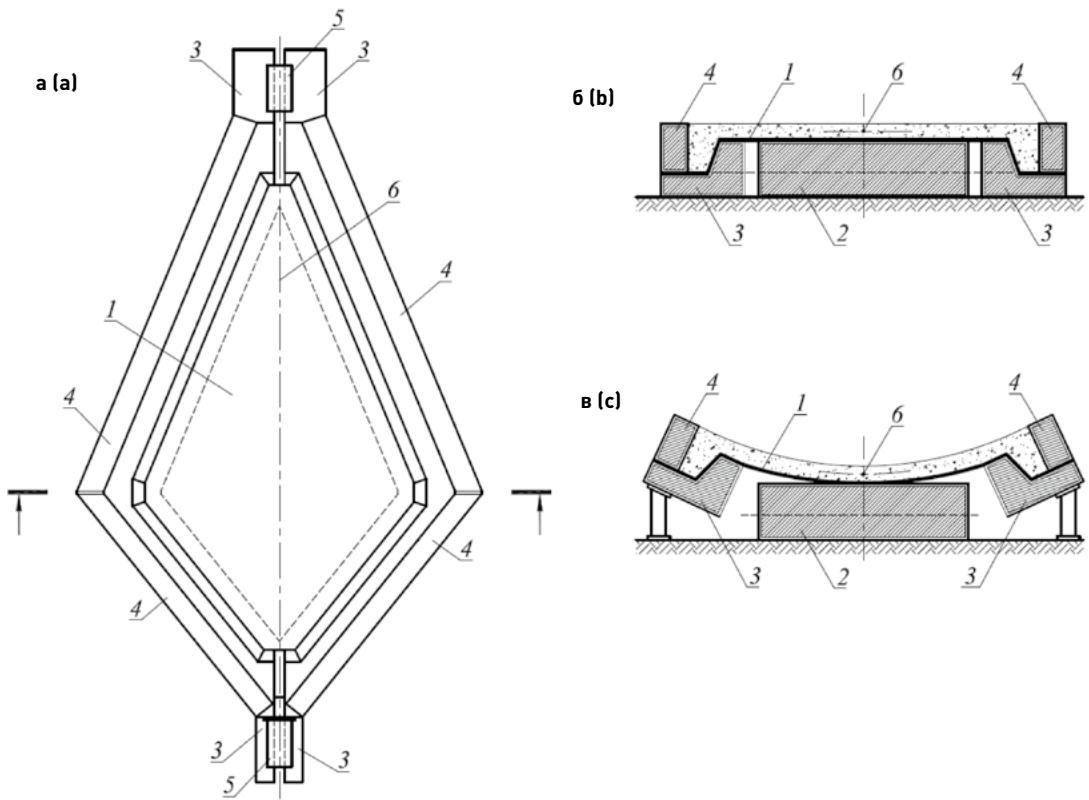


Рис. 2. Схема формы для изготовления гнутоформованных элементов: а – план; б, в – поперечный разрез соответственно в исходном и согнутом состояниях; 1 – гибкий поддон; 2 – жесткий поддон; 3 – элемент жесткой рамы; 4 – откидной борт; 5 – соосные шарниры; 6 – ось шарниров

Fig. 2. Mould for manufacturing FMP elements: a – plan view; b, c – cross-section in the initial and processed states, respectively; 1 – flexible mould; 2 – rigid mould; 3 – rigid frame element; 4 – drop side; 5 – coaxial hinges; 6 – hinge axis

затяжек выполняется после сварки закладных деталей сборных элементов, установленных в проектное положение.

Поле оболочки ромбических элементов армируется ткаными сетками из стальной проволоки или стальной фиброй. Контуры ребра сборных гнутоформованных элементов армируются плоскими каркасами из стальной стержневой арматуры. Закладные детали и монтажные петли ромбических и плитных элементов располагаются в контурных ребрах и крепятся вязальной проволокой или сваркой к плоским каркасам ребер.

Технология погиба плоских свежеотформованных плит базируется на свойстве свежеуложенного на гибком поддоне слое бетона претерпевать под действием собственного веса деформации изгиба без нарушения его целостности [2–4]. В силу собственной жесткости тканые сетки, армирующие плиту элемента, в процессе изготовления гнутоформованных элементов при свободном провисании гибкого поддона со свежеотформованной плитой стремятся образовать местные складки с выходом их из бетонного слоя. Во избежание выпучивания сеток и расслоения бетона при изгибе опалубочной формы тканые сетки следует располагать под углом 30–45° к оси погиба. В этом случае тканая сетка в процессе погиба деформируется за счет изменения формы ячейки сетки.

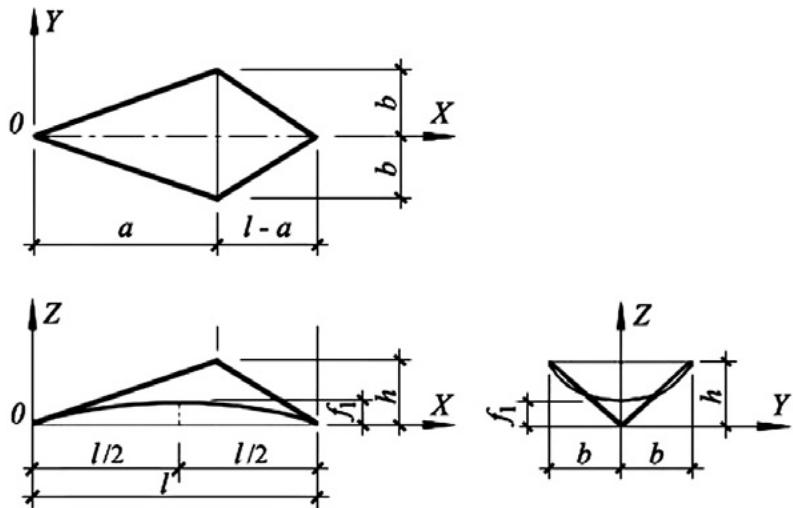


Рис. 3. Геометрические параметры ромбического элемента в форме вытянутого четырехугольника
Fig. 3. Geometric parameters of a rhombic element in the form of an elongated quadrilateral

Поле плоской плиты в процессе погиба приобретает форму оболочки отрицательной гауссовой кривизны (рис. 3). В работе [5] приведено математическое описание такой оболочки в виде гиперболического параболоида, подтвержденное сопоставлением теоретической геометрии с фактической геометрией натурных конструкций. Проще и с достаточной точностью поверхность может быть описана более простой формулой, приведенной ниже.

В общем случае элемента в форме вытянутого четырехугольника поверхность готового элемента в системе координат с точкой $[0;0;0]$ в начале длинной диагонали (рис. 3) может быть описана уравнением:

$$z = f_{x2} \left(\frac{y}{b_x} \right)^2 + f_{x1}, \quad (1)$$

где

$$f_{x1} = \frac{4f_1}{l^2} x(l-x); \quad (2)$$

$$f_{x2} = h_x - f_{x1}. \quad (3)$$

В формулах (1) и (3):

$$- \text{при } x \leq a \quad b_x = \frac{b}{a} x; \quad h_x = \frac{h}{a} x;$$

$$- \text{ при } x > a \quad b_x = \frac{b}{l-a}(l-x); \quad h_x = \frac{h}{l-a}(l-x).$$

Величина f_1 для ромба ($a = l/2$) может быть приближенно определена по формуле:

$$f_1 = h - f_2 \oplus h - 0,87\sqrt{b(c-2b)}. \quad (4)$$

Значение f_1 может быть уточнено определением значения стрелы провиса f_2 из равенства ширины плоской плиты c (рис. 1) длине параболы сечения плиты после ее изгиба:

$$c = b \sqrt{1 + \left(\frac{2f_2}{b}\right)^2} + \frac{b^2}{2f_2} \ln \left[\frac{2f_2}{b} + \sqrt{1 + \left(\frac{2f_2}{b}\right)^2} \right]. \quad (5)$$

Рекомендуется для первого приближения использовать приближенное значение f_2 по формуле (4) с дальнейшим последовательным увеличением величины f_2 с небольшим шагом до достижения равенства правой и левой частей формулы (5).

Для элементов в форме вытянутого четырехугольника ($a > l/2$) определение величины f_1 выполняется по формулам (4), (5) с заменой b , h и c величинами соответственно:

$$b' = \frac{l}{2} \times \frac{b}{a}; \quad h' = \frac{l}{2} \times \frac{h}{a}; \quad c' = 2\sqrt{b'^2 + h'^2}.$$

В проектном положении ромбический элемент располагается под некоторым углом α к горизонту. Преобразование координат точек поверхности поворотом на угол α вокруг оси Y осуществляется с использованием зависимостей:

$$\begin{aligned} x'_i &= x_i \cos \alpha - z_i \sin \alpha; \\ y'_i &= y_i; \\ z'_i &= x_i \sin \alpha + z_i \cos \alpha. \end{aligned} \quad (6)$$

Сочетание ромбических элементов позволяет осуществить оптимальное членение поверхностей вращения (купольных и цилиндрических) на минимальное число типоразмеров сборных элементов. На основе различных комбинаций однотипных ромбических элементов выполняются пространственные несущие системы зданий купольной (рис. 4) и сводчатой (рис. 5) форм, а также сочетаний этих форм (рис. 6), в том числе с использованием плоских сборных элементов.

В рамках научно-исследовательской работы по разработке предложений по нормированию технических параметров несущих железобетонных конструкций пространственных зданий с применением сборных гнутоформованных элементов были выполнены расчетно-теоретические исследования, включающие разработку методики расчета и рекомендаций по конструированию таких зданий, их элементов и узлов.

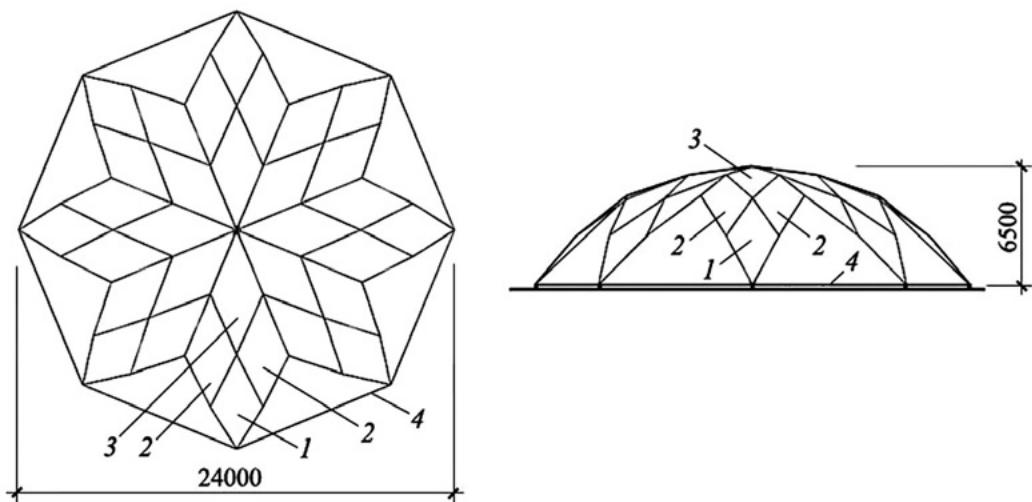


Рис. 4. Купольная оболочка пролетом 24 м в виде многогранника, вписанного в часть сферы радиусом 14,3 м: 1, 2, 3 – ромбические элементы соответственно 1, 2 и 3 ярусов; 4 – затяжка

Fig. 4. Dome shell with a span of 24 m in the form of a polyhedron inscribed in a part of a sphere with a radius of 14.3 m: 1, 2, 3 – rhombic elements of tiers 1, 2, and 3, respectively; 4 – tie

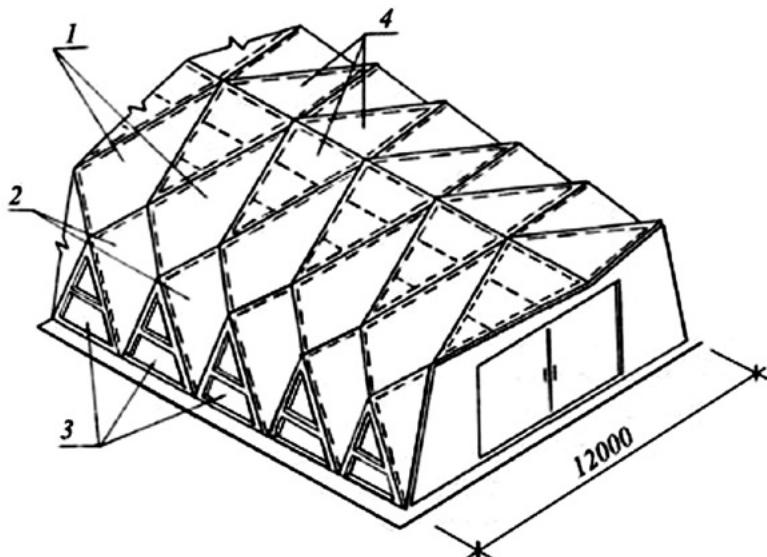


Рис. 5. Сводчатое здание многоцелевого назначения из гнутоформованных элементов и плоских треугольных плит: 1 – пространственные элементы покрытия; 2 – стенные пространственные элементы; 3, 4 – плоские ребристые треугольные элементы

Fig. 5. Vaulted multi-purpose building made of FMP elements and flat triangular slabs: 1 – spatial roof elements; 2 – spatial wall elements; 3, 4 – flat ribbed triangular elements

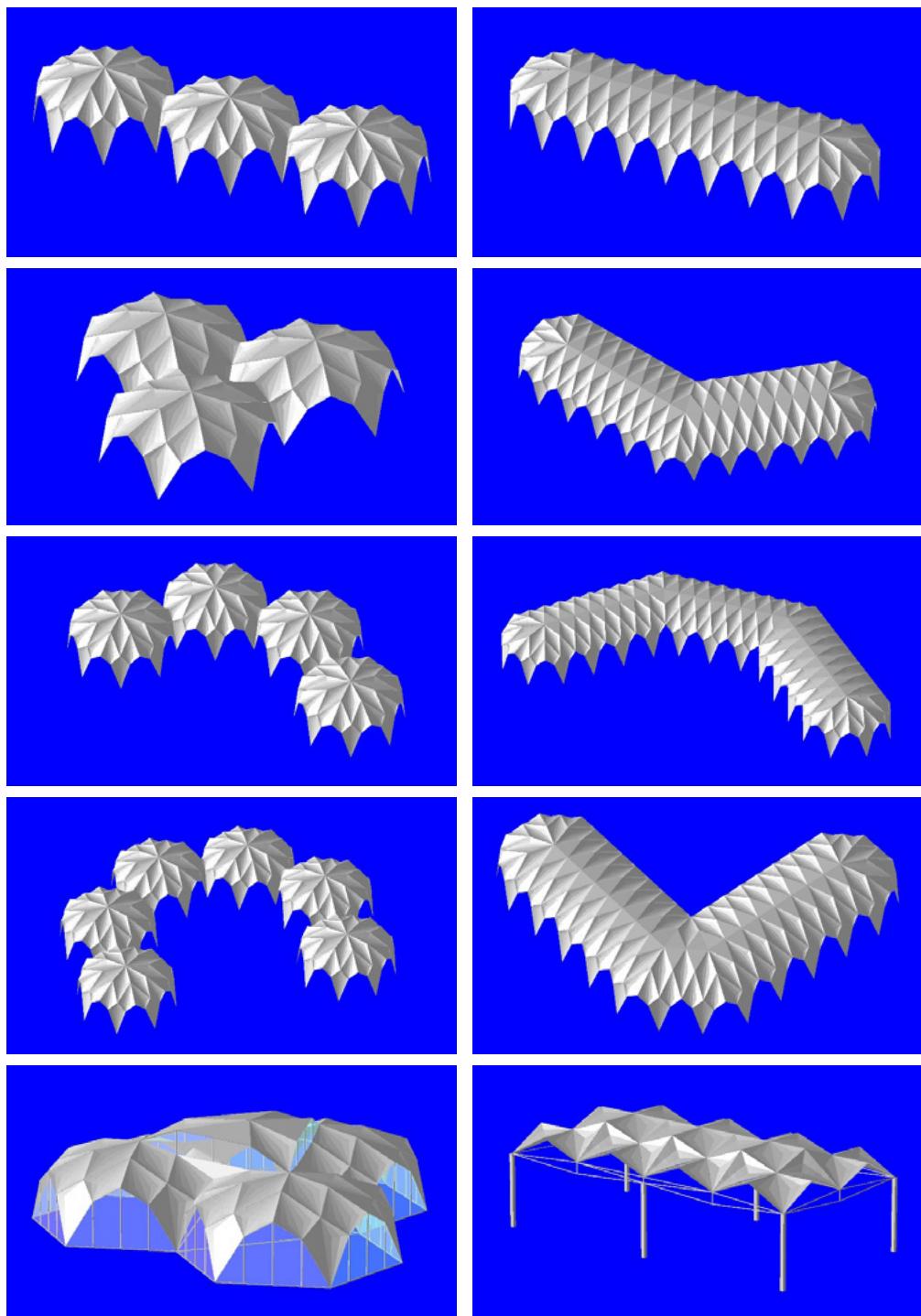


Рис. 6. Примеры компоновок зданий
Fig. 6. Examples of building layouts

Разработанная методика расчета таких конструкций методом конечных элементов (МКЭ) включает методику построения расчетных моделей для различных проектных ситуаций и принципиальные подходы к оценке результатов расчетов. В ходе исследования выполнены многовариантные расчеты купольных и сводчатых зданий с учетом физической и геометрической нелинейностей с использованием конечно-элементного программного комплекса ING+.

Исследования проведены на расчетных моделях двух типоразмеров сводчатых зданий и двух типоразмеров купольных зданий (рис. 7 и 8). Сводчатые здания приняты пролетом 12 м с высотой здания в коньке 6 м и пролетом 18 м с высотой здания 9 м. Моделируемые купольные здания имели диаметр в плане 24 м с высотой в вершине 6,5 м и диаметр в плане 30 м с высотой 8,125 м.

В результате выполненных исследований получены данные о напряженно-деформированном состоянии конструкций зданий при различных схемах нагружения, в том числе при равномерно распределенных нагрузках, при неравномерно распределенных нагрузках, при действии сосредоточенных нагрузок по наиболее вероятным схемам их размещения. Выполнены расчеты требуемого армирования ребер зданий при действии основных сочетаний нагрузок.

Выполнено исследование общей устойчивости зданий. При проектных конструктивных параметрах минимальные коэффициенты устойчивости составили для сводчатых зданий 13,8, для купольных – 35,9.

Выполнено исследование устойчивости против прогрессирующего обрушения при отказах отдельных элементов. В качестве наиболее потенциально опасных для сводчатых зданий рассмотрена ситуация разрушения поля оболочки одного из опорных ромбических элементов, для купольных зданий – ситуация выхода из работы одной из вертикальных опор. Результаты расчетов показали высокую устойчивость оболочных элементов против

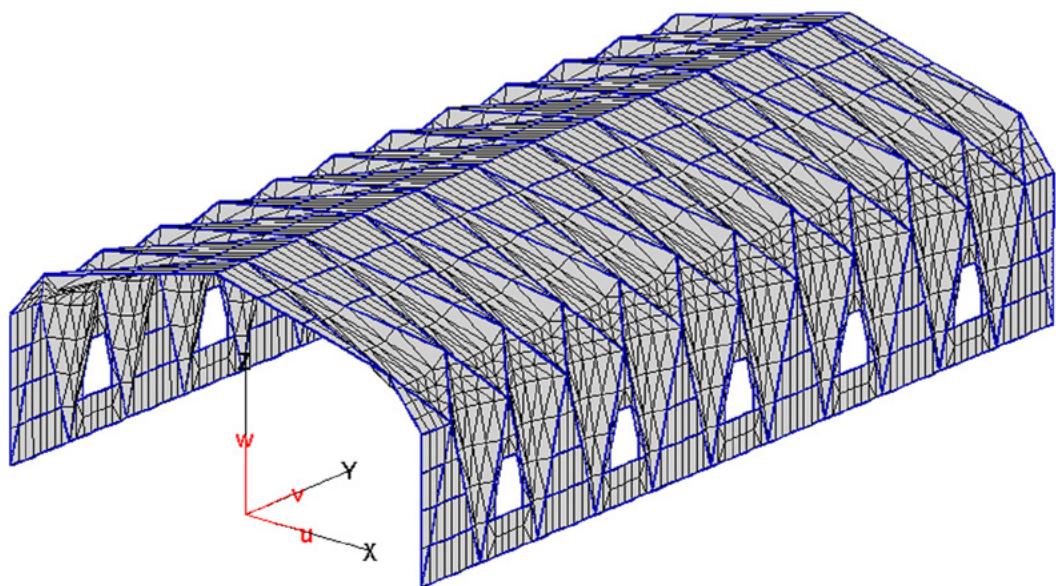


Рис. 7. Общий вид расчетной модели МКЭ сводчатого здания пролетом 18 м

Fig. 7. FEM model of a vaulted building with a span of 18 m

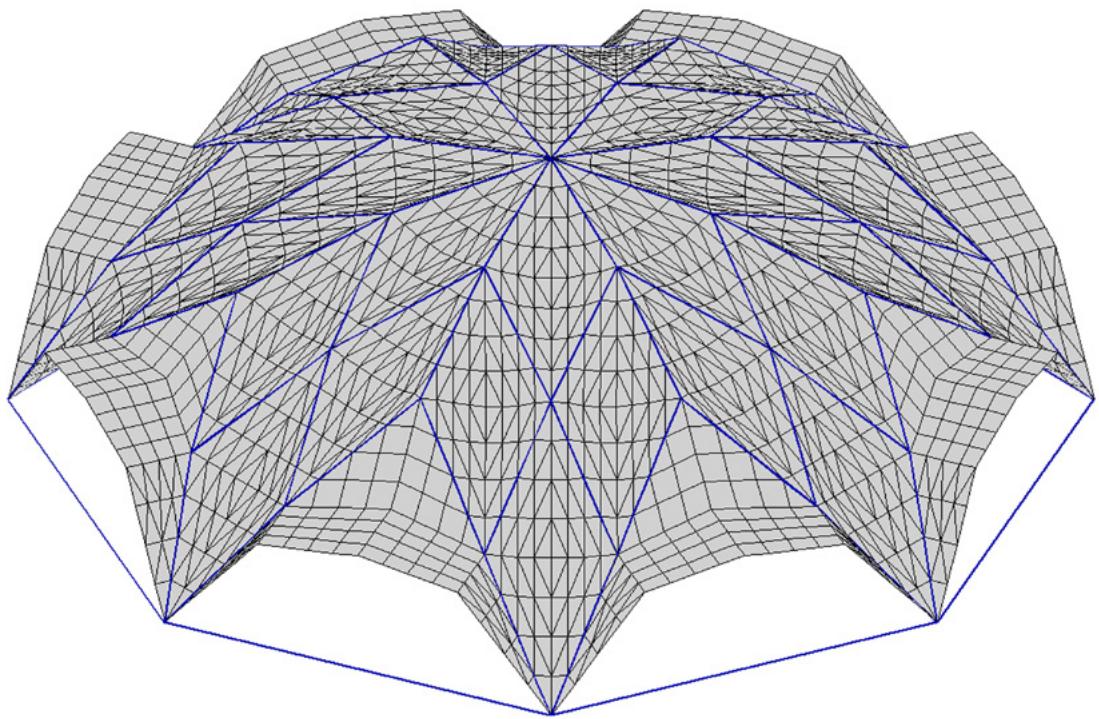


Рис. 8. Общий вид расчетной модели МКЭ купольного здания диаметром 30 м

Fig. 8. FEM model of a domed building with a diameter of 30 m

прогрессирующего обрушения за счет перераспределения усилий в конструкциях. При этом ребра конструкций в отдельных случаях потребовали некоторого увеличения армирования по сравнению с полученным из расчетов на основные сочетания.

По результатам комплекса исследований, в том числе экспериментальных на физических моделях [6–8], в проектных расчетах для интегрального учета влияния ползучести при длительном действии нагрузки рекомендовано расчетные значения модулей деформаций и сдвига принимать пониженными в соответствии с п. 6.1.15 СП 63.13330.2018 [9].

В соответствии с п. 4.2.19 СП 387.1325800.2018 [10] расчет по устойчивости формы тонкостенных оболочек ромбических элементов рекомендовано производить с учетом начальных несовершенств и деформаций ползучести бетона при длительном действии нагрузки. Учет начальных несовершенств в оболочках ромбических элементов рекомендуется выполнять умножением модуля деформаций бетона на коэффициент 0,75.

Учитывая пологость ромбических элементов, действие снеговых нагрузок на здания сводчатой и купольной форм допускается выполнять по равномерной и неравномерной схемам распределения соответственно по Б.1 и Б.11 (вариант 2) СП 20.13330.2016 [11], а действие ветровых нагрузок на здания сводчатой и купольной форм – соответственно по В.1.3 и В.1.4 [11].

Оценка несущей способности зданий из гнутоформованных элементов может быть выполнена на основе метода предельного равновесия с использованием схемы излома и формы разрушения, установленных испытаниями моделей конструкций до разрушения [12].

Расчетно-теоретическими исследованиями, проектными проработками [13–15] и технико-экономическими расчетами выявлены границы областей рациональных значений нормируемых конструктивных параметров зданий данного типа и разработаны предложения по назначению этих параметров для использования при разработке нормативных документов на проектирование. В частности, на основании данных о напряженном состоянии конструкций даны рекомендации по соотношению основных размеров зданий. Рекомендуемая высота сводчатых зданий в коньке составляет 0,4–0,6 длины пролета, а уклон покрытия – не менее 15 %. Рекомендуемая высота купольных зданий в вершине составляет не менее 0,25 диаметра опорного контура здания. Даны рекомендации по назначению основных геометрических размеров и толщин сечений ромбических элементов. Для зданий купольной формы даны рекомендации по устройству опорных узлов с обеспечением их шарнирности и совместности работы с затяжкой.

Монтаж сводчатых зданий выполняется с использованием переставных монтажных стоек, располагаемых по линии конька здания под узлами опирания ромбических элементов. Перестановку стоек на новый монтажный участок можно выполнять после сварки закладных деталей сборных элементов, установленных в проектное положение, и замоноличивания швов.

В купольных зданиях монтажная стойка устанавливается под вершиной купола. Монтаж купольного здания выполняется блоками из четырех предварительно собранных элементов трех ярусов. Блоки устанавливаются попарно: после монтажа одного блока парный блок устанавливается с противоположной от стойки стороны.

Для обоих типов зданий разработаны рекомендации по расчету на различных стадиях монтажа, включающие особенности расчетных моделей и действующих нагрузок.

Технология формования конструкции на плоскости с последующим погибом, с учетом результатов выполненных исследований, открывает перспективу изготовления криволинейных элементов не только ромбической, но и иных пространственных форм. В их числе сборные сегментные оболочки покрытий из выпуклых или вогнутых криволинейных конических элементов [16], в том числе конструкций силосов [17], покрытия в виде купольных и зонтичных оболочек, ряд конструктивных решений малых архитектурных форм [18], гнутоформованные трехслойные конструкции [19–21].

Результаты выполненных исследований положены в основу при разработке нового раздела СП 387.1325800 по конструкциям пространственных зданий из гнутоформованных элементов, что даст нормативную базу для их проектирования и расширит сферу применения пространственных конструкций в строительстве.

Список литературы

1. Шугаев В.В., Людковский А.М., Левина С.Г., Суворкин К.Д., Хатиашвили Н.Н. Форма для изготовления тонкостенных криволинейных изделий из бетонных смесей: авт. свид. SU 1583297 A1. Опубл. 07.08.1990.
2. Шаншиев А.К. Технология изготовления армоцементных гнутоформованных пространственных конструкций. Армоцемент и армоцементные конструкции: тез. докл. и сообщ. к науч.-техн. совещ. Ленинград; 1961, с. 106–110.
3. Илларионова Л.Ф. Конструкция и монтаж сборных безрулонных крыш из складчатых армоцементных элементов, изготавляемых по способу виброгнутья на листогибочных поддонах. В: Армоцемент и армоцементные конструкции: материалы науч. совещ. Москва: Госстройиздат; 1962.
4. Шугаев В.В. Пространственные конструкции из элементов, формуемых на плоскости с последующим погибом. В: Исследования железобетонных тонкостенных пространственных конструкций. Москва: НИИЖБ; 1991, с. 5–37.

- 5.** Соколов Б.С., Титаев В.А., Пасхин Д.В. Сборные оболочки из гнутоформованных элементов. Вестник НИЦ Строительство. 2021;(3):66–77. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3\(30\)-66-77](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3(30)-66-77).
- 6.** Шугаев В.В., Хатиашвили Н.Н. Железобетонные оболочки из тонкостенных ромбических элементов. В: Строительство и архитектура. Сер. 8: Строительные конструкции: обзорная информация. Москва: ВНИИС; 1986, Вып. 7, с. 2–4.
- 7.** Шугаев В.В., Хатиашвили Н.Н. Экспериментально-теоретические исследования оболочек из тонкостенных железобетонных ромбических элементов гнутого профиля. В: Прогрессивные пространственные конструкции и перспективы их применения: сб. Свердловск: Свердлов. архит. ин-т; 1985, с. 27–29.
- 8.** Шугаев В.В., Столыпина Л.И., Гагуя Н.И., Соколов Б.С., Левина С.Г. Пространственные конструкции из гнутоформованных дисперсно-армированных элементов. В: Пространственные конструкции: материалы семинара: сб. Москва; 1991, с. 192–200.
- 9.** СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения [интернет]. Москва: Минстрой России; 2018. Режим доступа: <https://nav.tn.ru/cloud/iblock/f5b/f5b5eb39fe907589327bf01914c30df4/SP-63.13330.2018-Betonnye-i-zhelezobetonnye-konstruktsii.-Osnovnye-polozheniya.pdf>.
- 10.** СП 387.1325800.2018. Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ; 2018.
- 11.** СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. Москва: Стандартинформ; 2018.
- 12.** СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. Москва: ФГУП ЦПП; 2005.
- 13.** Шугаев В.В. Расчет и проектирование железобетонных оболочек из ромбических элементов гнутого профиля. В: Пространственные конструкции зданий и сооружений: сб. ст. Москва: Стройиздат; 1991, Вып. 6, с. 193–212.
- 14.** Неотапливаемое здание универсального назначения из стальфибробетона (для экспериментального строительства). Рабочие чертежи Э-592.02-84. Ленинград: ЛенЗНИИЭП; 1984.
- 15.** Железобетонное пространственное покрытие из криволинейных сборных элементов. Рабочие чертежи опытного покрытия 2ПК-078-1-82 КЖИ. Москва: КТБ НИИЖБ; 1982.
- 16.** Здание павильонного типа из гнутоформованных элементов пролетом 18 м. Рабочие чертежи опытного здания 08.ПК.39.2.89. КЖИ. Москва: КТБ НИИЖБ; 1989.
- 17.** Склады сыпучих материалов купольного типа, выполняемые из фибробетона. Шифр ТП-14-265. Ленинград: ЛенПСП; 1982.
- 18.** Shugaev V.V., Sokolov B.S. Innovative Spatial Structures of R.C. Silos. In: Proc. of the IASS Int. Symp. "Conceptual Design of Structures". Univ. of Stuttgart, Germany; 1996, pp. 953–960.
- 19.** Покрытие группового навеса для павильона торговой ярмарки. Рабочие чертежи опытного покрытия 08.ПК.291.04.88.КЖИ. Москва: КТБ НИИЖБ; 1988.
- 20.** Эпштейн М.А., Снеговской А.И., Шугаев В.В., Соколов Б.С. Сборные пространственные покрытия из трехслойных гнутоформованных элементов. Монтажные и специальные работы в строительстве. 2000;(6):2–4.
- 21.** Эпштейн М.А., Шугаев В.В., Соколов Б.С. Возможности применения метода погиба для производства трехслойных железобетонных элементов покрытий. Технологии бетонов. 2006;(6):44–45.
- 22.** Эпштейн М.А., Шугаев В.В., Соколов Б.С. Армирование трехслойных ограждающих конструкций криволинейной формы, изготавливаемых методом погиба. Технологии бетонов. 2007;(2):28–29.

References

- 1.** Shugaev V.V., Lyudkovsky A.M., Levina S.G., Suvorkin K.D., Khatiashvili N.N. Mold for the production of thin-walled curved products from concrete mixtures. Author's certificate No. SU 1583297 A1. Publ. date 07.08.1990. (In Russian).
- 2.** Shanshiev A.K. Technology for the production of bent-molded spatial structures made of reinforced cement. In: Reinforced cement and reinforced cement structures: abstract report and message to scientific and technical meeting. Leningrad; 1961, pp. 106–110. (In Russian).
- 3.** Illarionova L.F. Construction and Installation of Prefabricated Roll-Free Roofs from Folded Reinforced-Cement Elements Manufactured by Vibration Bending on Sheet-Bending Pallets. In: Reinforced Cement and Reinforced-Cement Structures: materials of the scientific conference. Moscow: Gosstroyizdat Publ.; 1962. (In Russian).

- 4.** Shugaev V.V. Spatial Structures from Elements Formed on a Plane with Subsequent Camber. In: Research of Reinforced Concrete Thin-Walled Spatial Structures. Moscow: Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete; 1991, pp. 5–37. (In Russian).
- 5.** Sokolov B., Titaev V., Pashkin D. Precast shells made of units bent during forming. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2021;30(3):66–77. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3\(30\)-66-77](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3(30)-66-77).
- 6.** Shugaev V.V., Khatiashvili N.N. Reinforced concrete shells made of thin-walled rhombic elements. In: Construction and architecture. Series 8: Building structures: Express information. Moscow: VNIIIS; 1986, iss. 7, pp. 2–4. (In Russian).
- 7.** Shugaev V.V., Khatiashvili N.N. Experimental and theoretical studies of shells made of thin-walled reinforced concrete rhombic elements of a bent profile. In: Progressive spatial structures and prospects for their application: Collection. Sverdlovsk: Sverdlovsk Architectural Institute; 1985, pp. 27–29. (In Russian).
- 8.** Shugaev V.V., Stolypina L.I., Gagua N.I., Sokolov B.S., Levina S.G. Spatial structures from bent-formed disperse-reinforced elements. In: Spatial structures. Proceedings of the seminar: Collection. Moscow; 1991, pp. 192–200. (In Russian).
- 9.** SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions [internet]. Moscow: Ministry of Construction of Russia; 2018. Available at: <https://nav.tn.ru/cloud/iblock/f5b/f5b5eb39fe907589327bf01914c30df4/SP-63.13330.2018-Betonnye-i-zhelezobetonnye-konstruktsii.-Osnovnye-polozheniya.pdf>. (In Russian).
- 10.** SP 387.1325800.2018. Spatial reinforced concrete structures of roofs and floors. Design requirements. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).
- 11.** SP 20.13330.2016. Loads and actions. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).
- 12.** SNiP 2.01.07-85*. Loads and actions. Moscow: FSUE CPP; 2005. (In Russian).
- 13.** Shugaev V.V. Calculation and design of reinforced concrete shells from rhombic elements of bent section. In: Spatial structures of buildings and structures: collection of articles. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1991, iss. 6, pp. 193–212. (In Russian).
- 14.** Unheated general-purpose building made of steel fiber-reinforced concrete (for experimental construction). Working drawings E-592.02-84. Leningrad: LenZNIIEP; 1984. (In Russian).
- 15.** Reinforced concrete spatial roof made of curved precast elements. Working drawings of the experimental roof 2PK-078-1-82 KZhl. Moscow: KTB NIIZHB; 1982. (In Russian).
- 16.** Pavilion-type building made of bent-formed elements with a span of 18 m. Working drawings of the experimental building 08.PK.39.2.89.KZhl. Moscow: KTB NIIZHB; 1989. (In Russian).
- 17.** Dome-type bulk material warehouses made of fiber-reinforced concrete. Code TP-14-265. Leningrad: LenPSP; 1982. (In Russian).
- 18.** Shugaev V.V., Sokolov B.S. Innovative Spatial Structures of R.C. Silos. In: Proc. of the IASS Int. Symp. "Conceptual Design of Structures". Univ. of Stuttgart, Germany; 1996, pp. 953–960.
- 19.** Roofing of a group canopy for a trade fair pavilion. Working drawings of the experimental coating 08.PK.291.04.88.KZhl. Moscow: KTB NIIZHB; 1988. (In Russian).
- 20.** Epshteyn M.A., Snegovskoy A.I., Shugaev V.V., Sokolov B.S. Precast spatial roofs from three-layer bent-formed elements. Montazhnye i spetsial'nye raboty v stroitel'stve [Installation and Specialized Works in Construction]. 2000;[6]:2–4. (In Russian).
- 21.** Epshteyn M.A., Shugaev V.V., Sokolov B.S. Possibilities of Using the Camber Method for the Production of Three-Layer Reinforced Concrete Roof Elements. Concrete Technologies. 2006;[6]:44–45. (In Russian).
- 22.** Epshteyn M.A., Shugaev V.V., Sokolov B.S. Reinforcement of Three-Layer Curved Enclosing Structures Manufactured by the Camber Method. Concrete Technologies. 2007;[2]:28–29. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Борис Сергеевич Соколов[✉], канд. техн. наук, заведующий лабораторией тонкостенных и пространственных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: moo-shell@mail.ru

Boris S. Sokolov[✉], Cand. Sci. (Engineering), Laboratory Head, Laboratory of Thin-Walled and Spatial Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: moo-shell@mail.ru

Акрам Иванов, д-р техн. наук, главный научный сотрудник лаборатории тонкостенных и пространственных наук, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Akram Ivanov, Dr. Sci. (Engineering), Chief Researcher, Laboratory of Thin-Walled and Spatial Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Дмитрий Владимирович Пасхин, заместитель заведующего лабораторией тонкостенных и пространственных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Dmitrii V. Pashkin, Deputy Laboratory Head, Laboratory of Thin-Walled and Spatial Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Виталий Александрович Титаев, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории тонкостенных и пространственных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»; доцент кафедры железобетонных конструкций, НИУ МГСУ, Москва

Vitalii A. Titaev[✉], Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Leading Researcher, Laboratory of Thin-Walled and Spatial Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction; Associate Professor, Department of Reinforced Concrete Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow

[✉] Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

АКТУАЛИЗАЦИЯ МЕЖГОСУДАРСТВЕННОГО СТАНДАРТА «ПЛИТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫЕ ДЛЯ ОБЛИЦОВКИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ»

В.А. ТИТАЕВ^{1,2,✉}, канд. техн. наук

Б.С. СОКОЛОВ¹, канд. техн. наук

И.А. ЧЕРНЫЙ¹

¹ 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, Российской Федерации

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

Аннотация

Введение. Изучив материалы исследований, приведенные в рассмотренных статьях, сотрудниками НИИЖБ им. А.А. Гвоздева выполнена работа по актуализации межгосударственного стандарта ГОСТ 22930-87 «Плиты железобетонные предварительно напряженные для облицовки оросительных каналов мелиоративных систем. Технические условия».

Цель. Информирование специалистов в области мелиоративного строительства о пересмотре положений ГОСТ 22930-87 в части технических условий на изготовление железобетонных предварительно напряженных плит для облицовки оросительных каналов мелиоративных систем в связи с обновлением нормативной базы по проектированию и изготовлению железобетонных изделий.

Результаты. При пересмотре ГОСТ 22930-87 решены следующие задачи: откорректирована структура и положения стандарта; уточнены требования к правилам обеспечения единства измерений в Российской Федерации. Представлены требования по испытанию плит, указаны контрольные нагрузки при испытании плит на прочность и трещиностойкость. Обоснована потребность отрасли в актуализации межгосударственного стандарта ГОСТ 22930-87. Подробно изложены задачи и ключевые изменения, внесенные в новую редакцию стандарта (ГОСТ 22930-2025). Приведены обновленные требования к бетону (класс прочности, марки по морозостойкости и водонепроницаемости), точности геометрических параметров плит, правилам приемки и методам контроля. Особое внимание удалено необходимости использования заполнителей, соответствующих ГОСТ 8267-93 и ГОСТ 8736-2014, для обеспечения стойкости бетона к щелочно-кремнеземной реакции и гарантии долговечности конструкций.

Выводы. Актуализированный ГОСТ 22930 будет способствовать качественному проектированию и изготовлению надежных и долговечных предварительно напряженных железобетонных плит для облицовки оросительных каналов мелиоративных систем.

Ключевые слова: железобетон, конструирование, испытание, приемка, метод контроля, плита покрытия канала, предварительное напряжение, оросительный канал, мелиоративная система, щелочно-кремнеземная реакция

Для цитирования: Титаев В.А., Соколов Б.С., Черный И.А. Актуализация межгосударственного стандарта «Плиты железобетонные предварительно напряженные для облицовки оросительных каналов

мелиоративных систем». *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2025;47(4):76–89. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-76-89](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-76-89)

Вклад авторов

Все авторы внесли равнозначный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Статья написана по результатам выполнения контрактных обязательств между АО «НИЦ «Строительство» и ФАУ «ФЦС».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 28.08.2025

Поступила после рецензирования 02.10.2025

Принята к публикации 09.10.2025

UPDATE OF THE INTERSTATE STANDARD “PRESTRESSED REINFORCED CONCRETE SLABS FOR IRRIGATION CANAL LINING OF MELIORATION SYSTEMS”

V.A. TITAEV^{1,2,✉}, Cand. Sci. (Engineering)

B.S. SOKOLOV¹, Cand. Sci. (Engineering)

I.A. CHERNYI¹

¹Research 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

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

Abstract

Introduction. After studying the research materials presented in the reviewed articles, the Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev have completed the work on updating the State Standard 22930-87 interstate standard “Prestressed reinforced concrete slabs for lining irrigation canals of reclamation systems. Specifications”.

Aim. To inform the specialists in the field of land reclamation construction about the revision of State Standard 22930-87 provisions regarding the technical conditions for the manufacture of prestressed reinforced concrete slabs for lining irrigation canals of reclamation systems due to the updated regulatory framework for the design and manufacture of reinforced concrete products.

Results. The revision of State Standard 22930-87 addressed the following issues: the structure and provisions of the standard were adjusted; the requirements to the rules for ensuring the uniformity of measurements in the Russian Federation were clarified. The requirements for testing the slabs are presented; control loads for strength and cracking resistance testing of slabs are specified. The urgency of updating the State Standard 22930-87 interstate standard for the industry is substantiated. The objectives and key changes introduced in the new edition of the standard (State Standard 22930-2025) are described in detail. Updated requirements for concrete, including the strength class, as well as frost and water resistance grades, accuracy of slab geometric parameters, acceptance rules, and inspection methods are provided. Particular attention is paid to the compliance of fillers to State Standard 8267-93 and State Standard 8736-2014 for ensuring the concrete resistance to the alkali-silica reaction and guarantying the durability of structures.

Conclusions. The updated State Standard 22930 will facilitate the high-quality design and manufacture of reliable and durable prestressed reinforced concrete slabs for lining irrigation canals of drainage systems.

Keywords: reinforced concrete, design, testing, acceptance, inspection method, canal slab, prestressing, irrigation canal, reclamation system, alkali-silica reaction

For citation: Titaev V.A., Sokolov B.S., Chernyi I.A. Update of the interstate standard "Prestressed reinforced concrete slabs for irrigation canal lining of melioration systems". *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2025;47(4):76–89. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-76-89](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-76-89)

Authors contribution statement

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

Funding

The article is written based on the results of the fulfillment of contractual obligations between the JSC Research Center of Construction and Federal Center for Regulation, Standardization and Technical Assessment in Construction (FAU "FCC").

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 28.08.2025

Revised 02.10.2025

Accepted 09.10.2025

В мелиоративной практике нашли широкое применение облицовки из предварительно напряженных железобетонных плит. Используют их для облицовки открытых оросительных, обводнительных, энергетических, водопроводных, рыбоводных и других каналов, для крепления откосов земляных плотин, водобоев, рисберм, переходных участков в сооружениях и т. д. Принципиальное решение облицовки открытых каналов показано на рис. 1. Актуальность облицовки мелиоративных каналов с помощью сборных железобетонных плит подтверждается большим количеством научных работ [1–9] и патентов на изобретения [10–13] в этой области.

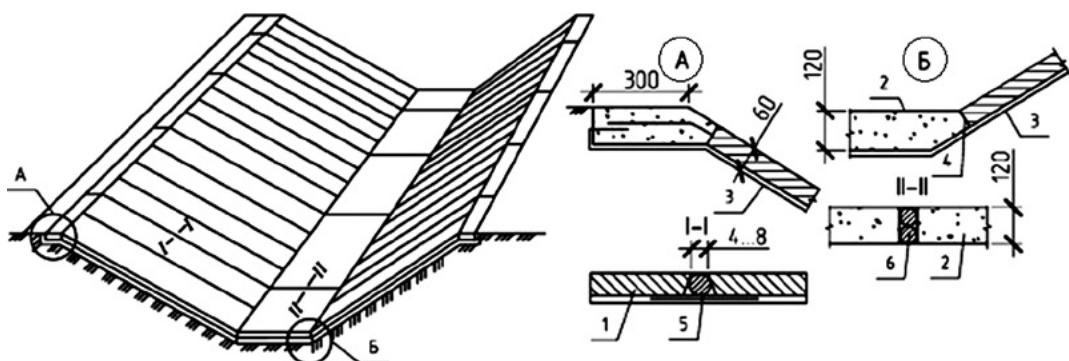


Рис. 1. Принципиальное решение крепления откосов мелиоративного канала из сборного железобетона:

1 – сборная плита; 2 – монолитный железобетон; 3 – пленка ПВХ; 4 – битум; 5, 6 – заполнители швов [источник: [3]]

Fig. 1. Basic option for fastening the slopes of an irrigation canal made of precast reinforced concrete: 1 – precast slab;

2 – monolithic reinforced concrete; 3 – PVC film; 4 – bitumen; 5, 6 – joint fillers [source: [3]]

При строительстве ряда каналов (Большой Ставропольский, Куйбышевский, Саратовский, Большой Волгоградский и др.) широко использовались железобетонные предварительно напряженные железобетонные плиты марки ПКН.

Применение данных плит способствовало улучшению качества работ благодаря индустриализации, заводской технологии производства и контроля качества изделий. Общий вид облицовочных мелиоративных плит марки ПКН показан на рис. 2. Здесь плиты установлены с допускаемым отклонением от вертикали до 8° на боковые грани.

Относительно продольной оси русла канала различают два способа расположения облицовочных плит: поперечный (рис. 3) и продольный (рис. 4).

Однако сборные облицовки каналов оросительных систем имеют и недостатки. Большое число герметизационных швов и стыков снижает со временем водонепроницаемость и эксплуатационные качества облицовки.

Статья [3] посвящена обоснованию способа ремонта облицовок откосов каналов из железобетонных плит при возникновении пустот под ними. В работе приводятся данные об устройстве крепления откосов каналов железобетонными плитами, о часто встречающихся повреждениях таких креплений, возникающих в результате размыва основания, что приводит к образованию таких дефектов облицовки мелиоративных каналов, как сползание плит и образование под ними пустот, к повреждению облицовки и значительному увеличению фильтрации, которая и без этого является основной статьей потерь при транспортировке оросительной воды [14]. Изложен оригинальный способ ремонта, заключающийся в подаче строительного раствора по трубопроводу с поверхности земли в пустоты под плитами крепления откосов, обоснованы его преимущества.



Рис. 2. Общий вид облицовочных плит марки ПКН60.20 (источник: https://irkutsk.pkfcvet.ru/media/uploads/images/zhelezobetonnye_plity_oblicovki_kanalov.jpg)

Fig. 2. General view of PKN60.20 facing slabs (source: https://irkutsk.pkfcvet.ru/media/uploads/images/zhelezobetonnye_plity_oblicovki_kanalov.jpg)



Рис. 3. Пример «поперечного» расположения облицовочных плит в русле канала [Северо-Крымский канал]
(источник: <https://cdn-st4.rtr-vesti.ru/vh/pictures/hd/407/988/3.jpg>)

Fig. 3. Transverse arrangement of facing slabs in the bed of the North Crimean Canal (source: <https://cdn-st4.rtr-vesti.ru/vh/pictures/hd/407/988/3.jpg>)



Рис. 4. Пример «продольного» расположения облицовочных плит в русле канала [Заволжская ООС]. Наличие растительности в русле канала свидетельствует о нарушении сплошности покрытия канала [источник: [3]]

Fig. 4. Longitudinal arrangement of facing slabs in the canal bed of the Zavolzhskaya Irrigation System. Vegetation in the canal bed indicates the violated continuity of the canal surface (source: [3])

Для ремонта подобных повреждений и предотвращения смещения плит облицовки требуется набор операций, аналогичный работам по строительству каналов, то есть демонтаж части противофильтрационных одежд в месте образования пустот, восстановление планировки откосов и показателей грунтового основания, обработка грунтового основания гербицидами, восстановление пленочного экрана и монтаж сборных железобетонных плит [4, 6].

Рассмотрены и сопоставлены такие облицовочные материалы, как геомембрана, бентонитовые маты и бетонная облицовка в статье [7]. Изучено повышение эффективности и надежности оросительных каналов, исключение фильтрационных потерь воды за счет разработки и применения инновационных геосинтетических материалов при их реконструкции и ремонте. Определена возможность применения малой механизированной техники при проведении работ по очистке русла каналов, покрытых бетонным полотном от наносов.

В работе [2] определялась прочность железобетонных плит крепления откосов в нижних бьефах мелиоративных каналов на примере шлюза-регулятора на Большом Ставропольском канале. Установлено, что толщины плит, работающих в натурных условиях, достаточно. С учетом рекомендаций свода правил [15] определены нагрузки, действующие на железобетонную плиту покрытия откоса, и выполнены расчеты на прочность и трещинообразование, которые подтвердили, что принятые характеристики плит удовлетворяют требованиям обеспечения надежности [16].

Возможность замены стальной напряженной арматуры в железобетонных облицовочных плитах на стеклопластиковую рассмотрена в статье [1]. Композитная арматура обладает рядом преимуществ перед стальной. На примере показана возможность использования стеклопластиковой арматуры в качестве рабочей напряженной арматуры плиты. В реальном же проектировании вызывает сомнение решение вопроса по конструктивной адаптации результатов расчета в связи со сложностью при анкеровке данной арматуры в бетоне плиты, а также учете ее реальных деформативных особенностей.

Рассмотрев материалы исследований, приведенные в изученных статьях, с целью реализации возможности дальнейшего развития строительства и реконструкции мелиоративных сетей стран содружества и таможенного союза сотрудниками лаборатории тонкостенных и пространственных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева выполнена работа по актуализации ГОСТ 22930-87 «Плиты железобетонные предварительно напряженные для облицовки оросительных каналов мелиоративных систем. Технические условия» [17].

Структура нормативного документа актуализированной редакции составлена на основании требований ГОСТ 1.5-2001 [18].

Актуализированный межгосударственный стандарт содержит 9 разделов и 2 приложения. Стандарт распространяется на железобетонные предварительно напряженные плиты, изготавляемые из тяжелого бетона и предназначенные для облицовки оросительных каналов мелиоративных систем:

- при глубине потока воды до 3 м включительно, максимальной высоте волны 0,5 м и отсутствии ледовых нагрузок;
- сооружаемых в нескальных грунтах при неагрессивной степени воздействия на железобетонные конструкции;
- сооружаемых в несейсмических районах, а также в районах с сейсмичностью до 8 баллов включительно;

– сооружаемых в районах с температурой наружного воздуха (средней наиболее холодной пятидневки) до минус 40 °С включительно.

Стандарт пересмотрен в обеспечение требований ГОСТ 13015-2012 [19], ГОСТ 26633-2015 [20], ГОСТ 27751-2014 [16], ГОСТ 31384-2017 [21].

ГОСТ 22930-87 [17] пересмотрен с учетом требований Федерального закона от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [22], распространяется на железобетонные предварительно напряженные плиты, изготавляемые из тяжелого бетона и предназначенные для облицовки оросительных каналов мелиоративных систем.

Целью пересмотра ГОСТ 22930-87 [17] является актуализация его положений в части технических условий на изготовление железобетонных предварительно напряженных плит для облицовки оросительных каналов мелиоративных систем в связи с обновлением нормативной базы по проектированию и изготовлению железобетонных изделий.

При пересмотре ГОСТ 22930-87 [17] решены следующие задачи:

– откорректирована структура и положения стандарта в связи изменениями требований основополагающих стандартов (ГОСТ Р 1.5-2001 [18]);

– уточнены требования к правилам обеспечения единства измерений в Российской Федерации, установленным Федеральным законом от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [23] и документами уполномоченных федеральных органов исполнительной власти.

При пересмотре стандарта назначен определенный уровень по морозостойкости и водонепроницаемости, указан класс бетона по прочности, гарантирующий обеспечение заданных морозостойкости и водонепроницаемости.

Кроме этого, одной из задач пересмотра межгосударственного стандарта [17] является также установление актуальных технических требований ГОСТ 34028-2016 [24].

В разработанной редакции стандарта пересмотрена его структура. Ряд пунктов прежней редакции стандарта исключен.

В разделе 1 «Область применения» уточнено, что плиты для покрытия открытых мелиоративных каналов являются сборными изделиями.

В разделе 2 «Нормативные ссылки» уточнен и дополнен перечень используемых стандартов.

В раздел 3 «Термины, определения» внесен ряд редакционных изменений.

Раздел 4 «Условные обозначения» поясняет структуру маркировки плит.

Раздел 5 «Форма и основные размеры» содержит требования к основным геометрическим параметрам плит.

Раздел 6 «Технические требования» содержит перечень конструктивных и технологических требований, предъявляемых стандартами и другими нормативными документами к плитам, а также к материалам и арматурным изделиям, используемым для плит.

Основные параметры бетона, представленные в табл. 1, назначены на основании требований к бетону изделий по прочности, морозостойкости и водонепроницаемости с учетом класса среды эксплуатации в соответствии с требованиями ГОСТ 31384-2017 [21].

Определены значения фактических отклонений геометрических параметров плит, которые не должны превышать предельных, указанных в табл. 2.

Раздел 7 «Правила приемки» переработан в соответствии с ГОСТ 13015-2012 [19], требования при приемке плит определены и приведены в табл. 3.

Таблица 1
Основные параметры бетона плит

Table 1
Basic parameters of slab concrete

Параметр	Минимальное значение
Класс бетона по прочности на сжатие	B22,5
Марка бетона по морозостойкости	F ₁ 200
Марка по водонепроницаемости	W6
Водопоглощение по массе	Не более 5 %

Таблица 2
Предельные отклонения геометрических параметров плит

Table 2
Limit deviations of slab geometric parameters

Вид отклонения геометрического параметра	Геометрический параметр и его номинальное значение, мм	Предельное отклонение, мм
Отклонение от линейного размера	Длина плиты: – 4000 – 5000 и 6000 Ширина плиты: – 750 и 1000 – 1500 – 2000 Толщина плиты Размер, определяющий положение монтажных петель: – по длине плиты – по ширине плиты – по толщине плиты	± 20 ± 25 ± 10 ± 12 ± 15 +5, -3 ± 20 ± 10 ± 3
Отклонение от прямолинейности	Прямолинейность профиля поверхности боковых граней плиты в любом сечении на всей длине:	± 12 ± 15
Отклонение от равенства диагоналей	Разность длин диагоналей лицевой поверхности плиты длиной: – 4000 – 5000 и 6000	± 16 ± 20

В раздел 8 «Методы контроля» внесен ряд редакционных изменений. Представлены требования по испытанию плит, указаны контрольные нагрузки при испытании плит на прочность и трещиностойкость.

Раздел 9 «Маркировка, хранение и транспортирование» реструктурирован и сокращен.

В Приложении А (обязательном) в графической и табличной формах представлены марки и основные геометрические размеры плит.

В Приложении Б (обязательном) приведены схемы армирования предварительно напряженных плит. В связи с рассинхронизацией актуализации стандартов и сводов правил

Таблица 3
Требования при приемке плит

Table 3

Slab acceptance requirements

Наименование показателя	Вид контроля			Объем выборки и (или) периодичность контроля
	операционный	приемо-сдаточный	периодический	
Натяжение арматуры	+	-	-	100 % постоянно
Отпускная и передаточная прочность	-	+	-	100 % постоянно
Прочность бетона на сжатие	-	+	-	100 % постоянно
Толщина защитного слоя	-	+	-	100 % постоянно
Прочность сварных соединений	+	-	-	100 % постоянно
Соответствие диаметра и количества арматурных стержней или проволок	+	-	-	100 % постоянно
Соответствие рабочим чертежам по геометрическим размерам	-	+	-	100 % постоянно
Внешне-видовые характеристики	-	+	-	100 % постоянно
Трещиностойкость плит	-	+	-	Не реже одного раза в 6 мес.
Морозостойкость бетона	-	-	+	Не реже одного раза в 6 мес.
Водопоглощение бетона	-	-	+	Не реже одного раза в 3 мес.
Водонепроницаемость бетона	-	-	+	Не реже одного раза в 6 мес.

по проектированию и производству железобетонных изделий из текста Приложения Б исключены спецификации и выборки арматурной стали, содержащиеся в ГОСТ 22930-87 [17]. Изготовление арматурных элементов (каркасов, сеток и отдельных арматурных элементов при производстве железобетонных плит) следует выполнять по отдельным проектам на основании действующих на момент производства требований нормативной литературы. В актуализированном стандарте нет жесткой привязки между маркой плиты и расходом, а также диаметрами арматурной стали.

Актуализированная редакция стандарта одобрена и рекомендована к утверждению на заседании научно-технического совета НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство».

Ряд предложений о внесении изменений в актуализированный ГОСТ 22930-87 [17] касался уравнивания в возможности использования стандартов ГОСТ 8267-93 [25] и ГОСТ 32703-2014 [26]; ГОСТ 8736-2014 [27] и ГОСТ 32824-2014 [28] или ГОСТ 32730-2014 [29].

Железобетонные изделия, в частности плиты предварительно напряженные железобетонные для облицовки оросительных каналов мелиоративных систем, в процессе эксплуатации подвергаются воздействию различных факторов (как внешних, так и внутренних): состав бетона и качество составляющих материалов, определяющие эксплуатационные свойства бетона (морозостойкость, водонепроницаемость), химический состав цемента (в частности – содержание C_3A , определяющее вероятность возникновения сульфоалюминатной коррозии при контакте с сульфатами; содержание щелочей и т. д.), содержание аморфного

кремнезема в заполнителях, которые оказывают значительное влияние на их долговечность. При этом даже небольшие отклонения от нормируемых допусков в технологии производства железобетонных изделий, изменение химико-минералогического состава используемых материалов, а также ухудшение условий эксплуатации могут привести к значительному снижению долговечности.

Наблюдения за состоянием подобных железобетонных изделий позволили выявить, что разрушения могут вызываться процессами, возникающими внутри тела бетона при взаимодействии щелочей цемента с аморфным кремнеземом, содержащимся в заполнителе. Скорость процессов внутренней коррозии и вызываемых ею изменений структуры бетона может быть различной и зависит от ряда факторов: содержания щелочей в цементе, вида реакционноспособных составляющих в заполнителях, температурно-влажностных условий их твердения и эксплуатации.

В статье [30] представлено описание процесса внутренней коррозии бетона, возникающей при взаимодействии компонентов бетона без обменных реакций с внешней средой. Наиболее распространенным процессом внутренней коррозии является взаимодействие щелочей цемента и химических добавок с диоксидом кремния из состава заполнителей реакции щелочей с кремнеземом.

Требования к горным породам отражены в [25, п. 4.8.2]: «Щебень и гравий должны быть стойкими к воздействию окружающей среды. Щебень и гравий, предназначенные для применения в качестве заполнителей для бетонов, должны обладать стойкостью к химическому воздействию щелочей цемента. Стойкость щебня и гравия определяют по минералогопетрографическому составу исходной горной породы и содержанию вредных компонентов и примесей, снижающих долговечность бетона и вызывающих коррозию арматуры железобетонных изделий и конструкций».

Аналогичное указание есть в стандарте на песок [27, п. 4.2.14]: «Песок, обогащенный песок и фракционированный песок, предназначенные для применения в качестве заполнителей для бетонов, должны обладать стойкостью к химическому воздействию щелочей цемента». В ГОСТ 32730-2014 [29] и ГОСТ 32824-2014 [28] данные требования отсутствуют.

В ГОСТ 8269.0-97 [31, п. 4.22] установлены последовательные этапы по определению реакционной способности горной породы и щебня (гравия): «Реакционную способность (РС) горной породы, щебня (гравия) характеризуют наличием минералов, содержащих растворимый в щелочах кремнезем».

В связи с изложенным предложения по уравниванию в использовании стандартов [25, 27], стандарты [26, 28, 29] отклонены из-за того, что в них отсутствуют требования к материалам, гарантирующие обеспечение долговечности бетонных изделий, отвечающей требованиям ГОСТ 27751-2014 [16]. В качестве инертных заполнителей для бетона при изготовлении плит для облицовки оросительных каналов мелиоративных систем следует использовать материалы по ГОСТ 8267-93 [25] и ГОСТ 8736-2014 [27].

Авторы выражают уверенность в том, что актуализированный ГОСТ 22930 будет способствовать качественному проектированию и изготовлению надежных и долговечных предварительно напряженных железобетонных плит для облицовки оросительных каналов мелиоративных систем.

Приказом № 869-ст от 12 августа 2025 года Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии [32] ГОСТ 22930-2025 «Плиты железобетонные предварительно

напряженные для облицовки оросительных каналов мелиоративных систем. Технические условия» вводится в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2026 года.

Список литературы

1. Арьков Д.П., Сухов А.А., Никифорова Д.Н., Антасова Е.А., Жихарев А.Г. Конструирование плит для облицовки оросительных каналов мелиоративных систем с применением композитной арматуры. Международный научно-исследовательский журнал. 2021;{12}:119–123. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.114.12.018>.
2. Гостищев В.Д., Тищенко А.И. Расчет прочности плит крепления нижних бьефов мелиоративных каналов на примере шлюза-регулятора «Нулевого» большого ставропольского канала. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2019;{1}:119–138. <https://doi.org/10.31774/2222-1816-2019-1-119-138>.
3. Семененко С.Я., Марченко С.С., Дубенок Н.Н. Расчетное обоснование объема строительной смеси при устранении пустот под плитами крепления мелиоративных каналов. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017;{6, часть 1}:56–61.
4. Разработка ряда типовых конструкций гидротехнических сооружений для гидромелиоративных систем. Отчет о научно-исследовательской работе № АААА-А20-120032690080-3. Нальчик: ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ; 2020.
5. Косиченко Ю.М., Колганов А.В., Чернов М.А. Выбор противофильтрационных облицовок при реконструкции каналов в земляном русле. В: Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: Сб. ст. по материалам науч. конф., Новочеркасск. Новочеркасск: ФГНУ «РосНИИПМ»; 2007, Вып. 38, с. 48–53.
6. Абакаров А.Т. Повышение эксплуатационной надежности оросительных систем. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агронженерный университет имени В.П. Горячкina». 2008;{5-1}:99–103.
7. Абдразаков Ф.К., Рукавишников А.А., Сафин Э.Э. Покрытие оросительных каналов инновационным бетонным полотном и адаптивные способы их эксплуатации. Мелиорация и водное хозяйство. 2023;{2}:32–36. <https://doi.org/10.32962/0235-2524-2023-2-32-36>.
8. Федоров В.М. Новые облицовки каналов оросительных систем. Научный журнал КубГАУ [интернет]. 2011;{66}. Режим доступа: <https://ej.kubagro.ru/2011/02/pdf/19.pdf>.
9. Рукавишников А.А. Повышение эффективности ремонта бетонных облицовок оросительных каналов композитными материалами [диссертация]. Саратов; 2021.
10. Комоцкий Ю.М., Нищета А.Ф. Бетонопленочная облицовка каналов: Патент № 1406292 СССР. Опубл. 30.06.1988.
11. Галифанов Г.Н., Аннаниязов А.Б. Облицовка канала. Патент № 1728339 СССР. Опубл. 23.04.1992.
12. Гурьев А.П., Беглярова Э.С., Соколова С.А. Облицовка канала. Патент № 2251606 Российской Федерации. Опубл. 10.05.2005.
13. Семененко С.Я., Дубенок Н.Н., Арьков Д.П., Марченко С.С., Чушкин А.Н., Скворцов В.Ф. Противофильтрационная облицовка канала мелиоративного сооружения из составных блоков лотков. Патент № 2671103 Российской Федерации. Опубл. 29.10.2018.
14. Гарбуз А.Ю. Повышение эффективности ремонта бетонных облицовок оросительных каналов композитными материалами [диссертация]. Новочеркасск; 2021.
15. СП 100.13330.2016. Мелиоративные системы и сооружения. Актуализированная версия СНиП 2.06.03-85. Москва: Минстрой России; 2016.
16. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. Москва: Стандартинформ; 2019.
17. ГОСТ 22930-87. Плиты железобетонные предварительно напряженные для облицовки оросительных каналов мелиоративных систем. Технические условия. Москва: Издательство стандартов; 1987.
18. ГОСТ 1.5-2001. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению. Москва: Стандартинформ; 2010.
19. ГОСТ 13015-2012. Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения. Москва: Стандартинформ; 2018.

- 20.** ГОСТ 26633-2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2019.
- 21.** ГОСТ 31384-2017. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования. Москва: Стандартинформ; 2018.
- 22.** Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федеральный закон от 30 дек. 2009 № 384-ФЗ [интернет]. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=475858>.
- 23.** Об обеспечении единства измерений: Федеральный закон от 26 июня 2008 № 102-ФЗ [интернет]. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=490078&ysclid=mhd2ptmvp5726998568>.
- 24.** ГОСТ 34028-2016. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2019.
- 25.** ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2018.
- 26.** ГОСТ 32703-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Технические требования. Москва: Стандартинформ; 2019.
- 27.** ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2019.
- 28.** ГОСТ 32824-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный. Технические требования. Москва: Стандартинформ; 2019.
- 29.** ГОСТ 32730-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Песок дробленый. Технические требования. Москва: Стандартинформ; 2019.
- 30.** Розенталь Н.К., Любарская Г.В. Коррозия бетона при взаимодействии щелочей с диоксидом кремния заполнителя. Бетон и железобетон. 2012;(1):50–60.
- 31.** ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний. Москва: Стандартинформ; 2018.
- 32.** О введении в действие межгосударственного стандарта: Приказ № 869-ст от 12 августа 2025 года [интернет]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_513329/
- 33.** Павлова И.П. О влиянии заполнителей на модуль упругости бетона. В: Напрягающие цементы, бетоны и самонапряженные конструкции: сборник трудов Международной научно-практической конференции, Брест, 18-20 декабря 2000 г. Брест: БГТУ; 2000, с. 164–170.

References

- 1.** Arkov D.P., Sukhov A.A., Nikiforova D.N., Antyasova E.A., Zhikharev A.G. Design of slabs for lining irrigation canals of land reclamation systems using composite reinforcement. International Research Journal. 2021;(12):119–123. (In Russian). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.114.12.018>.
- 2.** Gostishchev V.D., Tishchenko A.I. Calculation of fixing plates strength of downstream irrigation canals by the example of the “zero” weir of great Stavropol canal. Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems. 2019;(1):119–138. (In Russian). <https://doi.org/10.31774/2222-1816-2019-1-119-138>.
- 3.** Semenenko S.Ya., Marchenko S.S., Dubenok N.N. Calculation justification of the volume of construction mixture when eliminating voids under the slabs of irrigation canals. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2017;(6, part 1), pp. 56–61. (In Russian).
- 4.** Development of a number of standard designs of hydraulic structures for irrigation and drainage systems: Report on the research work. No. R&D AAAA-A20-120032690080-3. Nalchik: FGBOU VO Kabardino-Balkarian SAU; 2020. (In Russian).
- 5.** Kosichenko Yu.M., Kolganov A.V., Chernov M.A. Selection of seepage-preventive linings for reconstruction of earthen channels. In: Ways to Improve the Efficiency of Irrigated Agriculture. Novocherkassk: Federal State Scientific Institution “RosNIIPM”; 2007, Iss. 38, pp. 48–53. (In Russian).
- 6.** Abakarov A.T. Improving the operational reliability of irrigation systems. Vestnik of federal state educational institution of higher professional education “Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin. 2008;(5-1):99–103. (In Russian).
- 7.** Abdrazakov F.K., Rukavishnikov A.A., Safin E.E. Covering irrigation canals with innovative concrete pavement and adaptive ways of their operation. Melioration and Water Management. 2023;(2):32–36. (In Russian). <https://doi.org/10.32962/0235-2524-2023-2-32-36>.

8. Fedorov V.M. New linings for irrigation canals. Scientific Journal of KubSAU [internet]. 2011;(66). Available at: <https://ej.kubagro.ru/2011/02/pdf/19.pdf>. (In Russian).
9. Rukavishnikov A.A. Improving the efficiency of repairing concrete linings of irrigation canals with composite materials [dissertation]. Saratov; 2021. (In Russian).
10. Komotsky Yu.M., Nishcheta A.F. Concrete film lining of canals. Patent No. 1406292 USSR. Publ. date 30 June 1988. (In Russian).
11. Galifanov G.N., Annaniyazov A.B. Canal lining. Patent No. 1728339 USSR. Publ. date 23 April 1992. (In Russian).
12. Guryev A.P., Beglyarova E.S., Sokolova S.A. Channel lining. Patent No. 2251606 Russian Federation. Publ. date 10 May 2005. (In Russian).
13. Semenenko S.Ya., Dubenok N.N., Ar'kov D.P., Marchenko S.S., Chushkin A.N., Skvortsov V.F. Anti-seepage lining of a drainage structure channel made of prefabricated tray blocks. Patent No. 2671103 Russian Federation. Publ. date 29 October 2018. (In Russian).
14. Garbuz A.Yu. Improving the efficiency of repairing concrete linings of irrigation canals with composite materials [dissertation]. Novocherkassk; 2021. (In Russian).
15. SP 100.13330.2016. The reclamation systems and construction. Updated version of SNiP 2.06.03-85. Moscow: Ministry of Construction of the Russian Federation; 2016. (In Russian).
16. State Standard 27751-2014. Reliability for constructions and foundations. General principles. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
17. State Standard 22930-87. Prestressed reinforced concrete slabs for irrigation canal lining of melioration systems. Specifications. Moscow: Publishing House of Standards; 1987. (In Russian).
18. State Standard 1.5-2001. Interstate standards, rules and recommendations for interstate standardization. General requirements for structure, drafting, presentation, content and indication. Moscow: Standartinform Publ.; 2010. (In Russian).
19. State Standard 13015-2012. Concrete and reinforced concrete products for construction. General technical requirements. Rules for acceptance, marking, transportation and storage. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).
20. State Standard 26633-2015. Heavy-weight and sand concretes. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
21. State Standard 31384-2017. Protection of concrete and reinforced concrete structures against corrosion. General technical requirements. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).
22. Technical regulations on the safety of buildings and structures: Federal Law of December 30, 2009 No. 384-FZ [internet]. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=475858>. (In Russian).
23. On ensuring the uniformity of measurements: Federal Law of June 26, 2008 No. 102-FZ [internet]. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=490078&ysclid=mhd2ptm-vp5726998568>. (In Russian).
24. State Standard 34028-2016. Reinforcing rolled products for reinforced concrete constructions. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
25. State Standard 8267-93. Crushed stone and gravel of solid rocks for construction work. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).
26. State Standard 32703-2014. Automobile roads of general use. Crushed stone and gravel from rocks. Technical requirements. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
27. State Standard 8736-2014. Sand for construction work. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
28. State Standard 32824-2014. Automobile roads of general use. Natural sand. Technical requirements. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
29. State Standard 32730-2014. Automobile roads of general use. Crushed sand. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
30. Rosenthal N.K., Lyubarskaya G.V. Corrosion of concrete during the interaction of alkalis with silica filler. Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete. 2012;(1):50–60. (In Russian).
31. State Standard 8269.0-97. Mountainous rock road-metal and gravel, industrial waste products for construction works. Methods of physical and mechanical tests. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).

- 32.** On the introduction of the interstate standard: Order No. 869-st of August 12, 2025 [internet]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_513329/. (In Russian).
- 33.** Pavlova I.P. On the influence of aggregates on the modulus of elasticity of concrete. In: Tensioning cements, concretes and self-stressed structures: proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Brest, December 18-20, 2000. Brest: Brest State Technical University; 2000, pp. 164-170. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Виталий Александрович Титаев[✉], канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории тонкостенных и пространственных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»; доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций, НИУ МГСУ, Москва
e-mail: titaev@bk.ru

Vitalii A. Titaev[✉], Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Leading Researcher, Laboratory of Thin-Walled and Spatial Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction; Associate Professor, Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow
e-mail: titaev@bk.ru

Борис Сергеевич Соколов, канд. техн. наук, заведующий лабораторией тонкостенных и пространственных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: moo-shell@mail.ru

Boris S. Sokolov, Cand. Sci. (Engineering), Laboratory Head, Laboratory of Thin-Walled and Spatial Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: moo-shell@mail.ru

Иван Александрович Черный, младший научный сотрудник лаборатории тонкостенных и пространственных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: kron_975@mail.ru

Ivan A. Chernyi, Junior Researcher, Laboratory of Thin-Walled and Spatial Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: kron_975@mail.ru

[✉] Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОМЕТРИЧЕСКИХ СКВАЖИН НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРУНТОВ

П.М. САЗОНОВ¹

И.А. ДЫМЧЕНКО^{1,2}

А.А. ЩЕРБАКОВА^{1,2,✉}

¹Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений (НИИОСП) им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Рязанский проспект, д. 59, г. Москва, 109428, Российская Федерация

²АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Для мониторинга температурных условий многолетнемерзлых грунтов широко применяются системы температурных датчиков, размещенных на различных глубинах в скважинах. При этом датчики, как правило, располагаются внутри специальных защитных трубок, предохраняющих оборудование от механических и химических воздействий. Однако конструктивные особенности этих трубок, такие как их материал и диаметр, могут влиять на эффективность передачи тепла от грунта к сенсору, а значит и на точность измерений. Помимо этого, актуален вопрос необходимости теплоизоляции верхней надземной части защитной трубы для исключения влияния температуры воздуха на показания температурных датчиков.

Цель. Определение зависимости достоверности значений температуры грунтов по глубине от конструкции термометрической скважины и разработка наиболее оптимальной конструкции термометрической скважины.

Материалы и методы. Методология заключается в проведении анализа архивной изыскательской и проектной документации, а также нормативной и другой технической литературы, проведении лотковых исследований, а также в разработке рекомендаций по учету конструктивных параметров термометрических скважин при измерении температуры многолетнемерзлых грунтов.

Результаты. В результате комплекса экспериментальных исследований определена оптимальная конструкция термометрической скважины. Даны рекомендации по внесению изменений в СП 25.13330.2020 и ГОСТ 25358-2020.

Выводы. При классическом мониторинге следует использовать защитные трубы из поливинилхлорида или стали диаметром 57 мм. При исследовании точной температуры грунтов в слое сезонного оттаивания необходимо учитывать погрешность, вызванную сталью, или использовать поливинилхлоридную трубку. Оголовок трубы должен быть надежно теплоизолирован.

Ключевые слова: температура многолетнемерзлых грунтов, геотехнический мониторинг, термометрические скважины, погрешность измерений

Для цитирования: Сазонов П.М., Дымченко И.А., Щербакова А.А. Влияние конструктивных параметров термометрических скважин на точность измерения температуры грунтов. Вестник НИЦ «Строительство». 2025;47(4):90–103. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-90-103](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-90-103)

Вклад авторов

Все авторы внесли равнозначный вклад в подготовку публикации.

Финансиование

Исследование выполнено в рамках контракта с ФАУ «ФЦС».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 19.10.2025

Поступила после рецензирования 10.11.2025

Принята к публикации 13.11.2025

DESIGN EFFECTS ON THE ACCURACY OF SOIL TEMPERATURE MEASUREMENTS IN THERMOMETRIC WELLS

P.M. SAZONOV¹

I.A. DYMCHENKO^{1,2}

A.A. SHCHERBAKOVA^{1,2,✉}

¹Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Ryazanskiy ave., 59, Moscow, 109428, Russian Federation

²JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract

Introduction. Temperature sensor systems installed in wells at various depths are widely used to monitor temperature conditions in permafrost soils. In this case, sensors are typically located inside special tubes protecting the equipment from mechanical and chemical impacts. However, design features of these tubes, such as material and diameter, can affect the efficiency of heat transfer from soil to the sensor and thus the accuracy of measurements. Moreover, the issue of thermal insulation for the above-ground part of the protective tube is relevant to eliminate the influence of air temperature on the readings of temperature sensors.

Aim. To determine the reliability of soil temperature values by depth depending on the thermometric well design; to develop the most optimal design of a thermometric well.

Materials and methods. The method involves analyzing archival survey and design documentation, as well as regulatory and other technical sources, conducting soil container experiments, and developing recommendations for taking into account the design parameters of thermometric wells when measuring the temperature of permafrost soils.

Results. The optimal design of a thermometric well is determined in experimental studies. Recommendations for amendments to SP 25.13330.2020 and State Standard 25358-2020 are provided.

Conclusions. For routine monitoring, protective PVC or steel tubes with a diameter of 57 mm should be used. The studies of the exact soil temperature in the seasonal thaw layer should consider the error caused by steel; otherwise, a PVC tube should be used. The head of the tube must be reliably thermally insulated.

Keywords: permafrost temperature, geotechnical monitoring, thermometric wells, measurement error

For citation: Sazonov P.M., Dymchenko I.A., Shcherbakova A.A. Design effects on the accuracy of soil temperature measurements in thermometric wells. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction.* 2025;47(4):90–103 (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-90-103](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-90-103)

Authors contribution statement

All the authors have made an equal contribution to the preparation of the publication.

Funding

The study was carried out under a contract with the Federal Center for Regulation, Standardization, and Technical Assessment of Conformity in Construction.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 19.10.2025

Revised 10.11.2025

Accepted 13.11.2025

Введение

В настоящее время для измерения температуры грунтов применяются подготовленные и выстоянные термометрические скважины, устраиваемые в соответствии с СП 25.13330.2020 [1] и ГОСТ 25358-2020 [2]. Согласно ГОСТ 25358-2020 [2], для измерения температуры грунтов следует использовать инженерно-геологические скважины диаметром не более 160 мм и целевые термометрические скважины диаметром не более 90 мм.

При проведении измерений температуры возникают отклонения температуры в скважине от истинной температуры грунтов. Эти отклонения могут быть существенными и изменяются в течение года [3–5].

Средства измерения температуры, подобно средствам измерения других физических величин, не могут обеспечить определение действительного значения температуры исследуемого объекта, поскольку физические принципы и исходные условия проведения измерений в некоторой степени оказываются нарушенными. Результат измерений температуры будет отличаться от ее действительного значения на величину, называемую абсолютной погрешностью измерения температуры [6]. Абсолютную погрешность можно разделить на три составляющие: методическую, инструментальную и погрешность регистрации наблюдений. Конструктивные особенности термометрической скважины могут вызывать методическую погрешность.

Цель работы состоит в определении, какие материалы и размеры защитных трубок обеспечивают минимальное искажение температурных данных.

Материалы и методы

В рамках исследования принято проводить лабораторные лотковые испытания моделей термометрических скважин разной конструкции в песчаном основании. Для выявления зависимости того, как материал защитной трубы влияет на распределение температуры грунтов по глубине, принято сравнивать результаты измерений температуры грунта в металлической трубке Ø 57 мм и поливинилхлоридной (ПВХ) трубке Ø 57 мм. Чтобы оценить, как диаметр защитной трубы влияет на распределение температуры грунтов по глубине, принято сравнивать результаты измерений температуры грунта в ПВХ трубках с диаметрами 57, 90 и 160 мм. Таким образом, для решения двух поставленных задач принято использовать четыре защитные трубы разного материала и диаметра в одинаковых условиях. В связи

с задачей изучить необходимость теплоизоляции верхней надземной части защитной трубы, принято провести два лотковых испытания: первое – без теплоизоляции оголовка трубы, второе – с теплоизоляцией оголовка трубы.

В рамках подготовительных работ подготовлен экспериментальный лоток. Лоток представляет собой открытую емкость диаметром 600 мм и высотой 800 мм. Внутри лотка устанавливаются защитные трубы с закрытым нижним концом – металлическая труба Ø 57 мм, ПВХ труба Ø 57 мм, ПВХ труба Ø 90 мм, ПВХ труба Ø 160 мм, длина трубок одинаковая – 1000 мм. Внутрь защитных трубок опускаются термометрические косы с шагом датчиков 100 мм, оставшийся объем лотка заполняется грунтом с заданными значениями плотности и влажности. В процессе заполнения лотка в грунт (в центр лотка) устанавливается отдельная термометрическая коса без защитной трубы с шагом датчиков 100 мм. На оголовках трубок устанавливаются защитные крышки. Стенки и дно лотка теплоизолируются монтажной пеной с коэффициентом теплопроводности 0,05 Вт/(м°C) и толщиной 200 мм. Отдельно подготавливаются теплоизолирующие крышки с размерами внутреннего отверстия такими, чтобы вмещать в себя оголовок трубы, и толщиной изоляции 40 мм. Крышка состоит из материала с коэффициентом теплопроводности 0,05 Вт/(м°C). В ходе подготовки испытательный стенд устанавливается в морозильную камеру.

Проведение испытаний

В ходе первого испытания заморозка грунта длилась десять дней при температуре минус 15 °C, согласно предварительному теплотехническому расчету. Затем морозильная камера была переведена на среднюю по глубине лотка температуру (минус 13,7 °C). После выдержки в течение четырех дней морозильную камеру отключили и в ней установилась комнатная температура (20 °C). За четырнадцать дней температура грунта достигла комнатной температуры.

После завершения первого лоткового эксперимента была выполнена теплоизоляция оголовков защитных трубок и начат второй

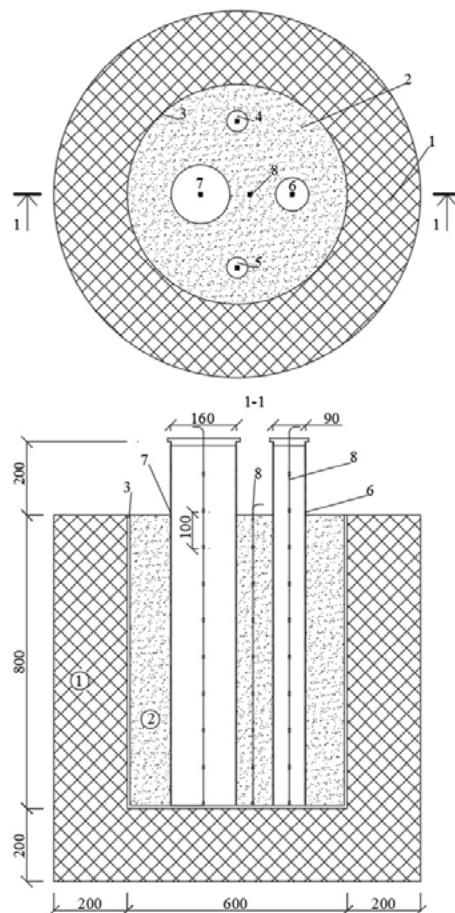


Рис. 1. Принципиальная схема лотка:
1 – теплоизоляция; 2 – песчаный грунт; 3 – емкость;
4 – трубка металлическая Ø 57 мм; 5 – трубка ПВХ Ø 57 мм;
6 – трубка ПВХ Ø 90 мм; 7 – трубка ПВХ Ø 160 мм; 8 – термометрическая коса

Fig. 1. Schematic diagram of the soil container:
1 – thermal insulation; 2 – sandy soil; 3 – container;
4 – metal tube Ø 57 mm; 5 – PVC tube Ø 57 mm; 6 – PVC tube Ø 90 mm; 7 – PVC tube Ø 160 mm; 8 – thermometric cable



а (а)

Рис. 2. Общий вид экспериментального лотка: а – без теплоизоляции оголовков; б – с теплоизоляцией оголовков
(фото: И.А. Дымченко)



б (б)

Fig. 2. General view of the experimental container: a – without thermal insulation of heads; b – with thermal insulation of heads (photo by I.A. Dymchenko)

лотковый эксперимент. В ходе второго испытания заморозка грунта длилась восемь дней при температуре минус 15 °С. Затем морозильная камера была переведена на температуру минус 13,7 °С. После выдержки в течение четырех дней морозильную камеру отключили, за десять дней в ней установилась комнатная температура (20 °С).

Принципиальная схема лотка представлена на рис. 1. Общий вид экспериментального лотка приведен на рис. 2.

Результаты лотковых испытаний

В результате испытания № 1 построены графики изменения температуры во времени для различных глубин, представленные на рис. 3–5.

При измерении температуры в защитных трубках не фиксируются фактические значения температуры грунтов [7–11]. Измеряется температура воздуха в защитной трубке, на которую оказывает влияние температура грунта, температура защитной трубы и конвективный теплообмен в пространстве защитной трубы. Поэтому выбирая ту или иную конструкцию защитной трубы, необходимо рассматривать вопрос точности получаемых с ее помощью результатов.

Согласно результатам измерений:

- при фиксации температуры на глубине 0,1 м общая точность измерений низкая. В защитной трубке Ø 57 мм из ПВХ получены самые точные результаты, среднее отклонение – 0,5 °С. Самое большое отклонение получено при измерении в стальной защитной трубке Ø 57 мм – 1,1 °С;

- при фиксации температуры на глубине 0,4 м общая точность измерений выросла. В защитной трубке Ø 57 мм из ПВХ получены самые точные результаты, среднее отклонение – 0,1 °С. Самое большое отклонение получено при измерениях в стальной защитной трубке Ø 57 мм – 0,9 °С;

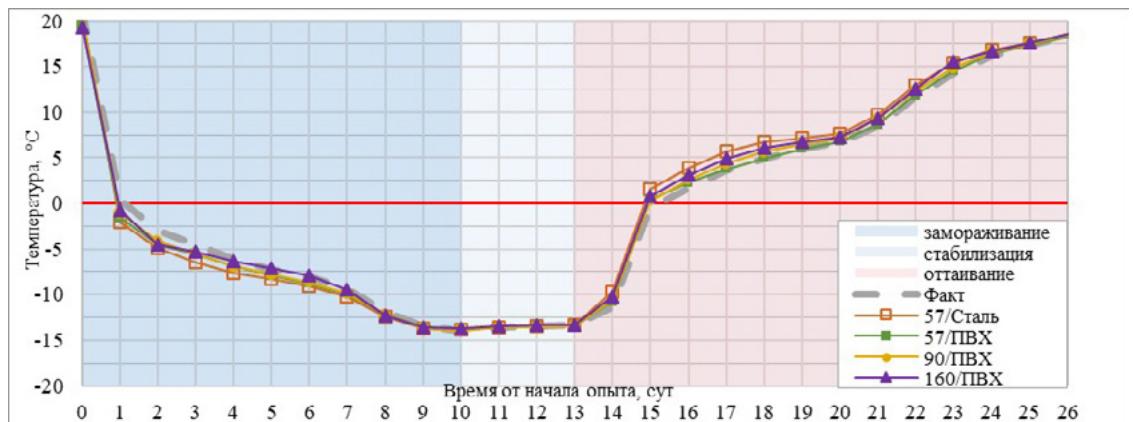


Рис. 3. График изменения температуры во времени на глубине 0,1 м
Fig. 3. Temperature change over time at a depth of 0.1 m

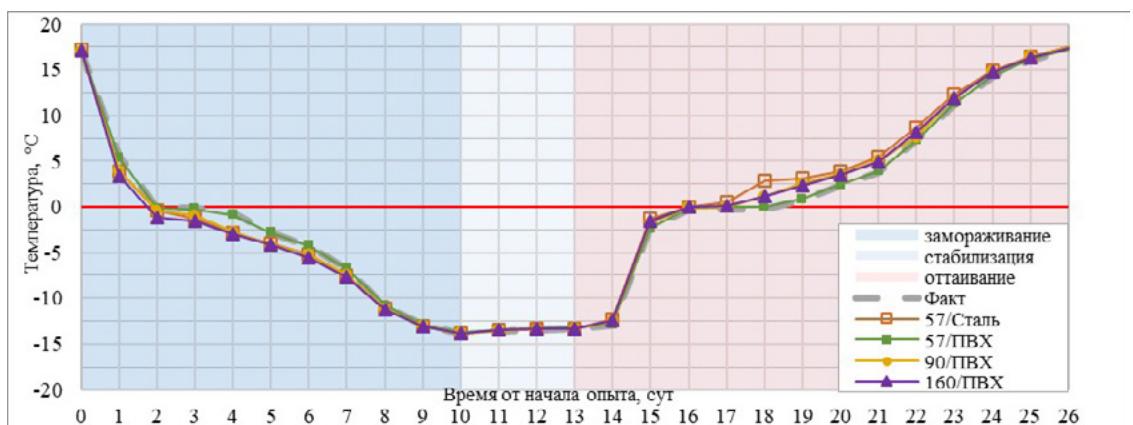


Рис. 4. График изменения температуры во времени на глубине 0,4 м
Fig. 4. Temperature change over time at a depth of 0.4 m

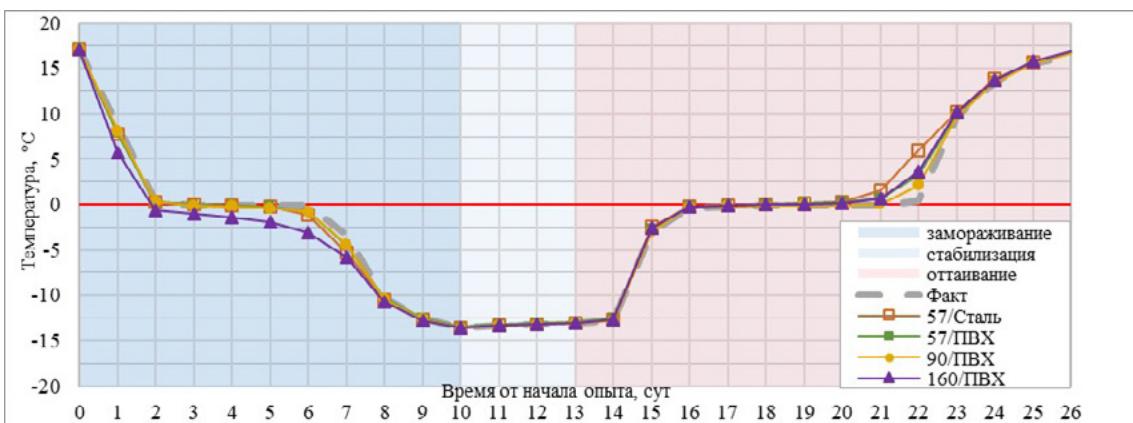


Рис. 5. График изменения температуры во времени на глубине 0,8 м
Fig. 5. Temperature change over time at a depth of 0.8 m

– при фиксации температуры на глубине 0,8 м общая точность измерений самая высокая. В защитной трубке Ø 90 мм из ПВХ получены самые точные результаты, среднее отклонение – 0,2 °C. Самое большое отклонение получено при измерениях в защитной трубке Ø 160 мм из ПВХ – 0,8 °C;

– на этапе выдержки измерения во всех защитных трубках показали высокую точность, среднее отклонение – 0,06 °C.

Согласно результатам второго испытания, наличие теплоизоляции оголовков защитных трубок показало, что при измерении температуры в стальной трубке и в трубке Ø 160 мм из ПВХ точность увеличилась в среднем на 0,2 °C.

Влияние материала защитной трубы

В рамках экспериментальных исследований проведены испытания с использованием двух материалов защитных трубок – ПВХ и сталь. Измерения температуры в стальной защитной трубке при прочих равных оказались менее точными. В среднем измерения в ПВХ трубке того же диаметра оказались точнее на 0,6 °C, чем измерения в стальной трубке. На рис. 6 представлена гистограмма изменения величины среднего отклонения температуры в зависимости от глубины измерения.

Согласно графику, с увеличением глубины измерения влияние материала защитной трубы на точность результатов измерения температуры грунта постепенно снижается.

Лотковый эксперимент № 2 показал, что наличие теплоизоляционного короба на оголовке защитной трубы позволяет сгладить недостатки стальных защитных трубок. Во втором опыте в среднем измерения в ПВХ трубке того же диаметра оказались точнее на 0,4 °C, чем измерения в стальной трубке.

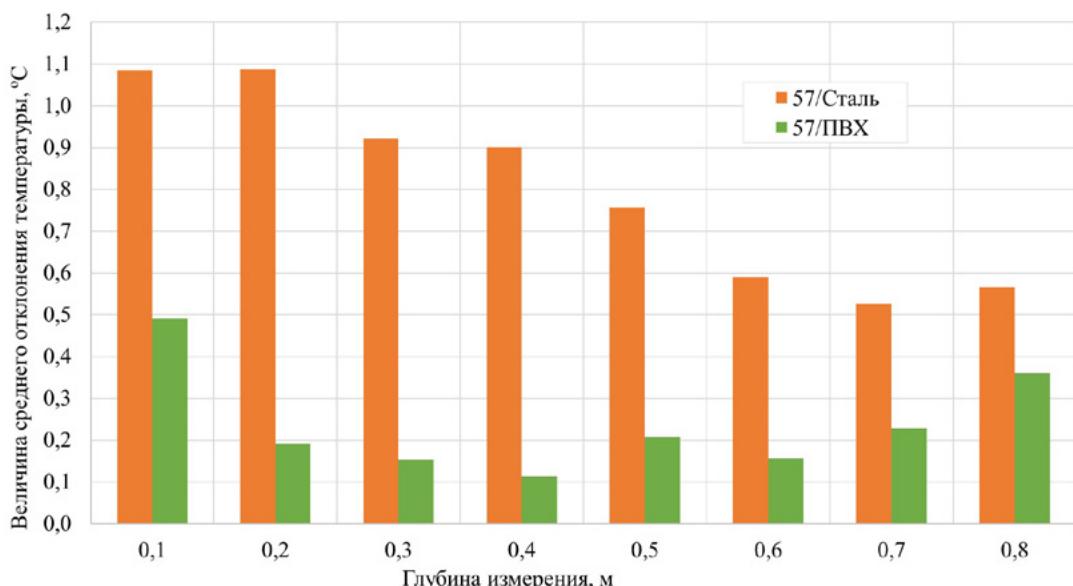


Рис. 6. Гистограмма изменения величины среднего отклонения температуры в зависимости от глубины измерения
Fig. 6. Histogram of the change in the average temperature deviation depending on the measurement depth

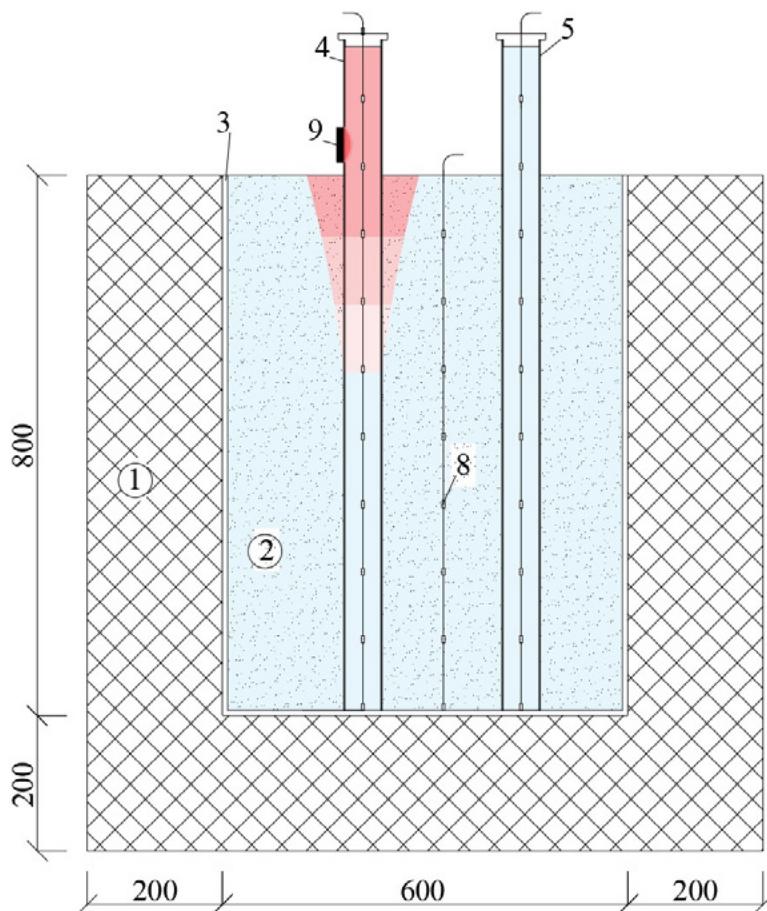


Рис. 7. Принципиальная схема опыта с нагревателем: 1 – теплоизоляция; 2 – песчаный грунт; 3 – емкость; 4 – трубка металлическая Ø 57 мм; 5 – трубка ПВХ Ø 57 мм; 8 – термометрическая коса; 9 – нагревательный элемент

Fig. 7. Schematic diagram of the experiment with a heater: 1 – thermal insulation; 2 – sandy soil; 3 – container; 4 – metal tube Ø 57 mm; 5 – PVC tube Ø 57 mm; 8 – thermometric cable; 9 – heating element

В рамках экспериментальных исследований проведен дополнительный опыт. При постоянной положительной температуре воздуха и грунта к боковой поверхности оголовков защитных трубок равного диаметра и разных материалов на 1 час в одинаковые места прикладывался нагревательный элемент с температурой 40 °C, (сначала к стальной трубке, затем к ПВХ трубке). В этот момент с помощью логгера и термометрических кос каждую минуту фиксировалась температура по всем точкам. Цель опыта – наглядно продемонстрировать, как влияние внешних факторов оказывается на результатах измерения, в зависимости от материала защитной трубы. Принципиальная схема опыта с нагревателем показана на рис. 7.

Согласно результатам опыта с нагревателем, за 1 час на глубине 0,1 м температура увеличилась на 3,8 °C в стальной защитной трубке и на 3,0 °C в ПВХ защитной трубке. При этом эффект от нагрева в стальной трубке распространился на глубину 0,3 м, а в ПВХ трубке значительно снизился уже на глубине 0,2 м. Результаты показывают необходимость утеплителя оголовков защитных трубок, в особенности стальных защитных трубок.

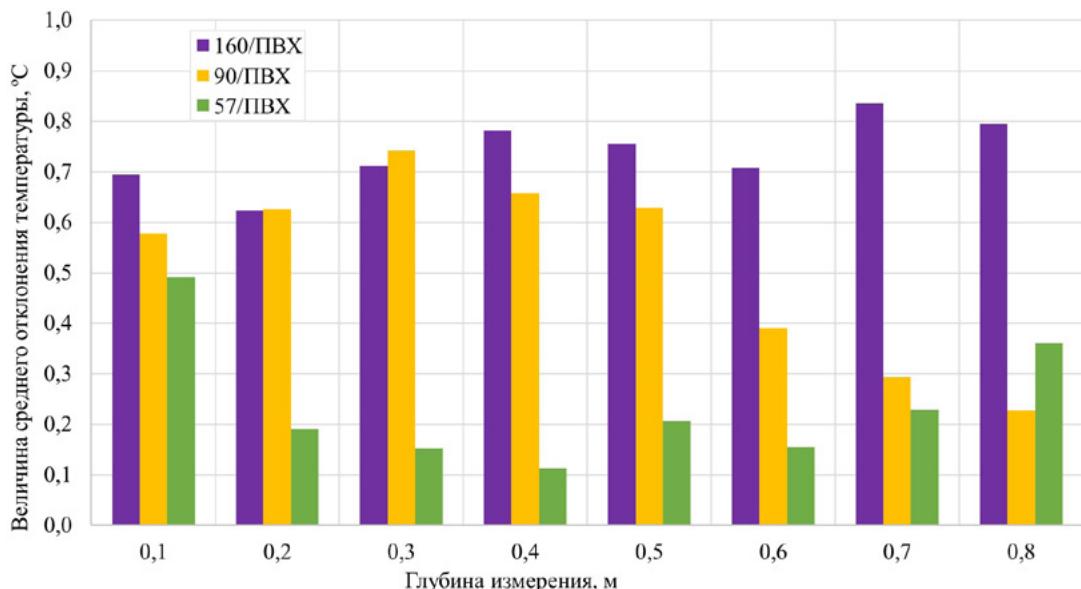


Рис. 8. Гистограмма изменения средней величины отклонения температуры
Fig. 8. Histogram of the change in the average temperature deviation

Влияние диаметра защитной трубы

В рамках экспериментальных исследований проведены испытания с использованием защитных трубок из ПВХ трех диаметров: 57, 90 и 160 мм. На рис. 8 представлены гистограммы изменения величины среднего отклонения температуры в зависимости от глубины измерения для разных диаметров трубок.

Измерение температуры в защитной трубке Ø 160 мм показало значительные отклонения от фактической температуры грунта. В среднем измерения в ПВХ трубке Ø 57 мм оказались точнее, чем измерения в ПВХ трубке Ø 90 мм на 0,3 °C, и точнее, чем измерения в ПВХ трубке Ø 160 мм на 0,5 °C.

Согласно графикам, с увеличением глубины измерения снижается влияние диаметра защитной трубы на точность результатов измерения температуры грунта. В эксперименте № 1 тенденция сохраняется для защитной трубы Ø 160 мм и снижается для защитных трубок Ø 57 и Ø 90 мм. Таким же образом в эксперименте № 2 измерения в трубке Ø 57 мм оказались точнее, чем измерения в трубке Ø 90 мм на 0,3 °C, и точнее, чем измерения в трубке Ø 160 мм на 0,4 °C.

Лотковый эксперимент № 2 показал, что наличие теплоизоляционного короба на оголовке защитной трубы позволяет незначительно сгладить недостатки защитных трубок большого диаметра.

В процессе анализа полученных результатов выявлено, что самые большие отклонения фиксируемой в защитных трубках температуры от фактической наблюдаются в районе фазового перехода грунта (минус 0,05 °C). В районах распространения многолетнемерзлых грунтов фазовым переходам подвержены, как правило, грунты слоя сезонного оттаивания. Из чего следует вывод, что при измерениях температуры в слое сезонного оттаивания необходимо учитывать возможность значительных температурных отклонений.

Для дальнейшего анализа принято отобрать и сравнить участки времени, где средняя скорость изменения температуры меньше $0,1^{\circ}\text{C}$ в течение 3 часов. Такие результаты принято считать «выдержанными». В результате обработки опытных данных выявлено, что 38 % времени испытания соответствуют критерию отбора. В остальное время температура в скважинах менялась слишком быстро, чтобы считать ее «выдержанной». При этом общая средняя точность измерений выросла с $0,6^{\circ}\text{C}$ (для всех фиксируемых значений) до $0,3^{\circ}\text{C}$ (для «выдержанных» значений). Общая зависимость от материала и диаметра сохранилась:

- для трубы из ПВХ $\varnothing 57$ мм средняя точность измерений составила $0,1^{\circ}\text{C}$;
- для трубы из ПВХ $\varnothing 90$ мм средняя точность измерений составила $0,3^{\circ}\text{C}$;
- для трубы из ПВХ $\varnothing 160$ мм средняя точность измерений составила $0,5^{\circ}\text{C}$;
- для трубы из стали $\varnothing 57$ мм средняя точность измерений составила $0,4^{\circ}\text{C}$.

Результаты такой обработки показали, что точность измерений напрямую зависит от скорости изменения температуры грунта: чем медленнее меняется температура грунта, тем выше точность измерений в защитной трубке. При этом в процессе лотковых экспериментов температура грунта менялась с большей интенсивностью, чем обычно происходит на практике. Следует отметить, что в условиях эксперимента температура воздуха в рамках каждого периода поддерживалась постоянной, что исключало суточные колебания температуры, характерные для естественных условий. Во время эксперимента температура грунта снизилась на 33°C за десять суток, в то время как на практике в районах распространения многолетнемерзлых грунтов такое изменение температуры грунта может произойти только в верхней части сезонно-талого слоя за несколько месяцев зимнего периода.

Время выдержки

Согласно результатам испытаний, после фазового перехода в защитной трубке устанавливается температура, с высокой точностью повторяющая фактическую температуру грунта. Этот процесс происходит за разный промежуток времени и зависит от материала

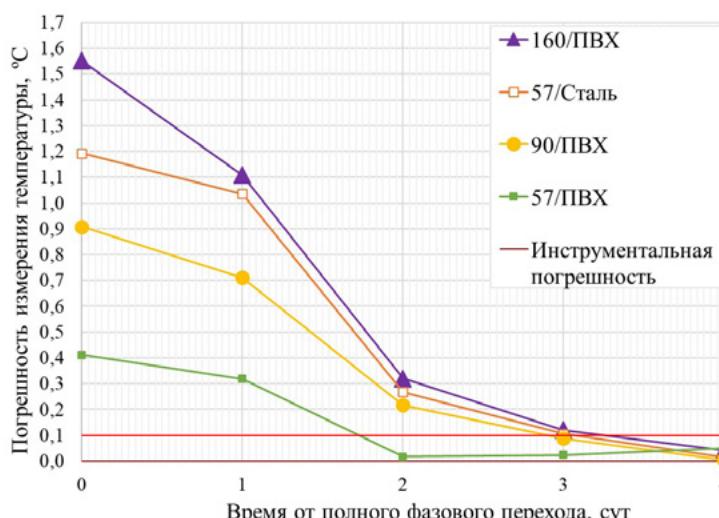


Рис. 9. График изменения погрешности измерений температуры во времени
Fig. 9. Change in the temperature measurement error over time

и диаметра защитной трубы. Наиболее характерная зависимость прослеживается по результатам первого опыта. График изменения погрешности измерений температуры во времени представлен на рис. 9.

Согласно графику, результаты измерений достигли приемлемой точности:

- в защитной трубке из ПВХ Ø 57 мм за 41 час;
- в защитной трубке из ПВХ Ø 90 мм за 69 часов;
- в защитной трубке из ПВХ Ø 160 мм за 79 часов;
- в защитной трубке из стали Ø 57 мм за 73 часа.

Второе лотковое испытание показало, что утеплитель способствует ускорению процесса «выдергки» для стальных защитных трубок и защитных трубок большого диаметра, результаты измерений достигли приемлемой точности:

- в защитной трубке из ПВХ Ø 57 мм за 47 часов;
- в остальных трубках за 70 часов.

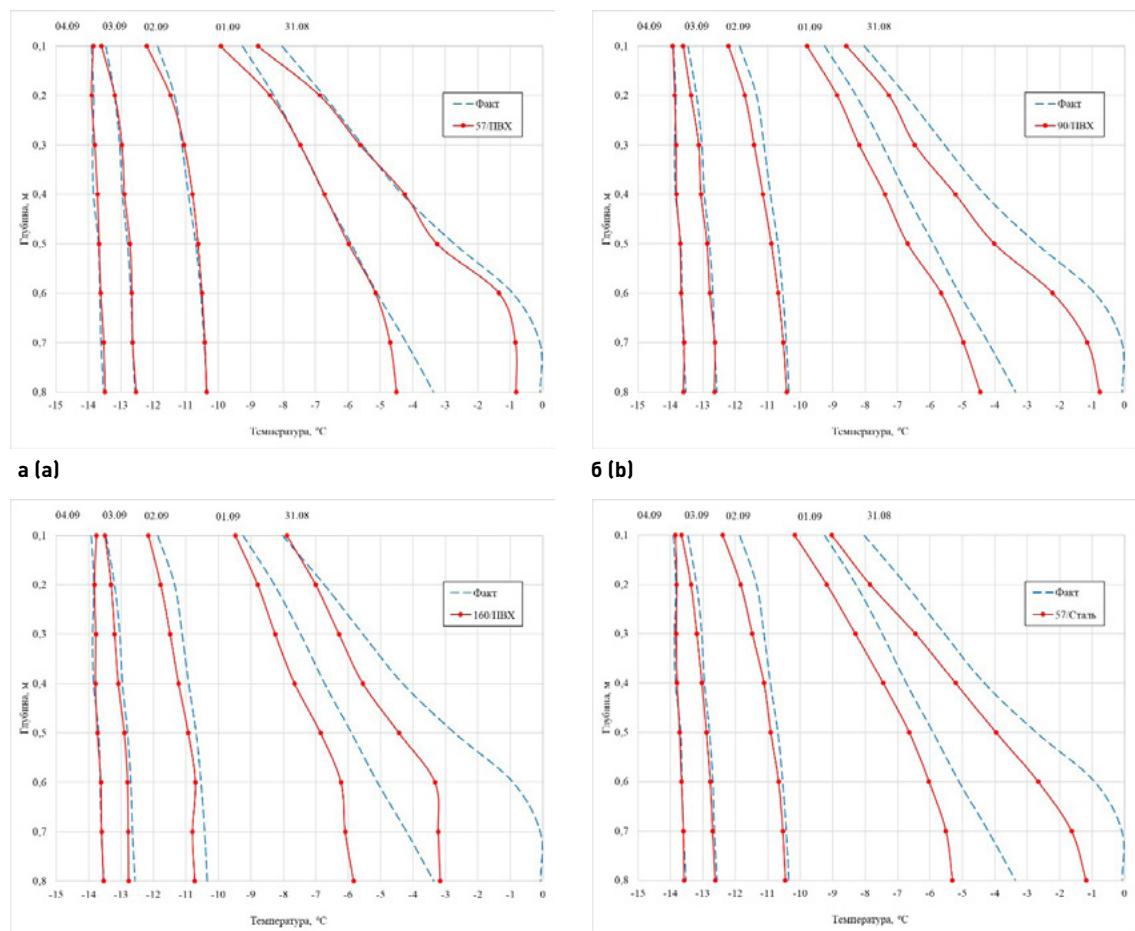


Рис. 10. График зависимости температуры от глубины для различных трубок: а – стальной Ø 57 мм; б – ПВХ Ø 90 мм; в – ПВХ Ø 160 мм; г – ПВХ Ø 57 мм

Fig. 10. Temperature vs depth for different tubes: a – steel Ø 57 mm; b – PVC Ø 90 mm; c – PVC Ø 160 mm; d – PVC Ø 57 mm

Графики зависимости температуры от глубины в разные промежутки времени представлены на рис. 10.

Как видно из графиков, измерения во всех защитных трубках спустя четыре дня показали достаточно точные результаты. При этом самые точные результаты получились в защитной трубке из ПВХ Ø 57 мм, а самые неточные в защитной трубке из ПВХ Ø 160 мм.

Выводы

В настоящей работе выполнены исследования влияния конструктивных параметров термометрических скважин на распределение температуры грунтов по глубине. На основании проведенных работ определена зависимость между выбранным диаметром, материалом защитной трубы и точностью полученных результатов.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал:

– существует некоторая разница между фактической температурой грунта и температурой, определенной в защитных трубках. Это явление вызвано различиями в теплофизических свойствах грунта и воздуха, а также материалом защитной трубы. Разница может достигать нескольких градусов в момент фазового перехода грунта, при этом точность измерений температуры в защитных трубках увеличивается с увеличением глубины измерений;

– материал и диаметр защитной трубы влияет на точность измерений. Точность измерений в стальной трубке может снижаться на 0,4–0,6 °C, в отличие от измерений в ПВХ трубке того же диаметра. Снижение точности измерений в стальной трубке связано с высоким коэффициентом теплообмена по сравнению с ПВХ трубкой. В то же время точность в ПВХ трубке диаметром 57 мм оказывается выше точности измерений в ПВХ трубке диаметром 160 мм на 0,3–0,5 °C. Различия в точности измерений при разном диаметре вызваны конвективным теплообменом, для его ограничения принято использовать разделительные диски-диафрагмы, закрепленные на гирлянде через 1 м, до глубины 5 м;

– при измерении температуры грунтов выше слоя сезонного оттаивания в защитной трубке из ПВХ диаметром более 57 мм или защитной трубке из стали любого диаметра сложно добиться высокой точности результатов, что может негативно повлиять на исследования сил морозного пучения;

– при измерениях температуры грунтов ниже слоя сезонного оттаивания в защитной трубке из ПВХ или стали диаметром 57–160 мм возможно достичь приемлемой точности температуры при достаточной выдержке, длительность которой увеличивается, если использовать сталь или трубы большого диаметра.

В результате комплекса экспериментальных исследований определена оптимальная конструкция термометрической скважины. При классическом геотехническом мониторинге следует использовать защитные трубы из ПВХ или стали диаметром 57 мм. При исследовании точной температуры грунтов в слое сезонного оттаивания необходимо учитывать погрешность, вызванную сталью, или использовать ПВХ трубку. Оголовок такой трубы должен быть надежно теплоизолирован. Такая конструкция способствует повышению точности измерений.

Список литературы

1. СП 25.13330.2020. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88 [интернет]. Режим доступа: <https://nav.tn.ru/cloud/iblock/e3c/e3c7844b0552e87b77df1eb4b2e7474/SP-25.13330.2020-Osnovaniya-i-fundamenty-na-vechnomerzlykh-gruntakh.pdf>. [In Russian].
2. ГОСТ 25358-2020. Грунты. Метод полевого определения температуры. Москва: Стандартинформ; 2021.
3. Геращенко О.А., Гордов А.Н., Лах В.И., Стаднык Б.И., Ярышев Н.А. Температурные измерения. Справочник. Киев: Наукова думка; 1984.
4. Чекалюк Э.В. Основы пьезометрии залежей нефти и газа. Киев: Гостехиздат; 1961.
5. Павлов А.В. Теплообмен промерзающих и протаивающих грунтов с атмосферой. Москва: Наука; 1965.
6. Кутасов И.М. Влияние свободной тепловой конвекции и защитных трубок на температурное поле в скважинах. В: Тепловые потоки из коры и верхней мантии Земли: сб. ст. Москва: Наука; 1973, с. 99–106.
7. Грязнова Е.М. Роль геотехнического мониторинга в обеспечении эксплуатационной надежности зданий. Инновации и инвестиции. 2022;(4):143–144.
8. Шеин А.Н., Леопольд Я.К. Оценка погрешности измерения температуры грунтов в скважине с железной и пластиковой обсадкой. В: Интерэкско ГЕО-Сибирь – XIX Международный научный конгресс. Международная научная конференция «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология». Сборник материалов. Т.2. Новосибирск; 2023, с. 73–77.
9. Тулапин А.В., Рокос С.И., Длугач А.Г., Куликов С.Н., Белов М.В., Жуков К.М., Петров Е.О., Прищепенко Д.В. Гидрогеологический фактор и его возможное влияние на температурные измерения в скважинах (опыт термометрических исследований в акватории восточно-сибирского моря). В: Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. Материалы ежегодной конференции по результатам экспедиционных исследований. Вып. 9. Санкт-Петербург; 2022, с. 272–278.
10. Сазонов П.М. Алексеев А.Г. Термомеханическое взаимодействие буроопускных свай с многолетнемерзлыми грунтами. Фундаменты. 2022;(1):27–29.
11. Колыбин И.В., Алексеев А.Г., Сазонов П.М., Виноградова С.А., Зорин Д.В., Кисин Б.Ф. Разработка регламента геотехнического мониторинга крупных городов арктической зоны Российской Федерации. Отчет о НИР № ГР АААА-Б20-220121790069-7. Москва; 2022.

References

1. SP 25.13330.2020. Soil bases and foundations on permafrost soils. Updated version of SNiP 2.02.04-88 [internet]. Available at: <https://nav.tn.ru/cloud/iblock/e3c/e3c7844b0552e87b77df1eb4b2e7474/SP-25.13330.2020-Osnovaniya-i-fundamenty-na-vechnomerzlykh-gruntakh.pdf>. [In Russian].
2. State Standard 25358-2020. Soils. Field method of determining the temperature. Moscow: Standartinform Publ.; 2021. [In Russian].
3. Gerashchenko O.A., Gordov A.N., Lakh V.I., Stadnyk B.I., Yaryshev N.A. Temperature Measurements. Handbook. Kyiv: Naukova Dumka Publ.; 1984. [In Russian].
4. Chekalyuk E.V. Fundamentals of piezometry of oil and gas deposits. Kyiv: Gostekhizdat Publ.; 1961. [In Russian].
5. Pavlov A.V. Heat Exchange between Freezing and Thawing Soils and the Atmosphere. Moscow: Nauka Publ.; 1965. [In Russian].
6. Kutasov I.M. Effect of free thermal convection and protective tubes on the temperature field in boreholes. In: Heat flows from the crust and upper mantle of the earth: collection of articles. Moscow: Nauka Publ.; 1973, pp. 99–106. [In Russian].
7. Gryaznova E.M. The role of geotechnical monitoring in ensuring the operational reliability of buildings. Innovations and Investments. 2022;(4):143–144. [In Russian].
8. Shein A.N., Leopold Ya.K. Estimation of the error in measuring soil temperature in a borehole with iron and plastic casing. In: Inter Expo GEO-Siberia – XIX International scientific congress. International Scientific Conference "Subsoil Use. Mining. Directions and technologies for prospecting, exploration, and development of mineral deposits. Economy. Geoecology". Collection of materials. Vol. 2. Novosibirsk; 2023, pp. 73–77. [In Russian].

- 9.** Tulapin A.V., Rokos S.I., Dlugach A.G., Kulikov S.N., Belov M.V., Zhukov K.M., Petrov E.O., Prishchepenko D.V. Hydrogeological factor and its possible influence on temperature measurements in boreholes (experience of thermometric studies in the waters of the East Siberian Sea). Relief and Quaternary formations of the Arctic, Subarctic and Northwest Russia. Proceedings of the annual conference on the results of expedition research. Issue 9. St. Petersburg; 2022, pp. 272–278. (In Russian).
- 10.** Sazonov P.M., Alekseev A.G. Thermomechanical interaction of bored piles with permafrost soils. Foundations. 2022;(1):27–29. (In Russian).
- 11.** Kolybin I.V., Alekseev A.G., Sazonov P.M., Vinogradova S.A., Zorin D.V., Kisim B.F. Development of regulations for geotechnical monitoring of large cities in the Arctic zone of the Russian Federation. Report on Scientific and Technical Work No. GR AAAA-B20-220121790069-7. Moscow; 2022. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Павел Михайлович Сазонов, заведующий сектором проектирования и геокриологических исследований, лаборатория механики мерзлых грунтов и расчета оснований, центр геокриологических и геотехнических исследований, НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: sazonov-pm@yandex.ru

Pavel M. Sazonov, Sectoral Head, Design and Geocryological Research Sector, Laboratory of Frozen Soil Mechanics and Foundation Calculation Methods, Center for Geocryological and Geotechnical Research, Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: sazonov-pm@yandex.ru

Илья Александрович Дымченко, инженер сектора проектирования и геокриологических исследований, лаборатория механики мерзлых грунтов и расчета оснований, центр геокриологических и геотехнических исследований, НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство»; аспирант, АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: 89212002055i@gmail.com

Илья А. Дымченко, Engineer, Design and Geocryological Research Sector, Laboratory of Frozen Soil Mechanics and Foundation Calculation Methods, Center for Geocryological and Geotechnical Research, Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction; Graduate Student, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: 89212002055i@gmail.com

Анна Андреевна Щербакова[✉], инженер сектора проектирования и геокриологических исследований, лаборатория механики мерзлых грунтов и расчета оснований, центр геокриологических и геотехнических исследований, НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство»; аспирант, АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: shcherbakovaannaandreevna@gmail.com

Anna A. Shcherbakova[✉], Engineer, Design and Geocryological Research Sector, Laboratory of Frozen Soil Mechanics and Foundation Calculation Methods, Center for Geocryological and Geotechnical Research, Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction; Graduate Student, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: shcherbakovaannaandreevna@gmail.com

[✉] Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

РАЗВИТИЕ НОРМАТИВНОЙ РЕГЛАМЕНТАЦИИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

А.А. ЧУРКИН, канд. техн. наук

Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений (НИИОСП) им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, стр. 12, г. Москва, 109428, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Высокая интенсивность работ по сооружению свайных фундаментов требует налаженной системы испытаний и контроля качества. Основные неразрушающие методы технической геофизики, применяемые для контроля сплошности бетона и глубины заложения свай, достаточно хорошо исследованы с научной и практической точек зрения. Переход к системе параметрического нормирования дал возможность зафиксировать ряд положений по применению данных методов в национальных стандартах. Сейсмоакустические методы и межскважинный ультразвуковой контроль получили свои стандарты ГОСТ Р 71039 и ГОСТ Р 72171, термометрический метод вошел в имеющий широкий охват ГОСТ Р 71733. Синхронный выход нескольких регламентирующих документов позволит специалистам-геофизикам расширить поле деятельности благодаря возможности выполнения комплексных работ.

Цель. Информирование инженеров-испытателей, проектировщиков и сотрудников надзорных организаций об актуальном состоянии нормативной регламентации неразрушающего контроля качества свайных фундаментов.

Материалы и методы. Описан комплекс геофизических методов, применяемых для контроля сплошности и длины свайных фундаментов. Указаны методы, разработанность которых позволила включить их в нормативные документы.

Результатом работы является систематизация информации об актуальном состоянии вопроса нормативной регламентации применения геофизических методов для неразрушающего контроля качества свай. На примере содержания стандартов для сейсмоакустического, ультразвукового, термометрического методов показаны возможные направления регламентации методов технической геофизики.

Выводы. Основные геофизические методы, применяемые при неразрушающем контроле качества свайных фундаментов, в настоящий момент получили необходимую регламентацию на уровне национальных стандартов. Обеспечена возможность накопления информации о возможностях и ограничениях вспомогательных методик обследования. Перспектива развития нормативной регламентации состоит в дальнейшей гармонизации стандартов с действующими сводами правил и ГОСТами и анализе эмпирического материала, который позволит дорабатывать документы при их пересмотре в будущем.

Ключевые слова: техническое регулирование, техническая геофизика, контроль качества, неразрушающий контроль, свайные фундаменты, испытания свай, сейсмоакустический метод, ультразвуковой метод, термометрический метод

Для цитирования: Чуркин А.А. Развитие нормативной регламентации неразрушающего контроля качества свайных фундаментов. Вестник НИЦ «Строительство». 2025;47(4):104–117. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-104-117](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-104-117)

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 21.08.2025

Поступила после рецензирования 22.09.2025

Принята к публикации 25.09.2025

DEVELOPMENT OF REGULATIONS FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING OF PILE FOUNDATIONS

A.A. CHURKIN, Cand. Sci. (Engineering)

Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 12, Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract

Introduction. Highly intensive work on the construction of pile foundations requires a well-established system of testing and quality control. The main non-destructive methods of technical geophysics used to monitor the integrity of concrete and depth of piles is sufficiently well studied from both a scientific and practical point of view. The transition to a parametric standardization system established a number of provisions for the application of these methods in national standards. Low strain impact testing methods and crosshole sonic logging received their own State Standard R 71039 and State Standard R 72171 standards; thermal integrity profiling was included in broad-scope State Standard R 71733. The simultaneous release of several regulatory documents will expand the field of geophysical activity due to the ability of performing complex work.

Aim. To inform test engineers, designers, and employees of supervisory organizations about the current state of regulatory framework on non-destructive testing of pile foundations.

Materials and methods. The paper describes a set of geophysical methods used to monitor the integrity and length of pile foundations. The methods developed sufficiently for including in regulatory documents are indicated.

Results. The performed work systematizes the information on the current state of regulatory framework on the use of geophysical methods for non-destructive testing of piles. The content of standards for low strain impact, crosshole sonic logging, and thermal integrity profiling testing is used to demonstrate possible directions for regulating methods of technical geophysics.

Conclusions. The main geophysical methods used in non-destructive testing of pile foundations have now received the necessary regulation in national standards. The possibility of accumulating information on the capabilities and limitations of auxiliary examination methods is provided. The prospects for developing regulatory frameworks lie in the further harmonization of standards with current codes and State Standards, including the analysis of empirical data to correct documents during future revisions.

Keywords: technical regulation, technical geophysics, quality control, non-destructive testing, pile foundations, pile testing, low strain impact testing, crosshole sonic logging, thermal integrity profiling

For citation: Churkin A.A. Development of regulations for non-destructive testing of pile foundations. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction.* 2025;47(4):104–117. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-104-117](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-104-117)

Author contribution statement

The author takes responsibility for all aspects of the paper.

Funding

No funding support was obtained for the study.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 21.08.2025

Revised 22.09.2025

Accepted 25.09.2025

Введение

Технологичность процесса и высокие темпы устройства свайных фундаментов требуют налаженной системы испытаний и контроля качества [1, 2]. Основные методы технической геофизики [3, 4], применяемые для контроля сплошности бетона и глубины заложения свай, – поверхностный сейсмоакустический и межскважинный ультразвуковой, достаточно хорошо исследованы с научной и практической точек зрения [5–11].

Переход к системе параметрического нормирования и связанные с ним изменения в работе с положениями нормативных документов [12–15] потребовали ряда связанных шагов по регламентации применения геофизики для контроля качества конструкций. Сейсмоакустический и ультразвуковой методы получили свои стандарты ГОСТ Р 71039-2023 [16] и ГОСТ Р 72171-2025 [17], фиксирующие ряд положений по их применению. Область применения документов установлена таким образом, чтобы оставалась возможность выполнения опытно-методических работ по решению специфических задач. Применение методов на практике часто позволяет изучать конструкции, подобные сваям по тем или иным параметрам [18–20].

На рис. 1 [6] представлена сравнительная диаграмма геофизических методов неразрушающего контроля свайных фундаментов, использующих различные по характеру физические принципы. Эти методы значительно различаются по распространенности, объему подготовительных работ и разрешающей способности. Курсивом даны методики, для которых в настоящий момент созданы нормативные документы. Можно заметить, что лучше всего разработан вопрос применения волновых методов.

Общие положения термометрического метода (thermal integrity profiling, TIP) отражены в ГОСТ Р 71733-2024 [21]. Последние научные исследования области применения и ограничений данной методики показывают, что сопровождавший введение метода в широкую практику в 2010-е годы ажиотаж был преждевременен – ограничения области применения метода требуют уточнения [22–24].

Синхронный выход нескольких регламентирующих документов позволит специалистам-геофизикам расширить поле деятельности с учетом возможностей комплекса полевых методов. Необходимость дальнейшего развития методов неразрушающего контроля свай обусловлена техническими сложностями, высокой стоимостью и ограниченной применимостью методов прямого контроля качества, поэтому можно рассчитывать на тот факт, что и другие методы, перечисленные на рис. 1, получат развитие, с дальнейшим включением в нормативы.

В рамках настоящего материала будут обозначены особенности регулирования применения геофизических методов и описан ряд деталей разработанных документов.



Рис. 1. Методы неразрушающего контроля качества свай (с изменениями, из [6]), сгруппированные согласно используемым физическим принципам

Fig. 1. Methods of non-destructive pile testing (with modifications from [6]) in accordance with used physical principles

Методы исследования

Действующими нормативно-техническими документами обязательного и добровольческого применения (СП 45.13330.2017 [25], СП 47.13330.2016 [26], СП 120.13330.2022 [27], СП 122.13330.2023 [28] и др.) установлена необходимость использования геофизических методов для решения следующих задач: проведение инженерно-геологических изысканий, обследование сооружений и строительных конструкций, контроль качества строительства, научно-техническое сопровождение строительства. Применительно к обследованию свайных фундаментов это в первую очередь исследование состояния уже изготовленной конструкции – на этапе выходного контроля либо в рамках оценки технического состояния сооружения.

Чтобы определить комплекс необходимых нормативных мер, коротко опишем путь нормативного регулирования неразрушающего контроля свай в последние годы. Вопросы назначения испытаний свай активно обсуждались в сообществах специалистов в минувшее десятилетие [1–3]. Упоминания методов и указания на определение объемов исследований уже содержались в текстах профильных сводов правил. На практике это приводило к ситуациям, в которых от органов технического надзора, проектировщиков и обследователей требовалось учитывать результаты геофизики в своей работе. На российском рынке появилось оборудование отечественного производства, позволяющее выполнять комплекс исследований (за исключением метода испытаний свай с волновой теорией удара).

Для отдельных методов группами специалистов разрабатывались документы уровня стандартов организаций (СТО) [2], предварительных национальных стандартов (например, ГНСТ 804-2022 [29]), методические руководства. Этапным является «Руководство по контролю

качества скрытых работ геофизическими методами при строительстве подземных объектов, включая объекты метрополитена, на территории Москвы» [30], выпущенное в 2021 году, от которого можно вести отсчет появления современной нормативной документации по контролю сплошности свай [14].

Как отмечается в [3], основным направлением нормативного развития для методов технической геофизики является создание на основе существующих методик полноценных инженерно-геофизических технологий. Для этого необходимо решение нескольких задач [4]: определение применимости теоретических моделей; разработка специализированных методов обработки; построение интерпретационных моделей; наличие специализированных аппаратных и программных комплексов; подготовка нормативной и методической документации для процедуры исследования.

С учетом описанной выше специфики можно предложить следующую схему регламентации геофизического метода (рис. 2), опирающуюся на три направления:

- разработка документов, регламентирующих работу специалиста в полевых и камеральных условиях;
- уточнение области применения метода за счет его включения в документы, отвечающие за назначение объемов исследований;
- разработка рекомендаций и указаний по работе с результатами геофизики.

Рассмотрим подробнее реализацию первого направления на примере новейших нормативных документов.

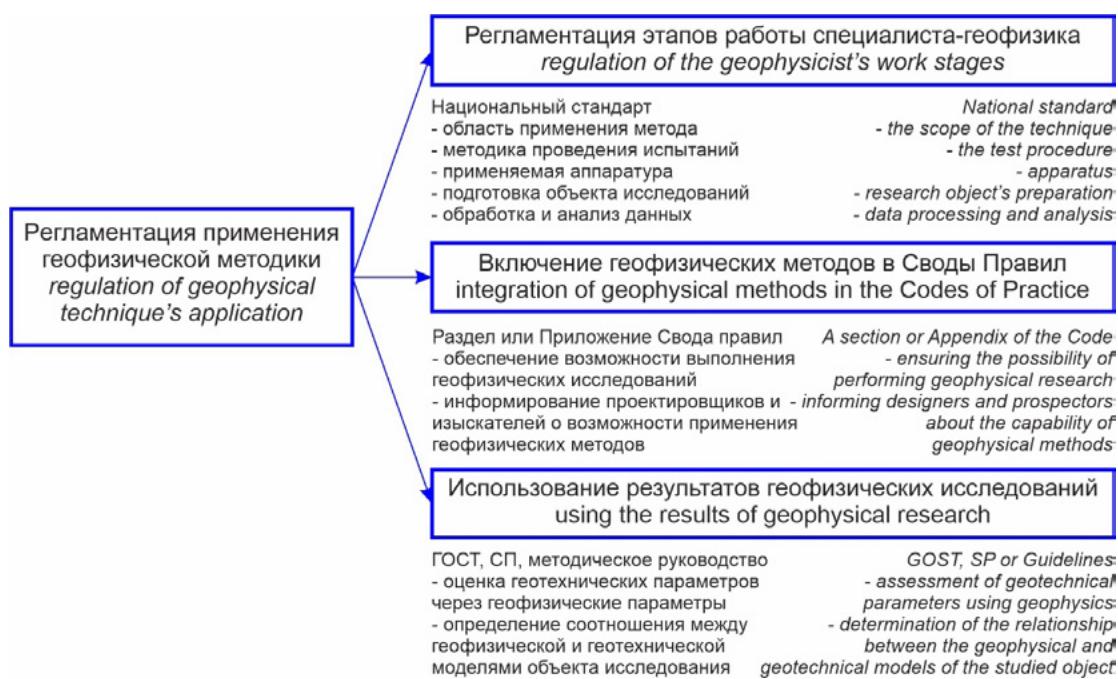


Рис. 2. Предлагаемая схема мероприятий по нормированию применения геофизических методов для решения задач капитального строительства

Fig. 2. Proposed scheme of measures for standardizing the application of geophysical methods in permanent construction

Результаты

Разработка стандартов осуществлялась по государственным заданиям по реализации комплекса мероприятий по развитию нормативной технической базы в области строительства по приоритетным для государства направлениям. К процессу разработки привлекались специалисты научных и производственных организаций, зарекомендовавших себя в использовании регламентируемых методик.

Первым национальным стандартом, регулирующим неразрушающий контроль бетона свай, стал ГОСТ Р 71039-2023 [16] (рис. 3а). Помимо Руководства [30] текст стандарта описался на СТО ЭГЕОС 1-1.1-001-2018 [31] и международный стандарт ASTM D6760-16 [32].

Аспектом стандартизации стали основные требования к проведению испытаний, включая:

- требования к методике проведения испытаний (зафиксировано положение о минимальном шаге между соседними измерениями по профилю, ранее игнорируемое многими испытателями [2]);

- требования к подготовке конструкции к проведению испытаний (включая рекомендации к количеству труб доступа в зависимости от диаметра сваи);

- требования к применяемой аппаратуре (необходимость соответствовать им уже благотворно сказалась на отечественном приборном парке – ООО НПП «Интерприбор» был выпущен аппаратный комплекс «ДБС-2», не уступающий зарубежным аналогам);

- требования к обработке результатов испытаний (включая указание на расчет нормального значения скорости на профиле и параметра затухания сигнала);

- требования к интерпретации результатов испытаний (включая критерии выделения ультразвуковых аномалий, опирающиеся не только на российскую, но и на зарубежную практику [4, 6]).

Следующим методом, вошедшим в документ уровня национального стандарта, стал термометрический метод (рис. 3б). В рамках ГОСТ Р 71733-2024 [21], основные положения метода были описаны в разделе 5 «Методы контроля качества монолитных и фундаментных конструкций» (табл. 1).

Последние научные исследования в области применения метода показали, что для TIP (thermal integrity profiling, термометрический метод) все еще остается много вопросов, не позволяющих конкретизировать этапы анализа данных (по аналогии с критериями выделения ультразвуковых аномалий).

В [22] показано, что на условия регистрации могут повлиять значительные изменения температуры окружающего сваю грунта. В [23] показано, что ряд фундаментальных для методики вопросов также изучен слабо. К ним отнесены: оценка оптимального времени для проведения измерений; воздействие различных параметров дефектов на тепловое поле; размер зоны, непосредственно определяющей показания датчиков; минимальный локализуемый размер дефекта. Результаты экспериментов показали, что оптимальное время для мониторинга расположено не вблизи температурного пика гидратации, а около 60 % от времени достижения максимальной температуры; минимальный обнаруживаемый размер дефекта составляет не менее 4 % от площади поперечного сечения (что ставит под сомнение возможность успешного контроля состояния защитного слоя). В [24] на основе анализа данных метода обучена модель нейронного классификатора, показавшая высокую эффективность. При этом показано, что наихудшим образом выделяются дефекты,

Таблица 1

Геофизические методы, применяемые при контроле качества свайных фундаментов и «стен в грунте», согласно ГОСТ Р 71733-2024 [21]

Table 1

Geophysical methods used in the quality control of pile foundations and diaphragm walls according to State Standard R 71733-2024 [21]

Конструкция	Контролируемый параметр	Геофизические методы				
		сейсмо-акустический метод	георадарный метод	ультразвуковой метод	термометрический метод	скважинные сейсмоакустические методы
Свайный фундамент	длина	да	нет	косвенно		параллельный сейсмический метод
	сплошность бетона	да, за исключением дефекта в области нижнего торца сваи	нет	в пределах области, ограниченной расположением труб доступа		косвенно, при применении параллельного сейсмического метода
«Стена в грунте» траншейного и свайного типов	глубина заложения	да	нет	косвенно		да
	дефект сечения	да	нет	в пределах области, ограниченной расположением труб доступа		нет
	дефект зоныстыка свай/захваток	нет	нет	косвенно		нет

расположенные на удалении от установленных в теле конструкции датчиков, вплоть до полной их незаметности.

Это означает, что разработка отдельного национального стандарта в настоящий момент не позволит повысить достоверность применения метода, требуется накопление и анализ результатов испытаний.

Наконец, ГОСТ Р 72171-2025 [17] утвержден приказом Росстандарта от 01 июля 2025 года № 659-ст и вступит в силу с 1 января 2026 года взамен ПНСТ 804-2022 [29].

Стандарт распространяется на железобетонные буронабивные, забивные, вдавливаемые, набивные сваи, барретты и устанавливает порядок проведения неразрушающего контроля длины и сплошности бетона свай сейсмоакустическими методами (рис. 4). Положения стандарта распространяются на исследования, выполняемые на этапе строительства или обследования конструкций. Помимо специалистов НИИОСП им. Н.М. Герсеванова в состав команды разработчиков вошли признанные эксперты в области применения сейсмоакустических методов из МГУ им. М.В. Ломоносова, ЦГЭМИ ИФЗ РАН, ООО «ОЗИС-Венчур».

Отличительной особенностью данного документа стало включение в него информации по некоторым вспомогательным методикам сбора и анализа данных, описанным в [4, 5]. В стандарте даны основные положения:

– поверхностного сейсмоакустического метода, включая вопросы обследования свай в составе ростверков и действующих сооружений, и вопрос статистической обработки результатов при сплошном контроле качества свай фундамента;

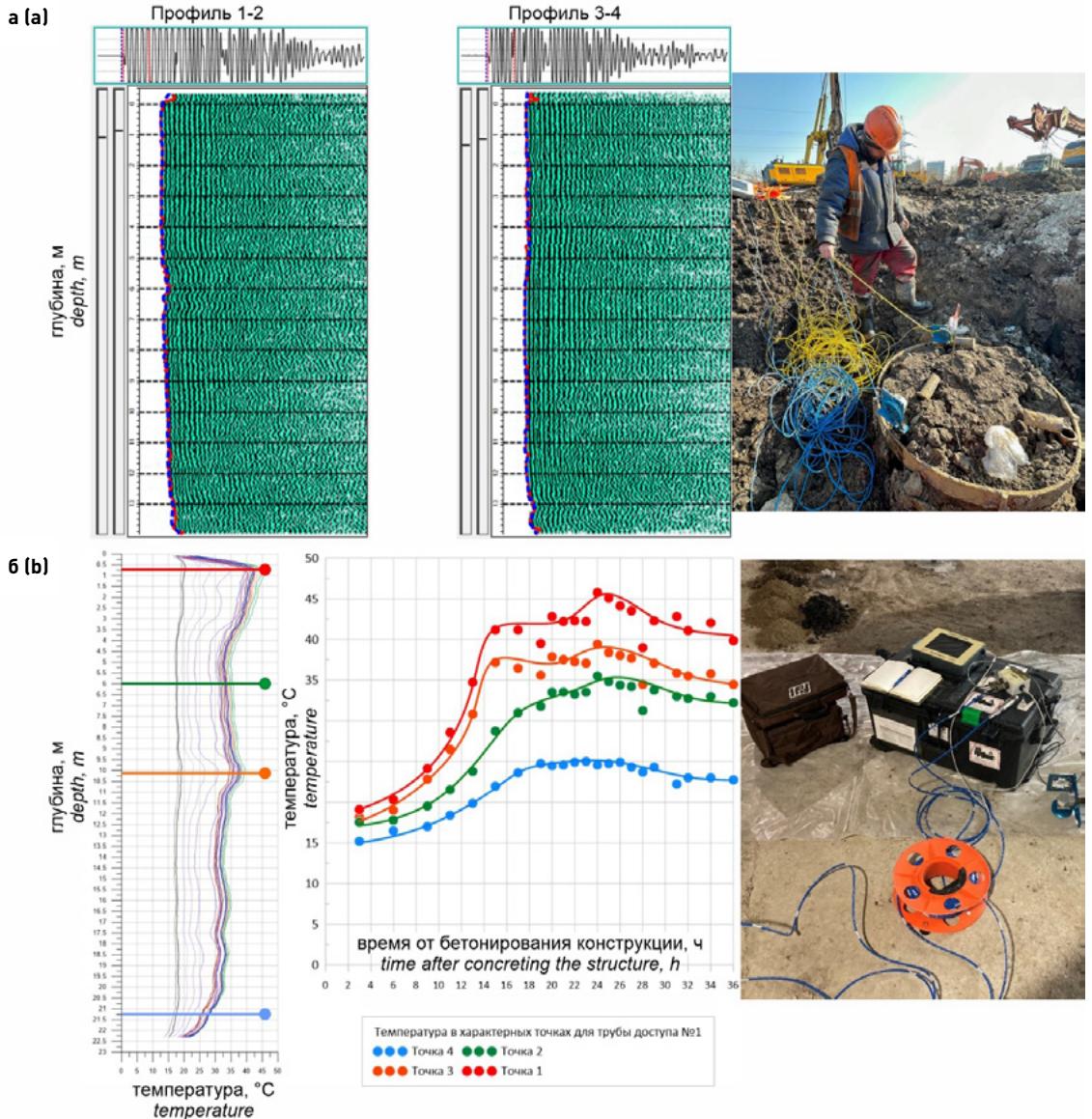


Рис. 3. Примеры данных, регистрируемых при: а – ультразвуковом контроле, в виде сейсмограмм; б – термометрическом мониторинге (фото А.А. Чуркина)

Fig. 3. Examples of data recorded during: a – ultrasonic monitoring, in the form of seismograms; b – thermometric monitoring (photo by A.A. Churkin)

- профилирования с общим пунктом возбуждения/ультрасейсмического метода (профилирование ОПВ, ultraseismic testing);
- параллельного сейсмического метода (parallel seismic testing, PSM);
- метода анализа частотной характеристики/метода анализа кривой мобильности (steady-state frequency response, mobility response analysis).

Основным аспектом стандартизации в рамках разработанного документа стало обозначение возможностей и ограничений сейсмоакустических методов, применяемых для оценки длины и сплошности бетона свайных фундаментов.

Документ призван не только нормализовать и упростить работу инженерам-испытателям, но также: помочь проектировщикам в определении методов исследования в зависимости от особенностей обследуемой конструкции; дать органам технического надзора необходимую информацию для организации контроля качества за выполнением сейсмоакустического контроля; дать возможность специалистам-геофизикам использовать малораспространенные методики обследования с опорой на нормативную базу; пристимулировать российских производителей геофизического оборудования к разработке новых поколений приборов для выполнения испытаний сейсмоакустическими методами.

Процесс развития нормативной регламентации применения геофизических методов в рамках инженерных и геотехнических изысканий, открытый вопросом контроля качества свай, уже им не ограничивается. Вышли ГОСТ Р 71757-2024 [33] и ГОСТ Р 71771-2024 [34], регламентирующие выполнение работ методами вертикального электрического зондирования и электропрофилирования. В разработке находится проект национального стандарта «Инженерные изыскания. Геофизические исследования. Метод электротомографии».

Начатая с ГОСТ Р 71039-2023 [16] систематическая работа по созданию и внедрению стандартов в области применения методов технической и инженерной геофизики при решении специфических задач капитального строительства будет продолжена.

Заключение

Геофизические методы, наиболее распространенные при неразрушающем контроле качества свайных фундаментов (сейсмоакустический метод и его модификации, межскважинный ультразвуковой метод), в настоящий момент получили необходимую подробную регламентацию в национальных стандартах ГОСТ Р 71039-2023 [16] и ГОСТ Р 72171-2025 [17].

За счет выхода стандарта ГОСТ Р 71733-2024 [21], регламентирующего назначение геофизических методов (включая термометрический метод контроля качества свайных фундаментов) при контроле качества скрытых работ, обеспечена возможность по накоплению информации о возможностях и ограничениях вспомогательных методик обследования.

Перспектива развития нормативной регламентации состоит в дальнейшей гармонизации выпущенных стандартов с действующими сводами правил и ГОСТами, чтобы упростить взаимодействие с результатами геофизических исследований для специалистов-геотехников. Кроме того, требуется дальнейшее накопление эмпирического материала о результативности применения геофизического комплекса, что позволит дорабатывать документы на этапах их пересмотра в будущем.

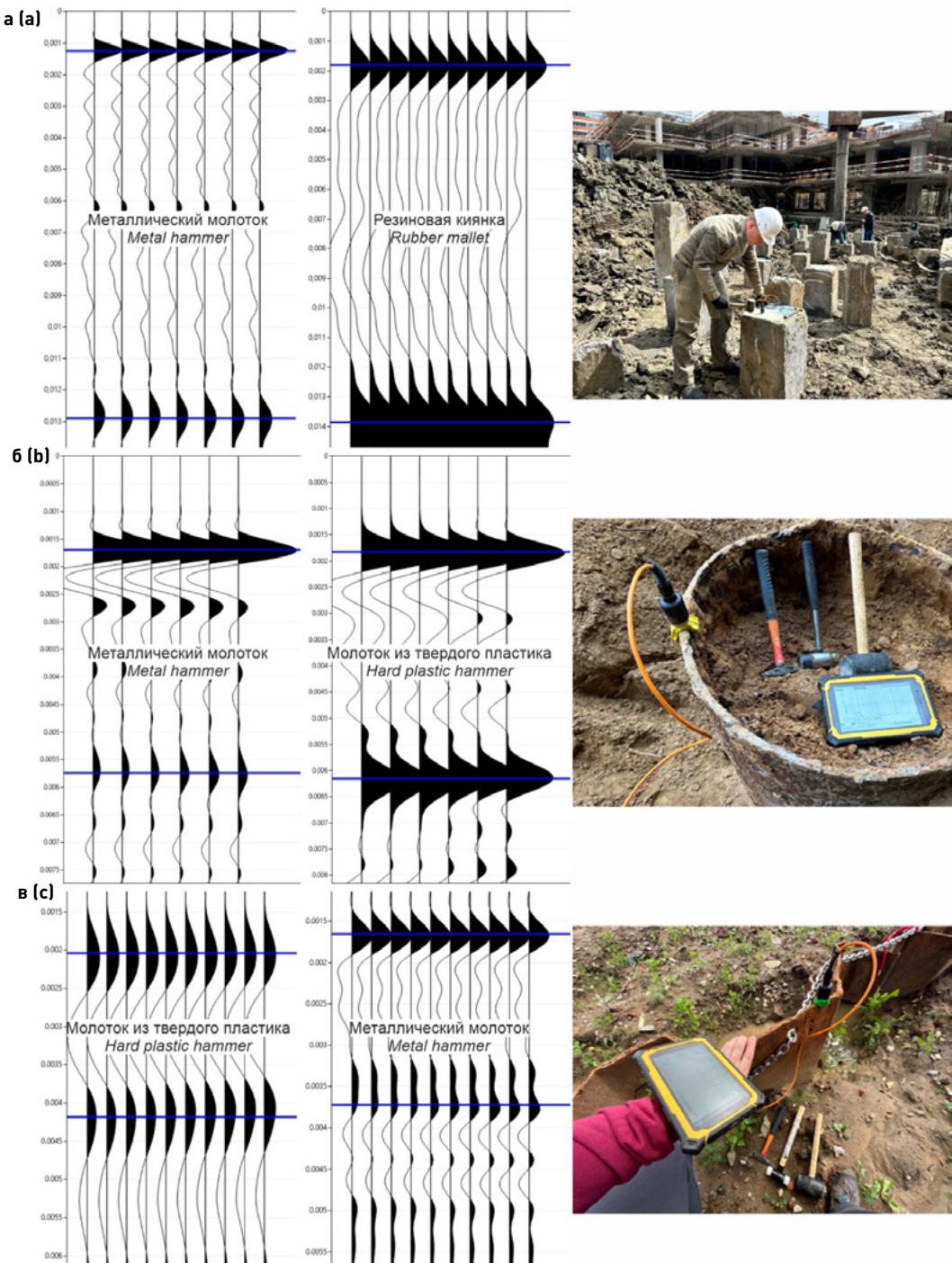


Рис. 4. Примеры сигналов, регистрируемых при обследовании свай различных типов: а – составная забивная свая; б – трубосвая; в – шпунт [фото А.А. Чуркина]

Fig. 4. Examples of signals recorded during testing of various pile types: a – composite driven pile; b – pipe pile; c – sheet pile (photo by A.A. Churkin)

Список литературы

1. Дзагов А.М., Шейнин В.И., Костенко Е.С., Блохин Д.И. К вопросу о назначении объемов работ по контролю качества бетона набивных и буровых свай. Геотехника. 2017;(1):64–69.
2. Мухин А.А., Капустин В.В., Чуркин А.А., Лозовский И.Н. О техническом регулировании неразрушающего контроля сплошности свай. Геотехника. 2019;11(2):80–89. <https://doi.org/10.25296/2221-5514-2019-11-2-80-89>.
3. Капустин В.В., Владов М.Л. Техническая геофизика. Методы и задачи. Геотехника. 2020;12(4):72–85. <https://doi.org/10.25296/2221-5514-2020-12-4-72-85>.
4. Чуркин А.А., Капустин В.В., Модин И.Н., Шевнин В.А. Методы технической геофизики. Тверь: Полипресс; 2025.
5. Чуркин А.А. О возможностях вспомогательных методик сейсмоакустического обследования свайных фундаментов. Вестник НИЦ Строительство. 2023;36(1):59–71. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1\[36\]-59-71](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1[36]-59-71).
6. Lozovsky I., Churkin A. Spectral analysis of cross-hole sonic logging data for pile integrity assessment. Research on engineering structures and materials. 2024;10(3):1051–1063. <https://doi.org/10.17515/resm2024.82me1115rs>.
7. Liu X., Hesham E.I., Naggar M., Wang K., Wu W. Theoretical analysis of three-dimensional effect in pile integrity test. Computers and Geotechnics. 2020;127:103765. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103765>.
8. Liao S.-T., Tong J.-H., Chen C.-H., Wu T.-T. Numerical simulation and experimental study of parallel seismic test for piles. International Journal of Solids and Structures. 2006;43(7–8):2279–2298. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2005.03.057>.
9. Ho T.Ch.E., Zwetsloot I.M. Precision of CSLT measurement system for defect detection in bored piles. Quality Engineering. 2023;35(2):353–363. <https://doi.org/10.1080/08982112.2022.2118062>.
10. Loseva E., Lozovsky I., Zhostkov R. Refining low strain pile integrity testing for minor flaw detection with complex wavelet transform. Civil Engineering Journal. 2024;10(10):3194–3207. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-10-05>.
11. Wu Ju., El Naggar M.H., Wang K. A hybrid convolutional and recurrent neural network for multi-sensor pile damage detection with time series. Sensors. 2024;24(4):1190. <https://doi.org/10.3390/s24041190>.
12. Колыбин И.В., Разводовский Д.Е. Пределы гармонизации отечественных геотехнических норм и Еврокода 7. Вестник НИЦ Строительство. 2017;(2):65–80.
13. Конюхов Д.С., Колыбин И.В. Основные принципы комплексного освоения подземного пространства Москвы. Требования современных строительных норм. Метро и тоннели. 2021;(1):34–37.
14. Чуркин А.А., Капустин В.В., Конюхов Д.С., Владов М.Л. Последние изменения в российской практике нормативного регулирования технической геофизики. Геотехника. 2021;13(2):56–70. <https://doi.org/10.25296/2221-5514-2021-13-2-56-70>.
15. Конюхов Д.С. Безопасность существующей застройки при производстве подземных работ. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022;(8):158–167. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_8_0_158.
16. ГОСТ Р 71039-2023. Сваи буронабивные и «стены в грунте» траншейного и свайного типов. Межсекционный ультразвуковой метод контроля качества бетона. Москва: Российский институт стандартизации; 2023.
17. ГОСТ Р 72171-2025. Сваи. Сейсмоакустические методы контроля сплошности бетона и длины свай [интернет]. Режим доступа: <https://protect.gost.ru/document1.aspx?control=31&baseC=6&page=5&month=7&year=2025&search=&id=267242>.
18. Li C., Gao G., Wang Y. Application of Hilbert instantaneous spectrum on improved bolt anchoring quality detection. Engineering Reports. 2022;4(12):e12581. <https://doi.org/10.1002/eng2.12581>.
19. Krause M., Dackermann U., Li J. Elastic wave modes for the assessment of structural timber: ultrasonic echo for building elements and guided waves for pole and pile structures. Journal of Civil Structural Health Monitoring. 2015;(5):221–249. <https://doi.org/10.1007/s13349-014-0087-2>.
20. Souza T.D.J., Querelli A. The use of the pile integrity test (PIT) to detect anomaly such as reinforcement exposure in short caissons. Dyna-Colombia. 2023;90(229):45–50. <https://doi.org/10.15446/dyna.v90n229.107942>.
21. ГОСТ Р 71733-2024. Строительные работы и типовые технологические процессы. Контроль качества скрытых работ геофизическими методами при строительстве подземных объектов. Москва: Российский институт стандартизации; 2023.

- 22.** Liu Y., Ding H., Wang K., Xiao H., Li L. Thermal conduction characteristics of dts when detecting the integrity of cast-in-place piles considering their environment. *Heat and Mass Transfer*. 2020;56(7):2185–2202. <https://doi.org/10.1007/s00231-020-02848-3>.
- 23.** Sun Q., Elshafie M.Z.E.B., Xu X., Schooling J. Pile defect assessment using distributed temperature sensing: fundamental questions examined. *Structural Health Monitoring*. 2024;23(3):1701–1724. <https://doi.org/10.1177/14759217231189426>.
- 24.** Sánchez Fernández J., Ruiz López A., Taborda D.M.G. A Novel Machine Learning-Based Approach to Thermal Integrity Profiling of Concrete Pile Foundations. *Data-Centric Engineering*. 2025;6:e33. <https://doi.org/10.1017/dce.2025.10013>.
- 25.** СП 45.13330.2017. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87 [интернет]. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=429622>.
- 26.** СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. Москва: Стандартинформ; 2017.
- 27.** СП 120.13330.2022. Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003 [интернет]. Режим доступа: https://nav.tn.ru/documents/regulatory/ast_s_sp_120_13330_2022/.
- 28.** СП 122.13330.2023. Тоннели железнодорожные и автодорожные. Актуализированная редакция СНиП 32-04-97 [интернет]. Режим доступа: https://nav.tn.ru/documents/regulatory/ast_s_sp_122_13330_2023/.
- 29.** ПНСТ 804-2022. Сваи. Сейсмоакустический метод контроля длины и сплошности [интернет]. Режим доступа: <https://protect.gost.ru/default.aspx/document1.aspx?control=31&baseC=6&page=9&month=1&year=2023&search=&id=249144>.
- 30.** Правительство Москвы. Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы. Руководство по контролю качества скрытых работ геофизическими методами при строительстве подземных объектов, включая объекты метрополитена, на территории Москвы. Москва; 2021.
- 31.** СТО ЭГЕОС 1-1.1-001-2018. Применение неразрушающего контроля сплошности свай ультразвуковым методом. 2018.
- 32.** ASTM D6760-16. Standard test method for integrity testing of concrete deep foundations by ultrasonic crosshole testing [Withdrawn 2025] [internet]. Available at: <https://store.astm.org/d6760-16.html>.
- 33.** ГОСТ Р 71757-2024. Инженерные изыскания. Геофизические исследования. Метод вертикального электрического зондирования. Москва: Российский институт стандартизации; 2024.
- 34.** ГОСТ Р 71771-2024. Инженерные изыскания. Геофизические исследования. Метод электропрофилирования. Москва: Российский институт стандартизации; 2024.

References

1. Dzagov A.M., Sheinin V.I., Kostenko E.S., Blokhin D.I. Regarding the scope of work related to the quality control of concrete of cast-in-place and bored piles. *Geotechnics*. 2017;(1):64–69. (In Russian).
2. Mukhin A.A., Kapustin V.V., Churkin A.A., Lozovsky I.N. Technical regulation of pile integrity testing. *Geotechnics*. 2019;11(2):80–89. (In Russian). <https://doi.org/10.25296/2221-5514-2019-11-2-80-89>.
3. Kapustin V.V., Vladov M.L. Technical geophysics. Methods and tasks. *Geotechnics*. 2020;12(4):72–85. (In Russian). <https://doi.org/10.25296/2221-5514-2020-12-4-72-85>.
4. Churkin A.A., Kapustin V.V., Modin I.N., Shevnnin V.A. Methods of technical geophysics. Tver: Polipress Publishing House; 2025. (In Russian).
5. Churkin A.A. Capabilities of auxiliary techniques for low strain impact testing of piles foundations. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2023;36(1):59–71. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1\(36\)-59-71](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1(36)-59-71).
6. Lozovsky I., Churkin A. Spectral analysis of cross-hole sonic logging data for pile integrity assessment. *Research on Engineering Structures and Materials*. 2024;10(3):1051–1063. <https://doi.org/10.17515/resm2024.82me1115rs>.
7. Liu X., Hesham E.I. Naggar M., Wang K., Wu W. Theoretical analysis of three-dimensional effect in pile integrity test. *Computers and Geotechnics*. 2020;127:103765. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103765>.

8. Liao S.-T., Tong J.-H., Chen C.-H., Wu T.-T. Numerical simulation and experimental study of parallel seismic test for piles. International Journal of Solids and Structures. 2006;43(7-8):2279–2298. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2005.03.057>.
9. Ho T.Ch.E., Zwetsloot I.M. Precision of CSLT measurement system for defect detection in bored piles. Quality Engineering. 2023;35(2):353–363. <https://doi.org/10.1080/08982112.2022.2118062>.
10. Loseva E., Lozovsky I., Zhostkov R. Refining low strain pile integrity testing for minor flaw detection with complex wavelet transform. Civil Engineering Journal. 2024;10(10):3194–3207. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-10-05>.
11. Wu Ju., El Naggar M.H., Wang K. A hybrid convolutional and recurrent neural network for multi-sensor pile damage detection with time series. Sensors. 2024;24(4):1190. <https://doi.org/10.3390/s24041190>.
12. Kolybin I.V., Razvodovsky D.E. Limits of Harmonization of Domestic Geotechnical Standards and Eurocode 7. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2017;(2):65–80. (In Russian).
13. Konyukhov D.S., Kolybin I.V. Basic principles of integrated development of Moscow's underground space. requirements of modern building codes. Metro i tonnelli. 2021;(1):34–37. (In Russian).
14. Churkin A.A., Kapustin V.V., Konyukhov D.S., Vladov M.L. Recent developments in Russian practice of normative regulation of technical geophysics. Geotechnics. 2021;13(2):56–70. <https://doi.org/10.25296/2221-5514-2021-13-2-56-70>.
15. Konyukhov D.S. Safety of existing buildings during underground mining. Mining information and analytical bulletin. 2022;(8):158–167. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_8_0_158.
16. State Standard R 71039-2023. Bored piles, diaphragm and pile walls. Integrity testing of concrete quality by crosshole ultrasonic logging method. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2023. (In Russian).
17. State Standard R 72171-2025. Piles. Low strain impact test methods for pile integrity and length assessment [internet]. Available at: <https://protect.gost.ru/document1.aspx?control=31&baseC=6&page=5&month=7&-year=2025&search=&id=267242>. (In Russian).
18. Li C., Gao G., Wang Y. Application of Hilbert instantaneous spectrum on improved bolt anchoring quality detection. Engineering Reports. 2022;4(12):e12581. <https://doi.org/10.1002/eng.212581>.
19. Krause M., Dackermann U., Li J. Elastic wave modes for the assessment of structural timber: ultrasonic echo for building elements and guided waves for pole and pile structures. Journal of Civil Structural Health Monitoring. 2015;(5):221–249. <https://doi.org/10.1007/s13349-014-0087-2>.
20. Souza T.D.J., Querelli A. The use of the pile integrity test (PIT) to detect anomaly such as reinforcement exposure in short caissons. Dyna-Colombia. 2023;90(229):45–50. <https://doi.org/10.15446/dyna.v90n229.107942>.
21. State Standard R 71733-2024. Construction work and typical technological processes. Quality control of hidden works by geophysical methods in the construction of underground facilities. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2023. (In Russian).
22. Liu Y., Ding H., Wang K., Xiao H., Li L. Thermal conduction characteristics of dts when detecting the integrity of cast-in-place piles considering their environment. Heat and Mass Transfer. 2020;56(7):2185–2202. <https://doi.org/10.1007/s00231-020-02848-3>.
23. Sun Q., Elshafie M.Z.E.B., Xu X., Schooling J. Pile defect assessment using distributed temperature sensing: fundamental questions examined. Structural Health Monitoring. 2024;23(3):1701–1724. <https://doi.org/10.1177/14759217231189426>.
24. Sánchez Fernández J., Ruiz López A., Taborda D.M.G. A novel machine learning-based approach to thermal integrity profiling of concrete pile foundations. Data-Centric Engineering. 2025;6:e33. <https://doi.org/10.1017/dce.2025.10013>.
25. SP 45.13330.2017. Earthworks, Grounds and Footings. Updated version of SNiP 3.02.01-87 [internet]. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=429622>. (In Russian).
26. SP 47.13330.2016. Engineering survey for construction. Basic principles. Updated version of SNiP 11-02-96. Moscow: Standartinform Publ.; 2017. (In Russian).
27. SP 120.13330.2022. Subways. Updated version of SNiP 32.02-2003 [internet]. Available at: https://nav.tn.ru/documents/regulatory/ast_s_sp_120_13330_2022/. (In Russian).
28. SP 122.13330.2023. Railways and highway tunnels. Updated version of SNiP 32-04-97 [internet]. Available at: https://nav.tn.ru/documents/regulatory/ast_s_sp_122_13330_2023/. (In Russian).

- 29.** PNST 804-2022. Piles. Low strain impact integrity and length testing [internet]. Available at: <https://protect.gost.ru/default.aspx/document1.aspx?control=31&baseC=6&page=9&month=1&year=2023&-search=&id=249144>. (In Russian).
- 30.** Moscow Government. Moscow Urban Development Policy and Construction Complex. Guidelines for quality control of hidden works by geophysical methods during the construction of underground structures, including metro facilities, in Moscow. Moscow; 2021. (In Russian).
- 31.** STO AIGEOS 1-1.1-001-2018. Application of non-destructive ultrasonic testing of pile continuity. 2018. (In Russian).
- 32.** ASTM D6760-16. Standard test method for integrity testing of concrete deep foundations by ultrasonic crosshole testing (Withdrawn 2025) [internet]. Available at: <https://store.astm.org/d6760-16.html>.
- 33.** State Standard R 71757-2024. Engineering surveys. Geophysical surveys. Vertical electric sounding method. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2024. (In Russian).
- 34.** State Standard R 71771-2024. Engineering surveys. Geophysical surveys. Electrical profiling method. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2024. (In Russian).

Информация об авторе / Information about the author

Алексей Андреевич Чуркин, канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории новых видов свайных фундаментов ЦИСФ, НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: chaa92@mail.ru

Aleksei A. Churkin, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, Laboratory of Advanced Pile Foundations, Pile Foundation Research Center, Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: chaa92@mail.ru

ЖИДКИЙ ГРУНТ: ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАТНОЙ ЗАСЫПКИ И СТАБИЛИЗАЦИИ ОСНОВАНИЙ

О.А. ШУЛЯТЬЕВ, д-р техн. наук

Д.Г. МАРТЫНОВ[✉]

В.В. ОРЕХОВ, д-р техн. наук

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

Аннотация

Введение. При обратной засыпке траншей и пазух фундаментов в стесненных условиях традиционное виброуплотнение часто дает неравномерные осадки, что критично для больших труб, особенно для пропсадочных и набухающих грунтов.

Цель. Оценить применимость «жидкого грунта» (самоуплотняющегося грунтового композита) как альтернативу классическим засыпкам, с фокусом на управляемые прочностные свойства, однородность заполнения и возможность повторной выемки.

Материалы и методы. Проанализированы лабораторные и опытно-промышленные данные из Германии, Китая и США, а также первые российские внедрения. Рассмотрены составы на основе местных глинистых и песчаных грунтов с добавлением цемента, золы-уноса, бентонита и модификаторов. Оценивалось влияние водоцементного отношения, гранулометрии и доли цемента ($\approx 6\text{--}12\%$) на подвижность (расплыв) и прочность на сжатие.

Результаты. Жидкий грунт обеспечивает высокую однородность заполнения и снижает потребность в виброуплотнении. Смеси с 12% цемента показали наибольшую чувствительность подвижности к незначительному увеличению воды. Достигаемая прочность на сжатие порядка 0,5–2,0 МПа достаточно для эксплуатационных требований при сохранении реэкскавации для составов с пониженным вяжущим. Практика Германии, Китая, США и России подтверждает технологическую универсальность при реконструкции и в условиях проблемных грунтов.

Выводы. Технология «жидкий грунт» снижает риски осадок и вибровоздействий, обеспечивает самоуплотнение и допускает повторную разработку массива. Основной барьер – отсутствие соответствующей нормативно-технической базы и стандартизации.

Ключевые слова: жидкий грунт, самоуплотняющийся композит, обратная засыпка, CLSM/Flüssigboden, пропсадочные и набухающие грунты, реэкскавация, водоцементное отношение, прочность на сжатие

Для цитирования: Шулатьев О.А., Мартынов Д.Г., Орехов В.В. Жидкий грунт: инновационная технология обратной засыпки и стабилизации оснований. Вестник НИЦ «Строительство». 2025;47(4):118–131. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-118-131](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-118-131)

Вклад авторов

Шулатьев О.А. – научное руководство, валидация методики, методологическая поддержка, интерпретация результатов, критический пересмотр и научное редактирование текста.

Мартынов Д.Г. – концепция исследования, разработка программы и методики испытаний, подготовка лабораторной базы, подготовка к проведению экспериментальных работ, сбор и обработка данных, визуализация, написание первоначального текста статьи.

Орехов В.В. – консультации по нормативно-технической базе и инженерным приложениям, экспертная оценка результатов, критический пересмотр рукописи и уточнение выводов.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 06.10.2025

Поступила после рецензирования 02.11.2025

Принята к публикации 06.11.2025

CONTROLLED LOW STRENGTH MATERIAL: INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR BACKFILLING AND STABILIZING FOUNDATIONS

O.A. SHULYATYEV, Dr. Sci. (Engineering)

D.G. MARTYNOV[✉]

V.V. OREKHOV, Dr. Sci. (Engineering)

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. Conventional vibration compaction for backfilling trenches and foundation cavities in cramped conditions often results in uneven settlement, which is critical for large pipes, especially in collapsible and swelling soils.

Aim. To evaluate the applicability of controlled low strength material (CLSM) as an alternative to conventional backfills with a focus on controlled strength properties, uniformity of filling, and possibility of re-excavation.

Materials and methods. The present paper reviews laboratory and pilot-scale data from Germany, China, and the USA, as well as initial Russian implementations. The mixtures based on local clay and sandy soils with the addition of cement, fly ash, bentonite, and modifiers are considered. The effects of water-cement ratio, granulometry, and cement fraction ($\approx 6\text{--}12\%$) on the flow rate (spread) and compressive strength of mixtures is assessed.

Results. CLSM ensures high uniformity of filling and reduces the need for vibration compaction. Mixtures with 12 % cement show the greatest sensitivity of the flow rate to small increases in water content. The achieved compressive strength of about 0.5–2.0 MPa meets operational requirements while maintaining re-excavation for mixtures with reduced binder. The practice of Germany, China, the USA, and Russian Federation confirms the technological versatility for reconstruction and problematic soil conditions.

Conclusions. CLSM technology reduces the risk of settlement and vibration, ensuring self-compaction and re-excavation of the soil mass. The main barrier is the lack of an appropriate regulatory framework and standardization.

Keywords: controlled low strength material, backfill, CLSM/Flüssigboden, collapsible and swelling soils, re-excavation, water-cement ratio, compressive strength

For citation: Shulyatyev O.A., Martynov D.G., Orekhov V.V. Controlled low strength material: innovative technology for backfilling and stabilizing foundations. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction.* 2025;47(4):118–131. [In Russian]. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-118-131](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-118-131)

Authors contribution statement

Shulyatyev O.A. – scientific supervision, methodology validation, methodological support, interpretation of results, critical revision and scientific editing of the manuscript.

Martynov D.G. – research concept, development of the testing program and methodology, laboratory preparation, preparation for experimental work, data collection and processing, visualization, writing the initial text of the manuscript.

Orekhov V.V. – consultations on the regulatory and technical framework and engineering applications, expert evaluation of results, critical revision of the manuscript and clarification of conclusions.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 06.10.2025

Revised 02.11.2025

Accepted 06.11.2025

Введение

При традиционном производстве обратных засыпок пазух фундаментов, а также при засыпке траншей инженерных сетей возникают сложности с качественным уплотнением грунта. В частности, практически невозможно должным образом уплотнить грунт под трубопроводами большого диаметра, что приводит к потере трубами проектного сечения или даже к их повреждению [1]. В качестве примера на рис. 1–3 показан случай деформации гофрированной трубы диаметром 4,5 м: после засыпки пазух и попыток уплотнения грунта ее вертикальный диаметр уменьшился более чем на 400 мм. Для восстановления надежности коммуникации внутри поврежденной трубы пришлось монтировать дополнительную трубу меньшего диаметра. Причиной инцидента послужила недостаточная жесткость окружающего грунтового массива (низкий модуль деформации грунта по боковым поверхностям трубы) из-за невозможности достигнуть требуемой степени уплотнения под трубой.

Описанную проблему позволяет решить технология жидкого грунта – текучей грунтовой смеси на основе местного грунта, вяжущего и специальных добавок (рис. 4). Жидкий грунт уникален тем, что может быть приготовлен с заданными свойствами: прочностью (от значений, сопоставимых с естественным грунтом, до уровней, характерных для низкопрочных цементных составов, порядка 0,5–2,0 МПа), модулем деформации и коэффициентом фильтрации. Обладая высокой подвижностью, такая смесь способна заполнить практически любые полости, которые сложно уплотнить стандартными методами [2]. На рис. 4 представлен пример завершающего этапа работ применения жидкого грунта для заполнения траншеи при укладке подземной трубы. Текучая смесь полностью обтекает коммуникации и плотно заполняет весь объем без образования пустот.

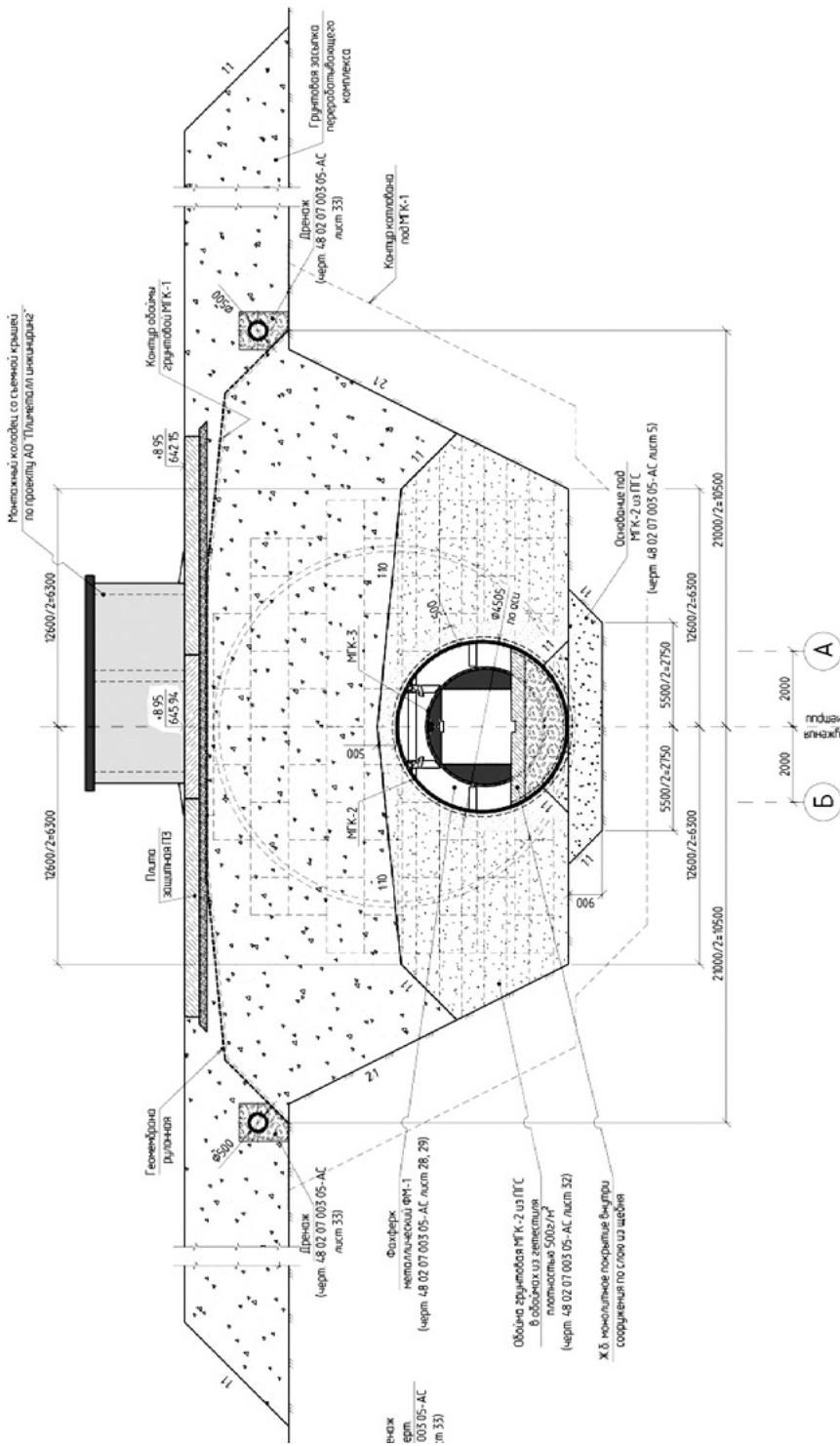


Рис. 1. Схема размещения трубопровода в грунте
Fig. 1. Layout of pipelines in soil



Рис. 2. Гофрированная труба Ø 4,5 м до засыпки
Fig. 2. Corrugated pipe Ø 4.5 m before backfilling

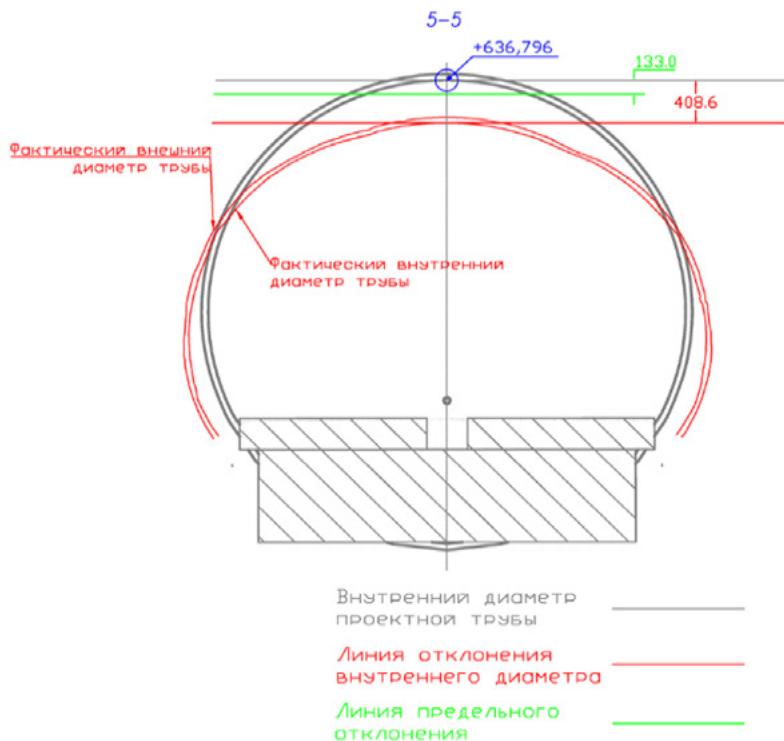


Рис. 3. Изменение поперечного сечения трубы после обратной засыпки грунтом
Fig. 3. Change in the pipe cross-section after backfilling with soil



Рис. 4. Применение жидкого грунта в качестве обратной засыпки траншеи при укладке подземных труб

Fig. 4. Controlled low strength material for backfilling trenches of underground pipes

Основной раздел

Исторически концепция текучих грунтовых смесей с контролируемо низкой прочностью начала формироваться еще в середине XX века, когда стремительно развивалась цементная промышленность. Одно из первых задокументированных применений технологии CLSM в США относится к 1964 году, когда Бюро рекультивации США использовало так называемый «пластичный грунтоцемент» при устройстве подстилающего слоя под трубопроводы в рамках проекта Canadian River Aqueduct в Техасе. Объем работ включал укладку более 515 км трубопровода, а в качестве заполнителя применялись местные песчаные грунты [3]. Новый технологический подход позволил сократить затраты почти на 40% по сравнению с традиционными методами обратной засыпки.

В 1998 году Американское общество по испытаниям и материалам (ASTM) опубликовало фундаментальный труд *Development and Use of Controlled Low-Strength Materials (Flowable Fill)*, обобщивший современные методы применения CLSM в лабораторных и полевых условиях. Особое внимание было уделено вторичному использованию промышленных отходов (золы, шлама, песка и пр.) для удешевления состава и экологической утилизации. На сегодняшний день разработаны и действуют пять стандартов ASTM, регламентирующих методы испытаний CLSM, что стало основой для систематизации и стандартизации технологии в США. Таким образом, CLSM в США прошел путь от экспериментов с местными грунтами и отходами ТЭС до признанной технологии с нормативной базой и практикой широкого применения в строительной отрасли [4].

На сегодняшний день в ряде стран, в частности в Германии, выполнялся проект в рамках независимого сравнительного исследования IKT (Gelsenkirchen) с участием крупных производителей таких смесей, как RSS® Flüssigboden от FiFB GmbH, TerraFlow® и др., где проводились испытания в масштабных 1:1 тестовых траншеях с моделями труб и канализационных шахт. Смеси заливались без виброуплотнения и сравнивались по способности к равномерному обтеканию труб, однородному затвердению и возможности повторной выемки при необходимости. На рис. 5 изображен лабораторный стенд IKT с крупномасштабными моделями канальных траншей, где смесь заливается в имитированную траншеею с трубами и люками, свободно обтекает конструкции и заполняет все полости. После заливки Flowable fill формирует однородную плотную структуру, позволяющую оценить поведение



Рис. 5. Исследования IKT (Gelsenkirchen) в масштабных тестовых траншеях с моделями труб [5]

Fig. 5. Research by IKT (Gelsenkirchen) in large-scale test trenches with pipe models [5]

смеси в реальных условиях. В результате исследования состав получил оценку «очень хорошо» – смесь превосходно соответствовала требованиям по стабильности, обтеканию и обратимости и уже используется на практике в городах Германии.

Аналогичные эксперименты проводились и в Китае. В частности, исследование, выполненное группой инженеров под руководством Jingmin Xu [6], было направлено на создание текучей обратной засыпки, не уступающей по стабильности традиционным материалам. В рамках эксперимента в измельченный грунт добавляли цемент, золу-уноса, воду и пластификаторы в различных пропорциях. Подбор оптимального состава осуществлялся по ряду критериев: удобоукладываемость смеси, прочность на сжатие (как на ранних, так и на более поздних сроках твердения), стабильность в покое (отсутствие расслоения), а также способность к вскрытию массива при необходимости. Наиболее удачные образцы продемонстрировали высокую подвижность; их испытания показали, что наименее чувствительной к добавлению воды оказалась смесь с 6 % цемента. Текучесть этой смеси возрастала сравнительно плавно, требуя значительного увеличения водосодержания для кардинального изменения показателя текучести. Напротив, смеси с 9 % и особенно с 12 % цемента оказались гораздо более чувствительны к водоцементному отношению: даже небольшое увеличение доли воды вызывало у них резкое возрастание текучести. Иными словами, более «цементонасыщенные» рецептуры позволяют тонко управлять свойствами: добиться необходимой текучести без чрезмерного разбавления водой. При содержании цемента 12% прирост подвижности на единицу повышения отношения вода/цемент был максимальным, аппроксимация экспериментальных точек линейной зависимостью показала практически идеальную корреляцию (рис. 6). Это свидетельствует о высокой надежности полученных результатов и дает возможность уверенно прогнозировать поведение подобных составов на практике. Авторы работы [7] отмечают, что на основе местных материалов им удалось получить полноценный аналог американских и немецких самоуплотняющихся грунтовых смесей. Данное исследование наглядно продемонстрировало, что извлеченный при земляных работах грунт может рассматриваться не как отход, подлежащий вывозу, а как ценный ресурс для последующего использования. Учитывая глобальный тренд на устойчивое развитие и повторное применение материалов, такие технологии заслуживают пристального внимания.

Согласно исследованиям, проведенным в Техническом университете Мюнхена, ключевым параметром для текучих грунтовых смесей является плотность сухого вещества. Установлено, что для обеспечения стабильности смеси этот показатель должен находиться в диапазоне около 1,54–1,84 г/см³. Подобная плотность достигается использованием тщательно подобранных гранулометрического состава компонентов: от мелких частиц (песка, шлама, золы) до крупных зерен (например, дробленого щебня). Зерновой состав оказывает критическое влияние на свойства: чем более равномерно распределены фракции, тем выше подвижность смеси при заданном водоцементном отношении. Однако избыток крупных частиц без стабилизаторов повышает риск сегрегации. Таким образом, от формы и размеров зерен зависят текучесть и прочность материала. Комитет ACI 229 в отчете опубликовал рецептуры смесей, применяемые в разных штатах США (табл. 1), из которых следует, что к настоящему времени единые стандарты по CLSM (Controlled Low-Strength Material) в США еще не выработаны.

В качестве основного вяжущего в жидкých грунтах обычно используется портландцемент (в некоторых случаях – известье). Зарубежная практика указывает на целесообразность

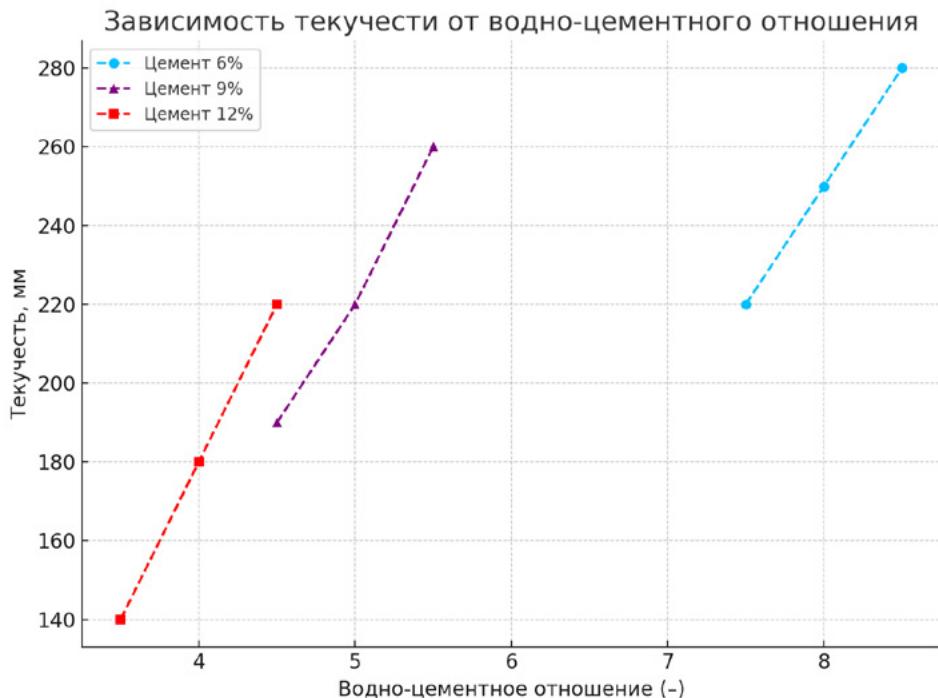


Рис. 6. Зависимость текучести (расплыва конуса) от водоцементного отношения для трех различных содержаний цемента 6, 9 и 12% [7]

Fig. 6. Dependence of the flow rate (cone spread) on the water-cement ratio for a cement content of 6, 9, and 12% [7]

Примеры рецептур жидкого грунта (CLSM) по данным Министерства транспорта США [7]

Table 1

Examples of controlled low strength material (CLSM) compositions according to the US Department of Transportation [7]

Штат, DOT	Цемент, кг/м ³	Летучая зола, кг/м ³	Грубая фракция, кг/м ³	Мелкая фракция, кг/м ³	Вода, кг/м ³	Прочность через 28 дней, МПа
Колорадо	30	-	1010	1096	193	0,4
Флорида	30–60	0–356	-	1632	297	-
Иллинойс	30	119 (класс F)/178 (класс C)	1720	-	222	-
Индиана (рецепт 1)	36	196	1697	-	303	-
Индиана (рецепт 2)	110	1187 (класс F)	-	-	297	-
Айова	60	178	1543	-	347	0,3 к 1
Мичиган (рецепт 1)	60	1187 (класс F)	-	-	-	-
Мичиган (рецепт 2)	30	326 (класс F)	-	-	-	-
Огайо (рецепт 1)	60	148	1691	-	297	-
Огайо (рецепт 2)	60	148	1727	-	297	-
Оклахома	мин. 30	148	1727	-	макс. 297	-
Южная Каролина	30	356	1483	-	273–320	-

применения цементов с высокой ранней прочностью для ускорения набора прочности смеси в первые сутки. По данным комитета ACI 229 (2013), обычно достаточно дозировки цемента порядка 30–60 кг/м³, чтобы обеспечить стабильное протекание гидратации и формирование долговременной прочности. При твердении жидкого грунта образуется цементный камень и дополнительный связующий каркас за счет пущолановых реакций: диоксид кремния (SiO_2) и окись алюминия (Al_2O_3) из состава золы или других минеральных добавок реагируют со свободной известностью ($Ca(OH)_2$), что приводит к образованию новых плотных соединений. Благодаря этому смесь набирает необходимую прочность при минимальном расходе цемента, а высокие ранние показатели достигаются уже в первые сутки, что позволяет быстро переходить к следующему этапу работ.

Для повышения текучести и предотвращения расслоения в состав жидкого грунтов часто вводят бентонит. Эта глинистая добавка стабилизирует смесь и придает необходимую подвижность. Аналогичную функцию выполняет и тонкодисперсная летучая зола, образующаяся при сжигании угля: она улучшает реологические свойства. В зависимости от требуемой прочности и сферы применения водоцементное отношение смеси может варьироваться в достаточно широких пределах – от ~0,7 до 1,7. При этом исследования ACI показывают, что даже при весьма высоком содержании воды в составе можно добиться прочности на сжатие порядка 0,5–2,0 МПа.

Одно из ключевых преимуществ технологии жидкого грунта – это возможность последующей разработки (вскрытия) массива при необходимости. В дорожном строительстве Германии на основе опытов по стабилизации грунтов вяжущими веществами [3] было определено оптимальное содержание цемента, при котором материал остается поддающимся извлечению: оценка проводилась по достигнутой прочности на сжатие спустя 28 суток твердения (рис. 7). Полученная модель зависимости прочности от времени для различных рецептур иллюстрирует, как выбор дозировки вяжущего влияет на возможность повторной выемки материала и его длительное поведение.

Значительное содержание цемента делает материал практически не подлежащим повторной экскавации.

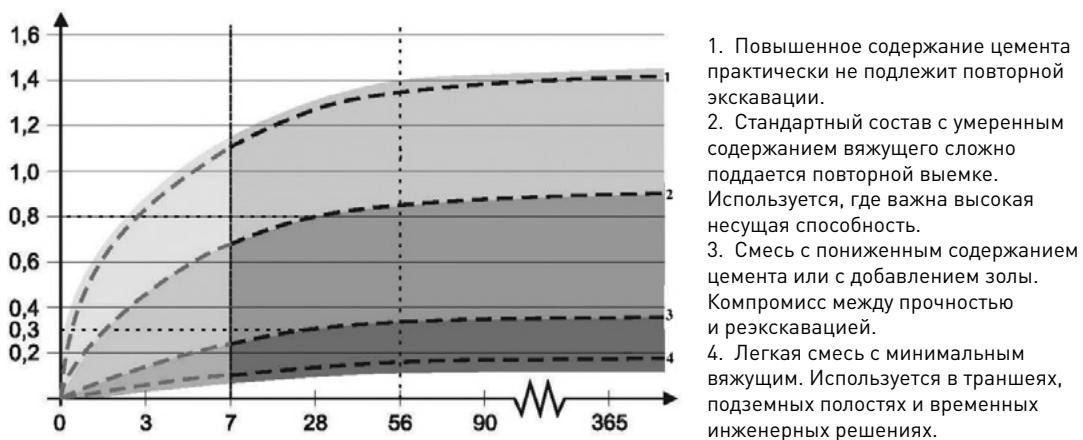


Рис. 7. Зависимость прочности на сжатие от времени твердения для оценки возможности повторной выемки грунта [3]

Fig. 7. Dependence of compressive strength on hardening time for assessing the possibility of soil re-excavation [3]

Заключение

Подводя итог, можно заключить, что, несмотря на явные преимущества, широкому внедрению жидкого грунта в России пока препятствует отсутствие прямых отраслевых стандартов. Проектировщики и строители вынуждены опираться на существующие документы (например, СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» [8], СП 45.13330.2017 «Земляные сооружения, основания и фундаменты» [9], ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация» [10]) и разрабатывать временные технические условия (ТУ) под конкретные проекты. Однако уже есть похожие подходы в этом направлении, в частности российскими авторами Е. В. Круглей и Д. И. Волченко разработан способ изготовления искусственного грунта «Литогрунт» (патент № RU 2 682 920 C1 [1]), который заключается в перемешивании сырья, в качестве которого используют отходы бурения и (или) выбуренную породу, загрязненный углеводородами грунт и (или) нефтесодержащие отходы, с песком и цементом, характеризующийся тем, что после повышения вязкости перемешиваемой массы в нее вносят водную дисперсию поливинилакцетата (ПВАД) с концентрацией поливинилацетата 10–15 мас. % [5].

Внедрение технологии «жидкий грунт» вполне оправданно с точки зрения экологичности (повторное использование грунтов и техногенных отходов), сокращения трудоемкости и повышения скорости строительных работ. Потенциал данной технологии, ярко продемонстрированный на примере ряда проектов в Европе, США и Китае, позволяет прогнозировать дальнейший рост интереса к жидкому грунту в самых разных областях – от строительства подземных коммуникаций и дорожной инфраструктуры до горнодобывающей отрасли. Подобно тому, как железобетон когда-то рассматривался в качестве смелой инновации, а со временем стал неотъемлемой основой строительной индустрии, жидкий грунт сегодня дает шанс переосмыслить подходы к обратной засыпке траншей и пазух фундаментов.

Список литературы

1. Круглей Е.В., Волченко Д.И. Способ изготовления искусственного грунта «Литогрунт». Патент RU 2 682 920 C1. Опубл. 08.04.2019.
2. Карпенко С.А. Опыт применения самоуплотняющейся грунтовой смеси. Концепции современного образования: вопросы теории и практики. Казань: СитИvent; 2020, с. 203–208.
3. Technische Universität München. Prüfung und Bewertung der Dauerhaftigkeit „zeitweise fließfähiger und selbstverdichtender Verfüllbaustoffe (ZFSV)“ im Unterbau von Verkehrsflächen. Zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FE-Nr. 05.0205/2018/IGB. München, 30 September 2022. (In German).
4. Technische Hinweise zu Flüssigböden. RAL Gütegemeinschaft Flüssigboden e.V. [internet]. Available at: <https://www.ral-gg-fluessigboden.de> (accessed 30 July 2025).
5. ACI 229R-13. Report on Controlled Low-Strength Materials. American Concrete Institute; 2013.
6. Dev K.L., Kumar D.R., Wipulanusat W. Machine learning prediction of the unconfined compressive strength of CLSM using fly ash and pond ash. Scientific Reports. 2024;14:27540. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-78050-w>.
7. Liquid > Solid > Ready? Comparison of Five Flowable Backfills for Sewer Pipe Trenches. IKT - Institute for Underground Infrastructure [internet]. Available at: <https://www.ikt-online.org/blog/comparison-flowable-backfills-sewer-pipe-trenches/> (accessed 30 July 2025).
8. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* [интернет]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/14627/>.
9. СП 45.13330.2017. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87 [интернет]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/14715/>.

- 10.** ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. Москва: Стандартинформ; 2020.
- 11.** Власов О.А., Мечев В.В., Власова Ф.Г. Способ конверсии метана. Патент RU 2 682 576 C1. Опубл. 10.08.2014.
- 12.** Xu J., Luo Q., Tang Y., Zeng Z., Liao J. Experimental study and application of controlled low-strength materials in trench backfilling in Suqian City, China. Materials. 2024;17(4):775. <https://doi.org/10.3390/ma17040775>.
- 13.** Afrin H. A review on different types of soil stabilization techniques. International Journal of Transportation Engineering and Technology. 2017;3(2):19–24. <https://doi.org/10.11648/j.ijtet.20170302.12>.
- 14.** Schmidt M., Spieth H., Haubach C., Kühne C. 100 pioneers in efficient resource management: best practice cases from producing companies. Springer Spektrum; 2019.
- 15.** Li F., Liu C., Wang L., Zhou L. A controllable low-strength material [CLSM]. Patent CN 108203270 A. Publ. date 26 Juny 2018.
- 16.** Chen Y., Deng X., Wang Y., Zhang Q. Controllable low-strength backfill material and preparation method. Patent CN 113264731 A. Publ. date 17 August 2021.
- 17.** Stolzenburg O. Baustoff und Verfahren zu seiner Herstellung. Patent DE 103 02 772 A1. Publ. date 29 July 2004.
- 18.** Han J., Jo Y., Kim Y., Kim B. Development of high-performance fly-ash-based controlled low-strength materials for backfilling in metropolitan cities. Applied Sciences. 2023;13(16):9377. <https://doi.org/10.3390/app13169377>.
- 19.** Sumalatha J., Nataraja M.C., Sivakumar Babu G.L. Controlled low-strength material with industrial by-products in the isolation of contaminated sites. International Journal of Sustainable Engineering. 2025; 18(1):2507914. <https://doi.org/10.1080/19397038.2025.2507914>.
- 20.** Peng W., Dai Z. Mechanism of crack development and strength deterioration in controlled low-strength material in dry environment. Sustainability. 2025;17(3):965. <https://doi.org/10.3390/su17030965>.
- 21.** Gabr M.A., Bowders J.J. Controlled low-strength material using fly ash and AMD sludge. Journal of Hazardous Materials. 2002;76(2-3):251–263. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(00\)00202-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(00)00202-8).
- 22.** Katz A., Kovler K. Utilization of industrial by-products for the production of controlled low strength materials [CLSM]. Waste Management. 2004;24(5):501–512. [https://doi.org/10.1016/s0956-053x\(03\)00134-x](https://doi.org/10.1016/s0956-053x(03)00134-x).
- 23.** Guide Specification for Controlled Low Strength Materials (CLSM) [internet]. Available at: https://cf.specifyconcrete.org/doc/Flowable_Fill_Guide_Spec.pdf.
- 24.** Xu J., Wang F., Liu Y., et al. Assessment of uncontrolled backfill replacements using CLSM for urban pipeline trenches. Journal of Materials in Civil Engineering. 2021;33(11):04021308.

References

- 1.** Krugley E.V., Volchenko D.I. Method for producing artificial soil "Lithogrunt". Patent RU 2 682 920 C1. Publ. date. 4 August 2019. [In Russian].
- 2.** Karpenko S.A. Experience in using a self-compacting soil mixture. Concepts of modern education: theoretical and practical issues. Kazan: Sitlvent Publ.; 2020, pp. 203–208. [In Russian].
- 3.** Technische Universität München. Prüfung und Bewertung der Dauerhaftigkeit „zeitweise fließfähiger und selbstverdichtender Verfüllbaustoffe (ZFSV)“ im Unterbau von Verkehrsflächen. Zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FE-Nr. 05.0205/2018/IGB. München, 30 September 2022. [In German].
- 4.** Technische Hinweise zu Flüssigböden. RAL Gütegemeinschaft Flüssigboden e.V. [internet]. Available at: <https://www.ral-gg-fluessigboden.de> (accessed 30 July 2025).
- 5.** ACI 229R-13. Report on Controlled Low-Strength Materials. American Concrete Institute; 2013.
- 6.** Dev K.L., Kumar D.R., Wipulanusat W. Machine learning prediction of the unconfined compressive strength of CLSM using fly ash and pond ash. Scientific Reports. 2024;14:27540. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-78050-w>.
- 7.** Liquid > Solid > Ready? Comparison of Five Flowable Backfills for Sewer Pipe Trenches. IKT - Institute for Underground Infrastructure [internet]. Available at: <https://www.ikt-online.org/blog/comparison-flowable-backfills-sewer-pipe-trenches/> (accessed 30 July 2025).
- 8.** SP 22.13330.2016. Soil bases of buildings and structures. Updated version of SNIП 2.02.01-83* [internet]. Available at: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/14627/>. [In Russian].

9. SP 45.13330.2017. Earthworks, Grounds and Footings. Updated version of SNiP 3.02.01-87 [internet]. Available at: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/14715/>. (In Russian).
10. State Standard 25100-2020. Soils. Classification. Moscow: Standartinform Publ.; 2020. (In Russian).
11. Vlasov O.A., Mechev V.V., Vlasova F.G. Methane conversion method. Patent RU 2 682 576 C1. Publ. date 10 August 2014. (In Russian).
12. Xu J., Luo Q., Tang Y., Zeng Z., Liao J. Experimental study and application of controlled low-strength materials in trench backfilling in Suqian City, China. Materials. 2024;17(4):775. <https://doi.org/10.3390/ma17040775>.
13. Afrin H. A review on different types of soil stabilization techniques. International Journal of Transportation Engineering and Technology. 2017;3(2):19–24. <https://doi.org/10.11648/j.ijtet.20170302.12>.
14. Schmidt M., Spieth H., Haubach C., Kühne C. 100 pioneers in efficient resource management: best practice cases from producing companies. Springer Spektrum; 2019.
15. Li F., Liu C., Wang L., Zhou L. A controllable low strength material (CLSM). Patent CN 108203270 A. Publ. date 26 Juny 2018.
16. Chen Y., Deng X., Wang Y., Zhang Q. Controllable low strength backfill material and preparation method. Patent CN 113264731 A. Publ. date 17 August 2021.
17. Stolzenburg O. Baustoff und Verfahren zu seiner Herstellung. Patent DE 103 02 772 A1. Publ. date 29 July 2004.
18. Han J., Jo Y., Kim Y., Kim B. Development of high performance fly ash based controlled low strength materials for backfilling in metropolitan cities. Applied Sciences. 2023;13(16):9377. <https://doi.org/10.3390/app13169377>.
19. Sumalatha J., Nataraja M.C., Sivakumar Babu G.L. Controlled low-strength material with industrial by products in the isolation of contaminated sites. International Journal of Sustainable Engineering. 2025;18(1):2507914. <https://doi.org/10.1080/19397038.2025.2507914>.
20. Peng W., Dai Z. Mechanism of crack development and strength deterioration in controlled low strength material in dry environment. Sustainability. 2025;17(3):965. <https://doi.org/10.3390/su17030965>.
21. Gabr M.A., Bowders J.J. Controlled low-strength material using fly ash and AMD sludge. Journal of Hazardous Materials, 2002;76(2-3):251–263. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(00\)00202-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(00)00202-8).
22. Katz A., Kovler K. Utilization of industrial by-products for the production of controlled low strength materials (CLSM). Waste Management. 2004;24(5):501–512. [https://doi.org/10.1016/s0956-053x\(03\)00134-x](https://doi.org/10.1016/s0956-053x(03)00134-x).
23. Guide Specification for Controlled Low Strength Materials (CLSM) [internet]. Available at: https://cf.specifyconcrete.org/doc/Flowable_Fill_Guide_Spec.pdf.
24. Xu J., Wang F., Liu Y., et al. Assessment of uncontrolled backfill replacements using CLSM for urban pipeline trenches. Journal of Materials in Civil Engineering. 2021;33(11):04021308.

Информация об авторах / Information about the authors

Олег Александрович Шулятьев, д-р техн. наук, заместитель директора по научной работе, НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: office@niiosp.ru

Oleg A. Shulyatyev, Dr. Sci. (Engineering), Deputy Director for Research, Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: office@niiosp.ru

Дмитрий Геннадьевич Мартынов[✉], аспирант лаборатории освоения подземного пространства городов (№ 35), НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: gl.mdg@yandex.ru

Dmitrii G. Martynov[✉], Postgraduate Student, Laboratory for the Development of Underground Space of Cities (No. 35), Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: gl.mdg@yandex.ru

Вячеслав Валентинович Орехов, д-р техн. наук, главный специалист экспертно-аналитического отдела, НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва
Vyacheslav V. Orekhov, Dr. Sci. (Engineering), Chief Specialist, Expert and Analytical Department, Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow

 Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

ЭФФЕКТЫ ПРИ ОТРАЖЕНИИ ВОЛНЫ НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕРЕВЯННЫХ ОБРАЗЦАХ

П.Г. РОМАНОВ[✉], канд. техн. наук

А.А. СЛЕПЦОВ

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», ул. Белинского, д. 58, г. Якутск, 677000, Республика Саха (Якутия), Российской Федерации

Аннотация

Введение. Волновые процессы распространения напряжений и деформаций в древесине как в конструкционном материале имеют свои особенности. Геометрическая форма элементов деревянных конструкций как граница физических сред, конструктивная форма узлов и соединений, обычно из стальных элементов, kleевые слои, слои модифицированной kleem древесины создают сложные граничные условия развития напряженно-деформированного состояния.

Цель. Обоснование модели процесса отражения волны напряжения от границы среды в деревянном образце, с качественной и количественной оценками изменения напряжения во времени и по геометрической длине образца. Модель деформирования древесины как природного полимера позволит на основе кинетической теории прочности обосновать длительную прочность древесины и деревянных конструкций.

Материалы и методы. Проанализированы исследования Г. Кольского, Р.М. Дейвиса, Ю.Н. Работнова в части обоснования предложенной модели волновых процессов в древесине и деревянных конструкциях. Дополнительно обоснована гипотеза о влиянии волнового распространения деформаций на длительную прочность. Численный эксперимент показал эффекты при отражении волны напряжений от границ принятой упругой ограниченной среды. Предложены две новые гипотезы: в зависимости от физических свойств материала и геометрических размеров элемента строительной конструкции, а также величины и продолжительности приложения внешней нагрузки может быть определен так называемый «порог глубины», глубже которого начинает проявляться полный волновой эффект распространения напряжения в объеме образца; торOIDальное тело с длиной, многократно превышающей его диаметр, стремящейся к бесконечности, можно считать цилиндром бесконечной длины, моделирующей бесконечную среду.

Результаты. Напряжения распространяются в объеме образца волнообразно, постепенно затухая до значения в 27 МПа эквивалентного напряжения по Мизесу, в состоянии покоя нагруженного образца. Напряжения на поверхности приложения внешней нагрузки стабилизируются быстрее, волновые процессы изменения напряжений характеризуются незначительной амплитудой.

Выводы. В численном и натурном экспериментах выявлена закономерность, подтвердившая ранее сформулированную гипотезу о значительном превышении значения волны напряжения над величиной напряжения в состоянии покоя нагруженного элемента. При сжатии образца выявлен эффект колебания волны напряжения отражения, амплитуда которой устанавливается относительно значения напряжения в состоянии покоя.

Ключевые слова: деревянные конструкции, волны напряжений, вибрационные испытания, коэффициент затухания, «порог глубины», длительная прочность, торOIDальная бесконечная среда

Для цитирования: Романов П.Г., Слепцов А.А. Эффекты при отражении волны напряжений в деревянных образцах. Вестник НИЦ «Строительство». 2025;47(4):132–143. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-132-143](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-132-143)

Благодарности

Авторы выражают искреннюю признательность и благодарность АО «ВИСОМ» (г. Смоленск) и Д.Ю. Попкову (начальнику учебного центра) за проведение испытаний и помочь в редактировании статьи. Авторы благодарят рецензентов.

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 07.07.2025

Поступила после рецензирования 23.09.2025

Принята к публикации 02.10.2025

EFFECTS OF STRESS WAVE REFLECTION IN WOODEN SAMPLES

P.G. ROMANOV[✉], Cand. Sci. (Engineering)

A.A. SLEPTSOV

North-Eastern Federal University, Belinsky str., 58, Yakutsk, 677000, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation

Abstract

Introduction. Wave propagation of stress and strain in wood as a structural material have their own characteristics. The geometric shape of wooden structural elements as a boundary between physical media, the structural shape of nodes and joints typically made of steel elements, adhesive layers, as well as layers of glued wood form complex boundary conditions for the development of a stress-strain state.

Aim. To substantiate a model of stress wave reflection from the boundary of a medium in a wooden sample with qualitative and quantitative assessments of the change in stress over time and along the sample length. The strain model of wood as a natural polymer can be used to substantiate the long-term strength of wood and wooden structures based on the kinetic strength theory.

Materials and methods. The studies of G. Kolsky, R.M. Davis, and Yu.N. Rabotnov are analyzed for substantiating the proposed model of wave processes in wood and wooden structures. Moreover, the hypothesis about the effect of wave strain propagation on the long-term strength is substantiated. The effects of stress wave reflection from the boundaries of an assumed elastic bounded medium are demonstrated in the numerical experiment. Two hypotheses are proposed. The first one assumes using the physical properties of material and geometric dimensions of the structural element. In addition, the magnitude and duration of the external load are used to determine a so-called “depth threshold,” below which the full wave effect of stress propagation within the sample begins to manifest itself. The second hypothesis considers a toroidal body with a tending to infinity length many times greater than its diameter as a cylinder of infinite length simulating an infinite medium.

Results. The stress waves propagate in the volume of the loaded sample at rest, gradually attenuating to a value of 27 MPa equivalent stress according to von Mises. The stresses on the surface where the external load is applied stabilize faster; the wave processes of stress change are characterized by a small amplitude.

Conclusions. The performed numerical and field experiments revealed a pattern confirming the previously formulated hypothesis of a significant excess in the stress wave value over the stress value for the loaded element at rest. When the sample is compressed, the reflected stress oscillates at an amplitude established relative to the value of the stress at rest.

Keywords: wooden structure, stress wave, vibration test, damping coefficient, depth threshold, long-term strength, toroidal infinite medium

For citation: Romanov P.G., Sleptsov A.A. Effects of stress wave reflection in wooden samples. *Vestnik NIC Stroitel'tvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction.* 2025;47(4):132–143. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-132-143](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-132-143)

Acknowledgments

The authors express their sincere appreciation and gratitude to the JSC VISOM (Smolensk) and Head of the Training Center D.Yu. Popkov for conducting the tests and assisting in editing the article. The authors thank the reviewers.

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 07.07.2025

Revised 23.09.2025

Accepted 02.10.2025

Введение

Волновые процессы распространения напряжений и деформаций в древесине как в конструкционном материале имеют свои особенности. Продольные волны, у которых направления колебаний совпадают с направлением движения; поперечные волны, колебания которых перпендикулярны направлению их распространения. Возникая, распространяясь, ограничиваясь и затухая в объеме элемента деревянной конструкции, они претерпевают изменения своих характеристик, обусловленные физическими свойствами древесины и формой элементов строительной конструкции. В большинстве случаев геометрическая форма элементов деревянных конструкций как граница физических сред, конструктивная форма узлов и соединений, обычно из стальных узлов, клевые слои, слои модифицированной kleem древесины создают сложные граничные условия развития напряженно-деформированного состояния.

Основные волновые реактивные явления отражения от границы сред, взаимодействия сред при внешних воздействиях описаны преимущественно в стали и железобетоне.

Целью работы является обоснование модели процесса отражения волны напряжения от границы среды в деревянном образце, с качественной и количественной оценками изменения напряжения во времени и по геометрической длине образца. Модель деформирования древесины как природного полимера позволит на основе кинетической теории прочности обосновать длительную прочность древесины и деревянных конструкций.

Материалы и методы

Классификация волновых процессов в курсах классической физики разделяет упругие физические среды на неограниченные среды и на среды, имеющие свободную поверхность или имеющие поверхность раздела двух тел, как правило, имеющих различные физические свойства [1].

Волновой процесс характеризуется преодолением сопротивления среды, наличием внутреннего или внешнего трений, передачей части внутренней энергии внешней среде в виде тепла, изменением внутреннего температурного и энергетического балансов. Уменьшаются скорость и амплитуда волны, происходит затухание волны.

Важной характеристикой процесса потери энергии волн является коэффициент затухания, имеющий разные размерности в зависимости от условий и среды распространения. Определенный показатель волны (например, амплитуда колебания или др.), отнесенный к единице длины или времени, характеризует затухание как физический процесс. В механике коэффициент затухания имеет размерность, обратную времени, – сек⁻¹. Если затухание оценивается как убывание рассматриваемой характеристики, например амплитуды на единицу длины, то величина будет безразмерной.

Поскольку рассматривается задача распространения волны напряжений и деформаций в сплошной упруго-пластической среде, оценим затухание волн в выбранной реологической модели среды сопротивления. Для оценки сопротивления материалов во времени приняты различные реологические модели:

- тело Гука, **H** (упругое тело);
- тело Ньютона, **N** (упруго-пластическое тело);
- тело Сен-Венана, **StV** (упругое тело, применимо к упруго-пластическим телам);
- тело Журкова, **Zh** (пластическое тело, применимо к упруго-пластическим телам);
- тело Кауцманна, **Km** (пластическое тело);
- тело Максвелла (Фойгта), **MF** (вязко-упругое тело);
- составное тело, **PM** (physical medium), с задаваемыми характеристиками.

В некоторых задачах модели вязко-упругих тел детализированы как тело Кельвина – Фойгта, тело Максвелла и стандартное линейное тело [2]. Рассматривается и более общая модель, объединяющая свойства указанных моделей [1].

При этом модель физического тела, выбираемая для конкретной задачи, должна с допустимой корректностью отражать изменение характеристик упруго-пластических свойств материала в процессе сопротивления элементов реальных строительных конструкций.

В реальных условиях сопротивления элементов строительных конструкций из различных материалов, в частности деревянных конструкций, их объемы ограничены, объемные формы элементов конструкций известны. Формулировка заданий на численное моделирование процессов изменения напряженно-деформированного состояния, составление граничных условий основываются на особенностях нагружения, сопротивления материала и конструктивной формы элемента строительной конструкции.

Численный эксперимент

Авторами принятая модель тела по аналогии с телом Гука, **H** (упругое тело, работает в упругой стадии, упруго-пластические и пластические свойства в данной задаче не рассматриваются). Поскольку скорость распространения волн напряжения в древесине велика, сопоставима со скоростью распространения звука в древесине (по справочным данным в интервале от 1000 до 5000 м/сек), сопротивление происходит упруго. Пластические деформации не проявляются, происходит своеобразное запаздывание пластичности аналогично данному эффекту в малоуглеродистных стальях. Данный эффект представлен Ю.Н. Работновым: «...Характерная особенность малоуглеродистых сталей – это так называемое запаздывание текучести. Как оказывается при кратковременном действии нагрузки, вызывающей напряжения, значительно превышающее статический предел текучести, материал может оставаться некоторое непродолжительное время в упругом состоянии. Под статическим пределом текучести мы понимаем условную величину, измеряемую в обычных опытах на стандартном оборудовании. Непродолжительное время нужно понимать в том смысле, что эффект запаздывания заметен при временах порядка микро- миллисекунд, т. е. главным образом в волновых процессах...» [3].

В предыдущих задачах [4–10] реализованы этапы последовательного приближения численных моделей к работе реальных деревянных цельных и kleеных элементов, при восприятии ими волнового воздействия напряжений в объеме элементов деревянных конструкций. Численные эксперименты показали качественную и количественную картины распространения деформаций и их волновых проявлений. Выявлено значительное влияние пропорций образца (отношения его ширины и длины (возможно толщины)) на интерференцию волн на поверхности. Качественная картина показывает, что при количественном описании градиента деформации могут быть выделены опасные для материала участки. Расчетным путем будет возможно определить участки с наибольшими градиентами деформаций и принять конструктивные меры недопущения отказов деревянных односторонне и перекрестно склеенных панельных конструкций. Рассмотренная модель деревянного анизотропного стержня близка к первой гипотезе безграничной упругой среды, так как исключено рассмотрение колебаний точки в других направлениях.

Далее линейные задачи расширены до демонстрации пространственных деформаций. Модели демонстрируют распространение продольной и поперечной волн, представляют объемную деформацию анизотропного материала. В плоскости, совпадающей с направлением распространения волн, представлено уплотнение и разрежение среды. В этой же системе координат представлены графики изменения амплитуды поперечной волны. Совмещение этих двух графиков показывает разность скоростей распространения волн и сочетание амплитуд. Модель позволяет выделить наличие отраженных волн Релея, описать отражение волн от границы среды. Визуализация волнообразного распространения напряжений и деформаций требует дальнейшей детализации, формулировки граничных условий и ограничений.

Численный эксперимент реализован на языке c++ с помощью специализированного пакета для вычисления дифференциальных уравнений FEniCS. Поскольку нагрузка прикладывается вдоль оси Z, основной интерес представляет скорость волны, распространяющейся в этом направлении.

Численный эксперимент моделирует процесс сопротивления цельнодеревянного образца с размерами $a \times b \times h$, $100 \times 100 \times 150$ мм, нагружаемого осевой силой в 40 тонн. Нагрузка прикладывается внезапно (импульсно, за короткое время), за 10 микросекунд. Продолжительность описания процесса волнового распространения напряжений до наступления стабильного состояния покоя колеблется около 60 сек, в зависимости от заданных условий. Характерные точки обозначены на вертикальной осевой линии срединной плоскости образца (рис. 1). Это три точки – на свободной площадке приложения нагрузки, в середине и у опоры. Искомое значение напряжения в точке, если воспользоваться условием прочности по Мизесу, как эквивалентное напряжение с учетом составляющих нормальных напряжений по осям X , Y и Z определяется по формуле:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_t^2. \quad (1)$$

Получены графики нормальных напряжений в указанных точках (рис. 2). Значения напряжений в точках вычислены по формуле (1). Скорость волны напряжения c_0 принимается из известной зависимости, по модулю упругости и плотности древесины сосны:

$$c_0 = \sqrt{\frac{E}{\rho}}. \quad (2)$$

На основании графиков волнообразного изменения напряжений возможно сформулировать следующие результаты:

- напряжения распространяются в объеме образца волнообразно, постепенно затухая до расчетного значения напряжения нагруженного образца в состоянии покоя в 27 МПа;
- напряжения на поверхности приложения внешней нагрузки стабилизируются быстрее, волновые процессы изменения напряжений характеризуются незначительной амплитудой;
- напряжения в срединной и в приопорной частях объема образца демонстрируют колебания в значительных пределах.

На основании полученных результатов возможна формулировка сопровождающей гипотезы: в зависимости от физических свойств материала и геометрических размеров элемента строительной конструкции, а также величины и продолжительности приложения внешней нагрузки может быть определен так называемый «порог глубины», глубже которого начинает проявляться полный волновой эффект распространения напряжения в объеме образца.

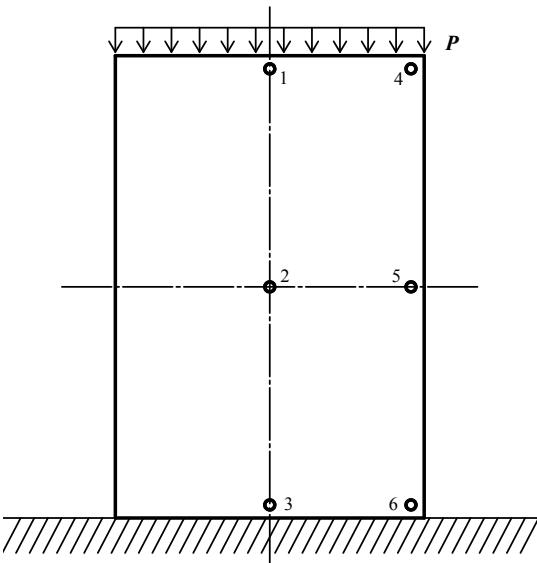


Рис. 1. Схема нагружения и характерные точки
Fig. 1. Loading diagram and characteristic points

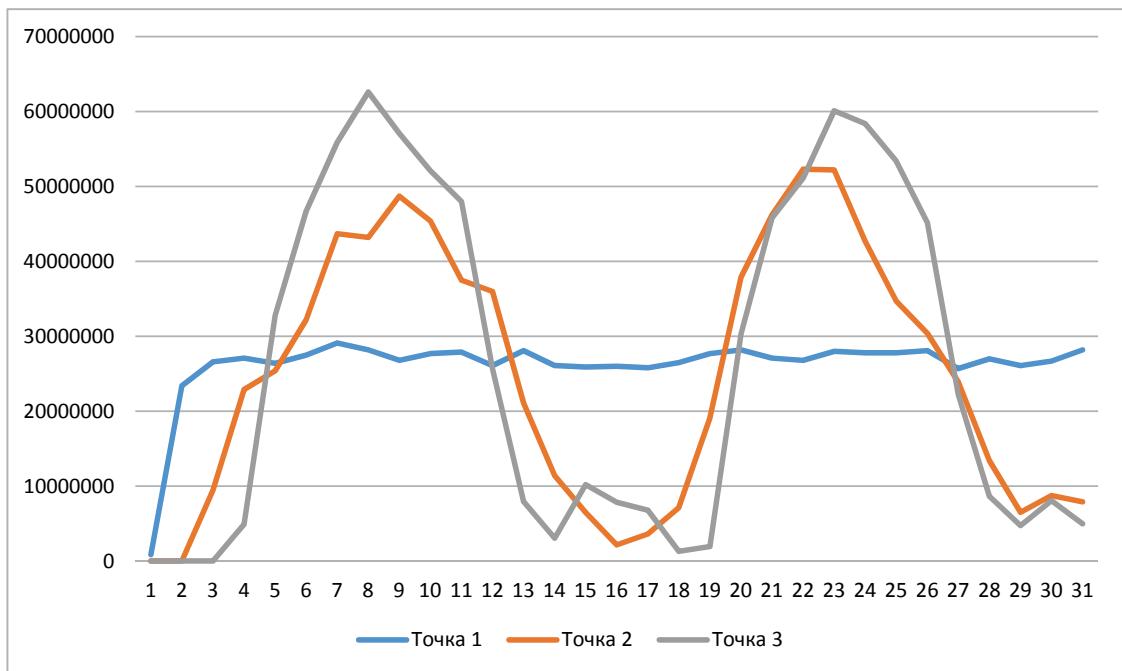


Рис. 2. Движение волны напряжений во времени, в сечениях образца, Па
Fig. 2. Movement of stress waves over time, in sample sections, Pa

Эксперименты по изучению особенностей разрушения, вызванного волновым распространением напряжений на стальных образцах, показали, что общая картина разрушения при статическом нагружении отличается от разрушения, вызванного волновым воздействием напряжений. Г. Кольский отмечает: «Так, при очень высоких скоростях нагружения, связанных с интенсивными импульсами напряжения, материалы, которые обычно считаются вязкими, могут вести себя как хрупкие»... «Это объясняется тем, что напряжение прикладывается на такой короткий промежуток времени, что ни одна из образующихся трещин не успевает распространяться, и вместо непрерывных трещин возникает большое число отдельных трещин, причем иногда они соединяются и образуют более или менее непрерывную поверхность с беспорядочной текстурой» [1].

Вибрационные испытания

В первую очередь нужно было определить коэффициент затухания деформаций, проверить экспериментально и использовать в численных исследованиях для обеспечения корректной физической картины деформирования анизотропной панели. Научная новизна исследования заключается в постановке новой научной проблемы изучения волновых процессов в перекрестноклееной древесине в конструкциях с их применением, влияния волновых процессов на длительную прочность древесины и деревянных конструкций. Выявлены и описаны новые закономерности в распространении волн напряжений и деформаций и перекрестноклееной древесине, отличающиеся от аналогичных процессов в других строительных материалах наличием анизотропии строения.

В целях определения показателей затухания были проведены вибрационные испытания на цельнодеревянных образцах с использованием измерительного комплекса ВС-301 производства ООО «ВИСОМ» (Смоленск) (рис. 3). Результаты, полученные на образцах с размерами $1200 \times 70 \times 50$ и $2200 \times 150 \times 75$ мм, представляют собой акселерограммы (рис. 4, 5). Образцы подвешиваются на пружинных или резиновых подвесах с целью исключения влияния реакций опор, внешних вибраций. Так называемое «обезвешивание» образцов позволяет исключить внешние воздействия. Не критично, но желательно распределить подвесы таким образом, чтобы обеспечить равномерное опирание с целью распределения изгибающих моментов от действия собственного веса образца. Вибрационные датчики регистрируют ускорения, полученные массивы данных обрабатываются для достижения целей эксперимента.

Были произведены серии ударов с разных направлений и разной силы. Установлено три датчика по длине бруса. Произведено вывешивание для отвязки частот подвеса от собственных частот колебания бруса. Таким образом, не происходит влияния опоры на распространение волн (рис. 6).

Проведен анализ результатов, позволяющий при помощи корреляционных функций между датчиками рассчитать скорость распространения волны. С помощью автокорреляционных

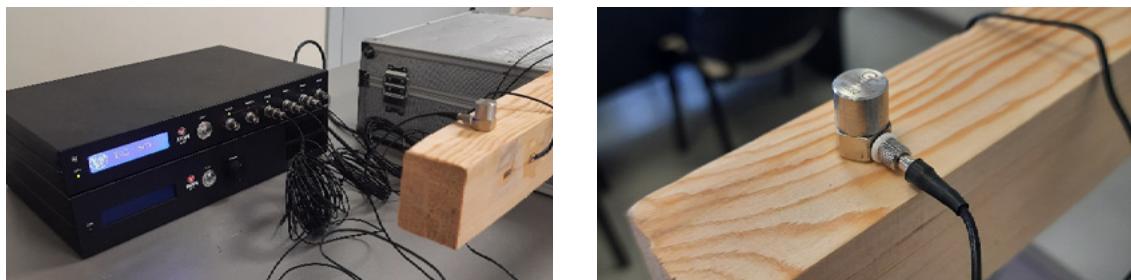


Рис. 3. Подготовка к вибрационным испытаниям

Fig. 3. Preparation for vibration tests

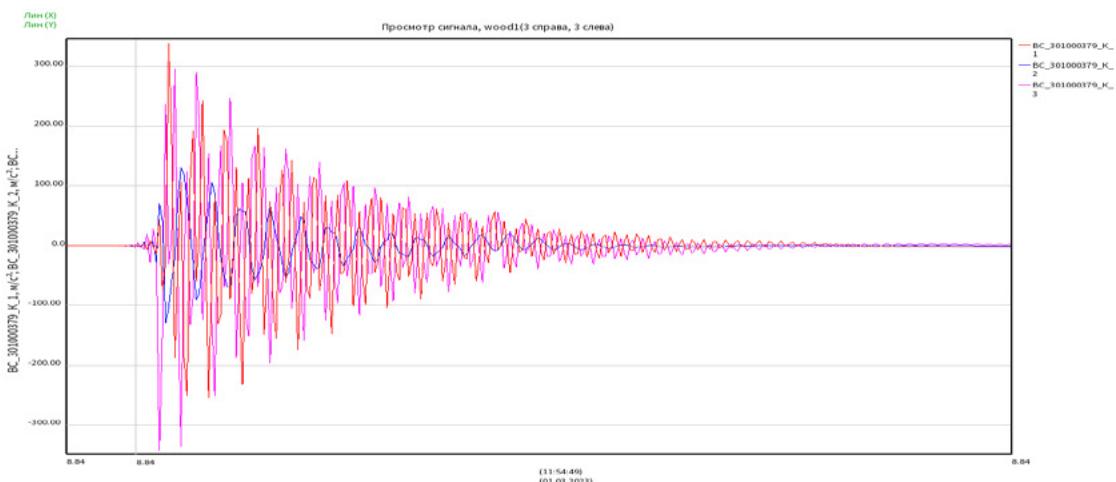
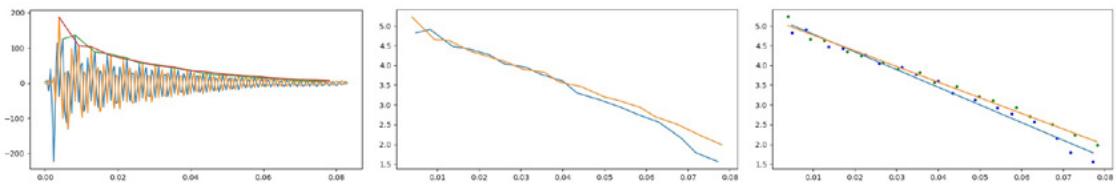


Рис. 4. Акселерограммы от единичного импульса. Последовательное расположение трех датчиков

Fig. 4. Single pulse accelerograms. Serial arrangement of three sensors



6 (a)

6 (b)

6 (c)

Рис. 5. Вибрационные колебания. Амплитуды ускорений (а), скоростей (б) и перемемен (в)
Fig. 5. Vibrational oscillations. Amplitudes of accelerations (a), velocities (b), and movements (c)



Рис. 6. Вывешивание деревянного образца размером 2200 × 150 × 75 мм

Fig. 6. Hanging a wooden sample measuring 2200 × 150 × 75 mm

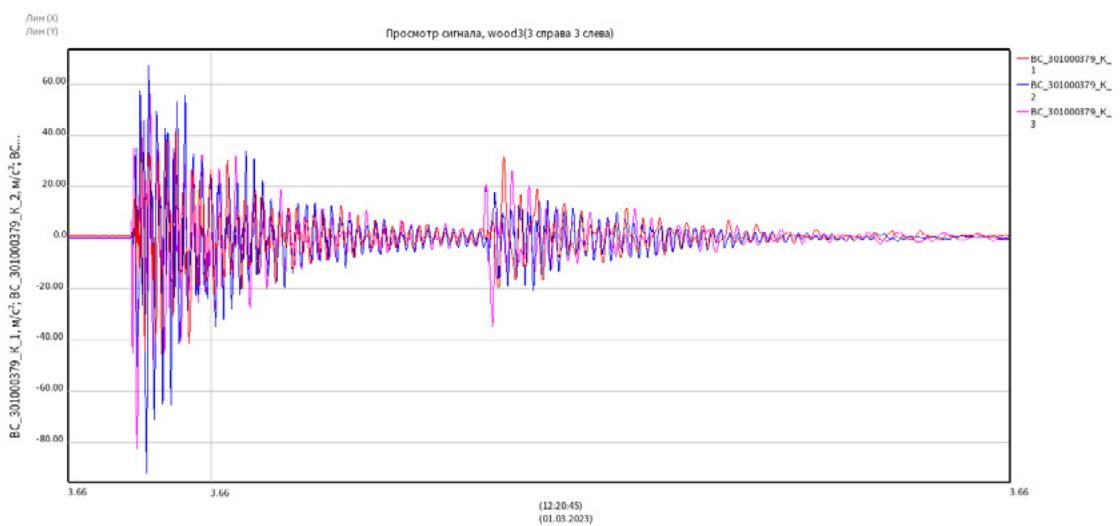


Рис. 7. Характерная картина визуализации эха
Fig. 7. Characteristic echo visualization pattern

и автоковариационных функций рассчитано эхо – отражение волны от противоположного удару конца. Для расчета добротности и логарифмического коэффициента затухания требуется возбуждение сигналом сложной формы, желательно шумоподобным. Это позволяет четко выделять корреляционные пики в отличие от ударов и синуса, которые дают размытый гармонический сигнал на корреляционной функции.

На временном сигнале на рис. 7 видно эхо от распространения волны. По этому графику оценку можно провести приблизительно, так как при ударе нет четких границ начала и окончания, они не выделяются на фоне прочих колебаний. Расчетная скорость распространения равна ($4 \text{ м}/0,0035$) $c_0 = 1145 \text{ м}/\text{с}$, коэффициент затухания с учетом отражения равен $\gamma = 2,5$. В результате была выбрана оптимальная сила воздействия, при которой наблюдается эхо. Отражения ведут себя нелинейно и при ударах слабой интенсивности не наблюдаются. Зависимость отражений от интенсивности воздействия требует дополнительного изучения.

Модель безграничной среды

В этой связи возникает вопрос учета наличия эха, устранения шумов и помех, в основном обусловленных ограниченностью длины испытуемого образца. Данный вопрос может быть решен применением замкнутого по длине кольцеобразного образца круглого сечения тороидальной формы (рис. 8). Длина тороидального тела должна значительно превышать его диаметр. Как подтверждает Г. Кольский, ряд ранее высказанных гипотез: «... теоретически допустимо рассматривать (прямолинейный, прим. П. Г. Романова) цилиндр таким же методом как безграничную среду. ... Тогда, если мы рассмотрим возмущение в некоторой точке внутри цилиндра, то обнаружим, что из этой точки должна распространяться сферическая волна расширения со скоростью c_1 ; часть этой волны должна распространяться вдоль цилиндра, не испытывая отражений от поверхности» [1]. Отсутствие отражения от границы сред и волн Релея (отраженных волн) является одной из главных характеристик безграничной среды. Тороидальное тело с длиной, стремящейся к бесконечности, многократно превышающей его диаметр, можно считать цилиндром бесконечной длины.

Поскольку при ударе вибрационное колебание идет вдоль тороидального тела в обе стороны, то если с одной стороны относительно точки удара, на расчетном расстоянии, равном длине волны, нанести дополнительный импульс с заранее заданной частотной характеристикой, то стартовавшая после первого удара продольная волна получит индивидуальные частотные характеристики – волновой маркер. Фиксируя при помощи приборов данную волну, многократно проходящую через регистрирующие датчики, возможно определить характеристики затухания волны с маркером, не учитывая встречную волну и ее интерференционные явления. Полноценная реализация этой гипотезы в древесине и других материалах, в том числе вновь создаваемых композитных и других, позволит точно определить их волновые характеристики, что может иметь важное прикладное значение.

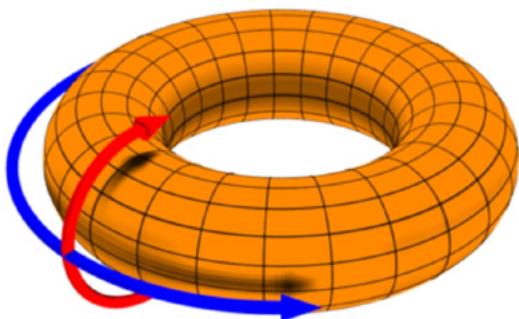


Рис. 8. Тороидальное тело (автор DaveBurke, Wikipedia)

Fig. 8. Toroidal body (by DaveBurke, Wikipedia)

Выходы

1. В численном и натурном экспериментах выявлена закономерность, подтвердившая ранее сформулированную гипотезу о значительном превышении значения волны напряжения над величиной напряжения в состоянии покоя нагруженного элемента.

2. При сжатии образца выявлен эффект колебания волны напряжения отражения, амплитуда которой устанавливается относительно значения напряжения в состоянии покоя. Минимальное значение напряжения близко к нулю, максимальное значение сопоставимо с удвоенным значением напряжения покоя.

3. В окрестностях точки, находящейся на границе раздела сред, в припорной части образца, разница между пиковыми значениями напряжений волны сжатия, которые волна проходит за весьма короткий промежуток времени, будет в значительной степени сокращать длительную прочность древесины.

Список литературы

1. Кольский Г. Волны напряжений в твердых телах. Москва: Изд-во иностр. лит-ры; 1955.
2. Дейвис Р.М. Волны напряжений в твердых телах. Москва: Изд-во иностр. лит-ры; 1961.
3. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. 2-е изд. Москва: Наука; 1988.
4. Романов П.Г., Сивцев П.В. Численное моделирование волновых проявлений сопротивления деревянного образца с идеализированной анизотропией упругих параметров. Строительная механика и расчет сооружений. 2020;(1):37–43.
5. Romanov P.G., Sivtsev P.V. Features of the deformation of cross-glued wooden panel structures for northern construction. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;625(1):012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/625/1/012018>.
6. Romanov P.G., Sivtsev P.V. Features of modeling of stress and strain waves in an anisotropic medium on the example of a wooden element. Journal of Physics: Conference. 2021;2131(3):032089. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2131/3/032089>.
7. Романов П.Г. Сивцев П.В. Численный эксперимент по испытаниям на сдвиг перекрестно-склеенного деревянного элемента. Строительная механика и расчет сооружений. 2023;306(1):56–64. <https://doi.org/10.37538/0039-2383.2023.1.56.64>.
8. Sivtsev P.V., Romanov P.G. Numerical modeling of deformation of cross-glued pine wood samples. AIP Conference Proceedings. 2022;2528(1):020017. <https://doi.org/10.1063/5.0106881>.
9. Romanov P.G., Sivtsev P.V. Visualization of deformation and stress waves in wooden solid and glued elements of building structures. Scientific Visualization. 2024;16(1):95–104. <https://doi.org/10.26583/sv.16.1.08>.
10. Романов П.Г. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния узла соединения ДПК-панелей. Строительная механика и расчет сооружений. 2025;(1):2–8. <https://doi.org/10.37538/0039-2383.2025.1.2.8>.

References

1. Kolsky H. Stress waves in solids. Oxford: Clarendon Press; 1953.
2. Davies R.M. Stress waves in solids. In: Batchelor G.K., Davies R.M. Surveys in mechanics. Cambridge monographs on mechanics and applied mathematics. Cambridge Univ. Press; 1956.
3. Rabotnov Yu.N. Mechanics of Deformable Solids. 2nd ed. Moscow: Nauka Publ.; 1988. (In Russian).
4. Romanov P.G., Sivtsev P.V. Numerical modeling of wave manifestations of resistance of a wooden specimen with idealized anisotropy of elastic parameters. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2020;(1):37–43. (In Russian).

- 5.** Romanov P.G., Sivtsev P.V. Features of the deformation of cross-glued wooden panel structures for northern construction. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;625(1):012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/625/1/012018>.
- 6.** Romanov P.G., Sivtsev P.V. Features of modeling of stress and strain waves in an anisotropic medium on the example of a wooden element. Journal of Physics: Conference. 2021;2131(3):032089. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2131/3/032089>.
- 7.** Romanov P.G., Sivtsev P.V. Numerical experiment on shear testing of a cross-laminated wooden element. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2023;306(1):56–64. (In Russian). <https://doi.org/10.37538/0039-2383.2023.1.56.64>.
- 8.** Sivtsev P.V., Romanov P.G. Numerical modeling of deformation of cross-glued pine wood samples. AIP Conference Proceedings. 2022;2528(1):020017. <https://doi.org/10.1063/5.0106881>.
- 9.** Romanov P.G., Sivtsev P.V. Visualization of deformation and stress waves in wooden solid and glued elements of building structures. Scientific Visualization. 2024;16(1):95–104. <https://doi.org/10.26583/sv.16.1.08>.
- 10.** Romanov P.G. Numerical modeling of the stress-strain state of a WPC panel connection node. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2025;(1):2–8. (In Russian). <https://doi.org/10.37538/0039-2383.2025.1.2.8>.

Информация об авторах / Information about the authors

Прокопий Георгиевич Романов[✉], канд. техн. наук, доцент кафедры «Проектирование, строительство и технологии» инженерно-технического института, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск
e-mail: pg.romanov@mail.ru

Prokopii G. Romanov[✉], Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Department of Design, Construction, and Technology, Engineering and Technical Institute, North-Eastern Federal University, Yakutsk
e-mail: pg.romanov@mail.ru

Александр Александрович Слепцов, преподаватель-исследователь, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск
Aleksandr A. Sleptsov, Research Lecturer, North-Eastern Federal University, Yakutsk

[✉] Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И НОРМАТИВНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ

А.С. БАРКОВ[✉]

А.С. ЗАБОЛОТНИКОВ

Филиал общества с ограниченной ответственностью «Рн-Стройконтроль», ул Мельникайте, д. 116, к. 1, г. Тюмень, 625007, Российской Федерации

Аннотация

Введение. Авторы рассматривают области применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в строительной отрасли с акцентом на их использование для геодезических изысканий, мониторинга объектов и контроля за строительством.

Цель. Анализ современных областей БПЛА в проектировании и строительстве, а также оценка их влияния на точность, стоимость и сроки выполнения работ. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: классифицировать существующие практики применения БПЛА; выявить их ключевые преимущества и ограничения; на основе анализа конкретных кейсов определить наиболее перспективные направления их использования.

Материалы и методы. В основе исследования лежит анализ и систематизация замечаний к проекту изменений в СП 126.13330.2017. Методика работы включала сбор предложений из пояснительной записки и материалов обсуждений, их категоризацию по целевым аспектам (структура документа, терминология, технические требования) и последующее обобщение. Результатом данной процедуры стала сводная таблица, которая наглядно представляет проанализированные замечания и рекомендации, что и составляет основу для интеграции технологии БПЛА в нормативную базу.

Результаты. Обоснована значимость БПЛА для повышения безопасности на строительных объектах, для улучшения качества строительства и повышения оперативности выполнения работ. Рассматриваются реальные примеры использования беспилотников для мониторинга дорог, высотных зданий и исторических объектов, а также подчеркивается роль новых технологий в мониторинге промышленных объектов.

Выводы. Приведенные результаты демонстрируют успешное внедрение БПЛА в строительные процессы, а также необходимость дальнейшей работы над совершенствованием нормативной базы для полного использования их потенциала.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты (БПЛА), строительство, геодезические изыскания, мониторинг объектов, аэрофотосъемка, лазерное сканирование, цифровые модели местности, инновационные технологии, безопасность на строительных объектах, инфраструктурные проекты, технические требования, топографические карты, строительный контроль

Для цитирования: Барков А.С., Заболотников А.С. Применение беспилотных летательных аппаратов в строительстве: внедрение новых технологий и нормативные изменения. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2025;47(4):144–156. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-144-156](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-144-156)

Вклад авторов

Барков А.С. – написание текста рукописи, оформление рукописи, работа с графическим материалом, сбор и анализ данных литературы, проведение сравнительного анализа, интерпретация результатов исследования.

Заболотников А.С. – редактирование текста рукописи, формулировка выводов, критический пересмотр текста рукописи.

Финансиование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 24.06.2025

Поступила после рецензирования 10.08.2025

Принята к публикации 14.08.2025

UNMANNED AERIAL VEHICLES IN CONSTRUCTION: ADVANCED TECHNOLOGIES AND REGULATORY CHANGES

A.S. BARKOV✉

A.S. ZABOLOTNIKOV

Tyumen Branch of the RN-Stroikontrol LLC, Melnikaite str., 116, bld. 1, Tyumen, 625007, Russian Federation

Abstract

Introduction. The paper examines the application of unmanned aerial vehicles (UAVs) in construction, emphasizing their use for geodetic surveys, site monitoring, and construction supervision.

Aim. To analyze contemporary UAV applications in design and construction, as well to assess their impact on the accuracy, cost, and duration of construction period. To achieve this goal, we set the following objectives: to classify existing UAV application practices; to identify their key advantages and limitations; to determine the most promising areas of their use based on an analysis of specific cases.

Materials and methods. The study is based on the analysis and systematization of comments on the draft amendments to SP 126.13330.2017. The methodology of the study includes collecting proposals from the explanatory note and discussion materials with their classification according to target aspects including document structure, terminology, and technical requirements with subsequent generalization. The study yielded a summary table that clearly presents the analyzed comments and recommendations to form the basis for integrating UAV technology into the regulatory framework.

Results. The importance of UAVs for improving safety at construction sites, construction quality, and efficiency of work execution is substantiated. The article considers real-world examples of using UAVs to monitor roads, high-rise buildings, and historical sites, as well as highlights the role of new technologies in monitoring industrial facilities.

Conclusions. The presented results demonstrate the successful implementation of UAVs in construction processes, as well as the need for further improvements of the regulatory framework to fully utilize their potential.

Keywords: unmanned aerial vehicle (UAV), construction, geodetic survey, object monitoring, aerial photography, laser scanning, digital terrain models, innovative technologies, safety at construction sites, infrastructure projects, technical requirements, topographic maps, construction supervision

For citation: Barkov A.S., Zabolotnikov A.S. Unmanned aerial vehicles in construction: advanced technologies and regulatory changes. *Vestnik N/C Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction.* 2025;47(4):144–156. [In Russian]. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-144-156](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-144-156)

Authors contribution statement

Barkov A.S. – designing and writing the manuscript, working with graphical material, collecting and analyzing literature data, conducting a comparative analysis, interpreting research results.

Zabolotnikov A.S. – editing the manuscript, formulating conclusions, critically revising the manuscript.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 24.06.2025

Revised 10.08.2025

Accepted 14.08.2025

Введение

Современные строительные технологии все чаще включают использование технологий беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга и контроля. БПЛА позволяют проводить регулярный мониторинг строительных площадок без приостановки основных работ, обеспечивая высокую детализацию и достоверность данных. Особенно востребованы эти технологии при реализации масштабных инфраструктурных проектов, где важны оперативность и безопасность проведения изысканий.

Современное развитие технологий беспилотных систем и геодезии активно трансформирует практику строительного контроля. Применение БПЛА дает заказчику двойной эффект: **повышение качества и снижение стоимости** проведения геодезических работ. Для реализации этого потенциала требуется соответствующая модернизация нормативной документации, призванная создать надежную основу для массового внедрения технологий в строительную отрасль. Важным шагом в данном направлении стали изменения в СП 126.13330.2017 (с Изменением № 2) [1], которые открыли правовые перспективы для использования БПЛА в строительстве [2].

Эти изменения направлены на создание условий для эффективного применения современных технологий в процессе строительства, способствуя переходу к непрерывному мониторингу и повышению точности исполнительной документации. Изменения в нормативной документации имеют большое значение, поскольку они формируют основы для широкого внедрения инновационных технологий, таких как лазерное сканирование и фотограмметрия с использованием БПЛА. В результате такого подхода строительство становится более предсказуемым, а процессы проектирования и мониторинга – более прозрачными и оперативными.

В статье рассматриваются основные преимущества применения БПЛА в строительстве, а также роль, которую играют новые нормативные изменения в процессе цифровизации строительного контроля. Также внимание уделяется проблемам и вызовам, с которыми сталкиваются строительные компании при внедрении технологий БПЛА, и путем их решения через корректировку существующих норм и стандартов.

Нормативные изменения и внедрение новых технологий

Строительная отрасль переживает технологическую трансформацию, связанную с внедрением инновационных методов контроля и мониторинга. Особое место в этом процессе занимают беспилотные летательные аппараты, которые открывают новые возможности для оптимизации строительных процессов. Эти технологии позволяют осуществлять комплексный мониторинг строительных площадок, создавать детализированные цифровые модели объектов и проводить высокоточное обследование конструкций, недоступное для традиционных методов.

Эффективное внедрение БПЛА в строительную практику потребовало соответствующей нормативной поддержки, которая была реализована через обновление СП 126.13330.2017 [1]. Эти изменения создают необходимые правовые условия для применения современных технологий на всех этапах строительства – от проектирования до эксплуатации объектов. Наибольший практический эффект от внедрения данных норм наблюдается в инфраструктурном строительстве, где требования к точности и оперативности контроля особенно высоки.

Применение БПЛА трансформирует подходы к строительному контролю за счет технологий аэрофотосъемки и лазерного сканирования. Беспилотники предоставляют актуальные данные о состоянии объектов в режиме реального времени, что создает основу для проактивного управления строительными процессами. Наиболее значим этот эффект при мониторинге сложных конструкций, где оперативное выявление отклонений предотвращает рост затрат и технологические риски.

Развитие нормативной базы, включая актуализацию [1], создает прочную основу для дальнейшего внедрения цифровых технологий в строительной отрасли. Это позволяет гармонично сочетать инновационные методы контроля с традиционными подходами, формируя целостную систему контроля на протяжении всего жизненного цикла объекта.

С учетом стремительного развития технологий беспилотных летательных аппаратов, изменения в [1] отражают важные нововведения, касающиеся геодезических работ в строительстве. Одним из ключевых пунктов нового стандарта стало включение БПЛА в перечень технологий, используемых для создания ортофотопланов и цифровых моделей местности. Это нововведение кардинально изменяет подход к сбору данных, повышая оперативность полевых этапов и обеспечивая необходимую точность для сложных проектных решений [3].

Для успешной реализации использования БПЛА в строительстве необходима точная настройка нормативных требований. В рамках обсуждения проекта [1] были высказаны различные замечания и предложения, касающиеся как структуры документа, так и конкретных терминов и технических требований. После публичных обсуждений было собрано значительное количество замечаний, которые отражают актуальные проблемы и области для улучшения. Представленная далее таблица содержит сводные замечания, сгруппированные по видам, с указанием количества замечаний по каждому из пунктов, а также общего числа замечаний по всем разделам (табл. 1).

Легализация применения БПЛА в геодезических работах, закрепленная в [1], переводит мониторинг строительных объектов на качественно новый уровень. В отличие от выборочных измерений, технология обеспечивает сплошной контроль таких разнородных объектов, как высотные здания и линейные сооружения (мосты, развязки), путем сравнения созданных 3D-моделей с проектными данными.

Таблица 1

Сводные замечания к изменению № 2 СП 126.13330.2017 [1]

Table 1

Summary comments on Amendment No. 2 of SP 126.13330.2017 [1]

№ п/п	Тип замечания	Кол-во
1	Термины и определения	10
2	Структура документа	16
3	Согласование изменений	5
4	Технические требования	23
5	Грамматика и оформление	19
Общее количество замечаний		73

Особую ценность БПЛА представляют при обследовании ответственных конструкций, где важно оперативное выявление отклонений. Например, при строительстве мостовых опор система позволяет обнаружить смещения на ранней стадии, а при возведении высотных зданий – контролировать вертикальность несущих элементов. Такой подход минимизирует вероятность накопления ошибок на последующих этапах строительства [4].

Технология исключает организационные и экономические издержки, связанные с приостановкой работ. Для объектов транспортной инфраструктуры это означает возможность мониторинга без перекрытия движения, а для высотных зданий – без использования сложных подъемных механизмов.

Комплексное применение технологий трехмерного моделирования значительно расширяет возможности измерений в труднодоступных местах: на верхних этажах зданий, в горной местности или при ограниченной видимости [5]. Это особенно ценно при возведении сложных объектов, где традиционные методы измерений требуют значительных временных и финансовых затрат, а также создают риски для персонала.

Актуализированная редакция [1] закрепляет нормативную базу для внедрения передовых технологических решений в строительной практике. Документ официально регламентирует применение лазерного сканирования и фотограмметрии, открывая новые возможности для цифровизации строительных процессов. Эти технологии позволяют создавать детализированные цифровые модели объектов, обеспечивая комплексный контроль на всех этапах строительства – от проектирования до сдачи объекта в эксплуатацию.

Особое значение имеет технология лазерного сканирования, которая дает возможность формировать высокоточные трехмерные модели строительных объектов в виде облаков точек. Получаемые данные используются для мониторинга текущего состояния конструкций, выявления отклонений от проектных параметров, проведения экспертных оценок и подготовки исполнительной документации. На практике это позволяет существенно повысить качество контроля строительно-монтажных работ, обеспечивая соответствие возводимых объектов проектным решениям и нормативным требованиям.

Внедрение этих технологий в рамках обновленных нормативных требований способствует переходу строительной отрасли на качественно новый уровень цифрового контроля и управления строительными процессами. Это особенно важно для сложных инфраструктурных объектов, где традиционные методы контроля часто оказываются недостаточно эффективными.

Лазерное сканирование с применением БПЛА демонстрирует значительные преимущества перед традиционными методами в сложных климатических условиях. В отличие от традиционных методов контроля, требующих непосредственного присутствия оператора, БПЛА со сканерами могут работать при пониженной температуре (до -20°C) и в условиях ограниченной видимости. Это особенно актуально для арктических и приравненных к ним территорий, где съемка традиционными средствами затруднена (например, при повышенной заболоченности местности). При этом важно отметить, что эксплуатация БПЛА все же имеет ряд ограничений – при скорости ветра более 15 м/с, сильных осадках или экстремально низкой температуре для актуальных моделей БПЛА полеты невозможны. Однако в допустимых условиях эта технология обеспечивает беспрецедентную эффективность сбора данных (например, для проверки площади рекультивации).

Современные технологии фотограмметрии, реализуемые с помощью БПЛА, стали важным инструментом в строительной отрасли. Использование специализированных камер на беспилотных платформах позволяет оперативно получать актуальные данные о строительных площадках и возводимых объектах. Получаемые ортофотопланы и топографические материалы помогают специалистам анализировать текущее состояние строительства и своевременно вносить необходимые корректировки в рабочий процесс.

Особенно востребованы фотограмметрические методы при крупных инфраструктурных проектах, где требуется регулярный мониторинг больших территорий. Например, при строительстве автомагистралей технология позволяет контролировать ход работ на протяженных участках, а при возведении жилых комплексов – отслеживать соответствие строительства градостроительному плану. Получаемые данные помогают выявлять расхождения между проектными решениями и фактическим ходом строительства на ранних этапах.

Применение фотограмметрии с БПЛА существенно сокращает сроки получения актуальной пространственной информации по сравнению с традиционными методами съемки. Это особенно важно при реализации сжатых строительных графиков, когда оперативность получения данных напрямую влияет на качество принимаемых решений. Одним из важнейших направлений в строительстве является мониторинг состояния объектов на всех этапах их эксплуатации. Применение БПЛА для мониторинга дает уникальные возможности для контроля за состоянием объектов в реальном времени, что помогает оперативно выявлять критические отклонения, такие как: геометрические (прогибы, крены, смещения конструкций), конструктивные (трещины, повреждения несущих конструкций), а также нарушения технологии производства работ. Таким образом, мониторинг с помощью БПЛА для критически важных объектов [4] становится не просто технологическим преимуществом, а практической реализацией требований к обеспечению безопасности, закрепленных в актуализированных нормативных документах [1].

Дистанционный мониторинг с помощью БПЛА предоставляет строительным компаниям уникальную возможность следить за состоянием объекта на протяжении всего его жизненного цикла. Например, использование БПЛА для проверки мостов или вышек значительно снижает риски для персонала, поскольку в таких случаях не нужно использовать подъемные механизмы или другие опасные способы для проверки этих объектов. Кроме того, дистанционный мониторинг с помощью БПЛА предоставляет строительным компаниям уникальную возможность следить за состоянием объекта на протяжении всего его жизненного цикла – от строительства до эксплуатации. Такой подход обеспечивает непрерывный контроль

технического состояния, что является ключевым фактором для управления безопасностью и долговечностью ответственных инфраструктурных объектов.

Одним из наиболее значимых аспектов изменений в [1] является усиление цифровизации строительного контроля. Это включает интеграцию ТИМ-технологий и данных, полученных с помощью БПЛА, для создания точных цифровых реплик объектов, которые затем могут использоваться для мониторинга, проектирования и контроля за строительством.

Цифровизация строительного контроля позволяет значительно улучшить управление проектами. Совместное использование данных с БПЛА и информационного моделирования зданий помогает создавать детализированные 3D-модели объектов, которые могут быть использованы на всех стадиях строительства – от проектирования до сдачи в эксплуатацию.

Несмотря на все преимущества, внедрение технологий БПЛА в строительную отрасль сталкивается с рядом вызовов. В первую очередь, требуется обучить специалистов, которые будут работать с новыми технологиями. Традиционные геодезисты и строители часто не имеют опыта работы с такими сложными системами, что требует дополнительных усилий для подготовки квалифицированных кадров.

Кроме того, необходимо адаптировать существующую инфраструктуру и нормативную базу. В частности, важно обновить стандарты безопасности, а также адаптировать нормативные документы для полноценного использования БПЛА в строительных проектах. Это позволит улучшить контроль за качеством работ и повысить безопасность на объектах.

Преимущества применения БПЛА в строительстве

Внедрение БПЛА в строительную отрасль представляет собой значительный технологический прорыв, трансформирующий традиционные подходы к проектированию и возведению объектов. Эти инновационные решения кардинально меняют систему мониторинга строительных процессов, обеспечивая оперативный контроль качества работ на всех этапах.

Особую значимость приобретает нормативное закрепление данных технологий, что нашло отражение в актуализированной редакции [1]. Данный нормативный документ создает необходимые правовые условия для полноценной интеграции беспилотных систем в строительную практику, устанавливая четкие требования и стандарты их применения.

Данные воздушного наблюдения, получаемые с БПЛА в режиме реального времени, служат основой для оперативного принятия управленческих решений на строительной площадке. Технологии воздушного наблюдения позволяют получать актуальные данные о состоянии объектов в режиме реального времени, значительно сокращая временные затраты на контрольные операции и минимизируя риски для персонала при проведении высотных работ.

Одним из наиболее очевидных преимуществ использования БПЛА является снижение затрат и ускорение процессов. В традиционном строительстве для сбора данных о местности или объекте требуется значительное количество времени и трудозатрат. С помощью БПЛА можно провести геодезическую съемку или фотограмметрическую съемку за значительно более короткий срок, что снижает общий срок выполнения работ. Это сокращает и затраты на выполнение полевых работ, а также минимизирует количество ошибок, связанных с человеческим фактором.

Использование БПЛА позволяет существенно ускорить сбор и обработку данных. Например, беспилотные летательные аппараты могут быстро и эффективно производить

аэрофотосъемку для создания цифровых моделей местности [6], которые затем используются в проектировании и строительном контроле. Это минимизирует риски ошибок на всех этапах реализации проектов и позволяет значительно сократить сроки строительства.

Реализация методов лазерного сканирования и фотограмметрии [6] с помощью БПЛА знаменует полный переход к дистанционному мониторингу строительных объектов. Беспилотные технологии позволяют проводить обследование высотных конструкций, мостовых пролетов и труднодоступных элементов зданий без необходимости использования подъемных механизмов и нахождения персонала в опасных зонах. Методы лазерного сканирования и фотограмметрии [6], реализуемые с помощью БПЛА, обеспечивают полный переход к дистанционному мониторингу строительных объектов.

Адаптивность БПЛА к различным погодным условиям открывает возможности для мониторинга в периоды, когда традиционные методы неприменимы. Оснащенные защищенным оборудованием, БПЛА способны проводить съемку во время осадков и в условиях плохой видимости, обеспечивая непрерывность сбора данных в критически важные периоды строительства или обследования [7].

Технологии лазерного сканирования и фотограмметрии, установленные на БПЛА, позволяют получать детализированные данные о состоянии объектов. Например, при обследовании мостов или высотных зданий они помогают выявлять геометрические отклонения на ранних стадиях, что способствует своевременному устраниению потенциальных проблем.

Современные технологии воздушного мониторинга помогают значительно снизить количество ошибок на стадии проектирования. Получение актуальных цифровых моделей строительных площадок и своевременное выявление расхождений между проектной и фактической геометрией объектов позволяют прогнозировать поведение конструкций под различными нагрузками. Практический опыт показывает, что использование ортофотопланов [6] и трехмерных моделей способствует предотвращению значительной части типичных проектных ошибок, характерных для традиционных методов работы. Одним из важнейших аспектов, который выделяет БПЛА среди других технологий, является их гибкость и многофункциональность. С помощью БПЛА можно выполнять широкий спектр задач, включая создание топографических карт, планов территорий, а также мониторинг различных инженерных объектов. Таким образом, гибкость и многофункциональность БПЛА (от создания топопланов до мониторинга объектов) вносят ключевой вклад в повышение точности и снижение рисков на всех этапах инвестиционно-строительного цикла.

Установленные на БПЛА инфракрасные камеры и мультиспектральные сенсоры переводят мониторинг на качественно новый уровень, позволяя дистанционно анализировать состояние конструкций. Выявляемые тепловые аномалии, такие как перегрев узлов или утечка тепла, служат индикаторами скрытых дефектов: нарушения теплоизоляции, применения некачественных материалов или локальных напряжений. Дополнительное оснащение газоанализаторами позволяет предупредить аварии и травмы, что в комплексе значительно повышает уровень промышленной безопасности.

БПЛА также эффективны при мониторинге экологической обстановки, например при отслеживании состояния зеленых территорий или проверке трубопроводов [8] на наличие утечек. С помощью инфракрасных камер можно оперативно обнаружить утечку газа или воды, что позволяет вовремя предотвратить аварии и минимизировать ущерб для окружающей среды.

Технологии и оборудование для БПЛА в строительстве

С развитием технологий БПЛА строительная отрасль значительно улучшила процессы съемки, мониторинга и контроля [9] на различных этапах строительства. Это позволило активно внедрить беспилотные системы для геодезических изысканий, анализов и проектирования [10] строительных объектов.

Особую ценность представляет способность БПЛА выполнять детальную аэрофотосъемку с созданием ортофотопланов и топографических материалов, необходимых для качественного проектирования и оперативного контроля строительных процессов. Современные мультиспектральные камерные системы обеспечивают получение всесторонних данных о состоянии объектов и окружающей их инфраструктуры, что особенно важно при реализации сложных градостроительных проектов [11]. Использование мультиспектральных камер позволяет не только выполнять стандартную фотосъемку, но и исследовать материалы, выявляя возможные дефекты и повреждения [12]. Это закладывает основу для управления объектом на всем его жизненном цикле – от проектирования энергосберегающих решений [13] до диагностики конструкций в процессе эксплуатации.

Для создания цифровых моделей объектов БПЛА могут оснащаться лазерными сканерами, включая технологию LiDAR. Эти решения особенно эффективны для обследования крупных инфраструктурных объектов, где традиционные методы требуют значительных временных затрат.

БПЛА активно применяются на различных этапах строительства. Их использование позволяет оптимизировать процессы мониторинга и контроля, одновременно повышая безопасность работ. Например, при обследовании дорожного покрытия аэрофотосъемка с БПЛА обеспечивает высокую детализацию данных о деформациях и повреждениях, что недостижимо при визуальном осмотре с земли.

Современные БПЛА интегрируются с геодезическими системами, что расширяет их функциональные возможности при выполнении строительных и изыскательских работ. Оснащение беспилотников дифференциальными GPS-приемниками позволяет получать пространственные данные, соответствующие требованиям нормативной документации. Такие системы успешно применяются для создания цифровых моделей местности [14] и оперативного контроля соответствия строительных работ проектным решениям.

Использование дифференциального GPS в сочетании с геодезическими сетями расширяет область применения БПЛА в сложных условиях строительных площадок. Это решение ускоряет процесс сбора пространственных данных и их последующее использование в проектировании. Интеграция с ТИМ-системами обеспечивает эффективную обработку информации и поддержку принятия решений на всех этапах строительства.

Для обработки данных, полученных с БПЛА, используются специализированные программные комплексы, такие как Agisoft Metashape, Pix4D и другие. Эти программы позволяют проводить обработку аэрофотоснимков, генерировать цифровые модели местности и выполнять анализ данных, полученных с помощью БПЛА. Современные программные решения обеспечивают синхронизацию данных и интеграцию в систему ТИМ, что существенно улучшает проектирование и мониторинг [15].

Программное обеспечение помогает производить не только базовую обработку данных, но и глубокий анализ изменений на строительных объектах. Например, с помощью

таких программ можно строить прогнозные модели развития деформаций, что позволяет заблаговременно планировать превентивные меры и оптимизировать ресурсы на этапе эксплуатации.

Практические примеры использования БПЛА в строительных проектах

Использование БПЛА обеспечивает сквозное документирование строительного процесса. Получаемые ортофотопланы и 3D-модели служат объективным доказательством соответствия выполненных работ проектной документации. Это особенно важно для разрешения спорных ситуаций, связанных с объемами и качеством работ, а также для формирования отчетности для надзорных органов [16].

В проектах по строительству высотных зданий и инфраструктуры БПЛА используются для оперативного создания актуальных цифровых моделей местности [17]. Это позволяет своевременно корректировать проектные решения и контролировать соответствие возводимых конструкций проектным параметрам.

Для реставрации исторических зданий БПЛА с лазерными сканерами и инфракрасными камерами используются для создания 3D-моделей, что позволяет выявить дефекты без угрозы повреждения объектов. Это способствует сохранению культурного наследия при минимальном вмешательстве в структуру зданий.

БПЛА активно применяются для мониторинга промышленных объектов, например энергетических систем и дымовых труб, что позволяет снизить аварийность и повысить безопасность [18]. Оснащенные газоанализаторами, они способны дистанционно контролировать выбросы вредных веществ и обнаруживать утечки опасных газов, обеспечивая экологический мониторинг и соблюдение нормативов [19].

Заключение

Использование беспилотных летательных аппаратов в строительстве открывает новые возможности для оптимизации процессов контроля качества и мониторинга. Современные технологии, такие как лазерное сканирование и аэрофотосъемка с БПЛА, позволяют получать актуальные данные о состоянии объектов на всех этапах, обеспечивая при этом безопасность проведения работ.

Новые технологии, такие как LiDAR, инфракрасные камеры и мультиспектральные сенсоры, позволяют решать задачи, которые раньше требовали значительных затрат времени и ресурсов. Внедрение этих технологий в строительную практику способствует повышению безопасности на объектах, улучшению качества проектирования и ускорению всех этапов работы – от изысканий до сдачи объекта в эксплуатацию.

Несмотря на все преимущества, интеграция технологии БПЛА в строительный процесс требует дополнительных усилий в плане обучения специалистов и адаптации существующей нормативной базы. Тем не менее, учитывая высокую эффективность и значительный потенциал этих технологий, можно ожидать их дальнейшее широкое применение в строительстве, что будет способствовать улучшению качества и ускорению процессов возведения объектов различной сложности.

В дальнейшем необходимо продолжить работу по совершенствованию нормативных документов, таких как [1], для того чтобы обеспечить полное и безопасное использование БПЛА в различных областях строительства и на всех стадиях жизненного цикла объектов.

Список литературы

1. СП 126.13330.2017. Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84 (с Изменением № 2) [интернет]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/419095/>.
2. Пояснительная записка к проекту Изменения к СП 126.13330.2017 «СНиП 3.01.03-84 Геодезические работы в строительстве» [интернет]. Режим доступа: <https://rst.gov.ru:8443/file-service/file/load/1720535441277>.
3. Егорченков А.В. Опыт создания крупномасштабного ортофотоплана местности со сложным рельефом. Московский экономический журнал. 2022;{3}:151–159.
4. Петров М.В. Практический опыт использования БПЛА Swinglet производства компании senseFly (Швейцария). В: Интерэкспо Гео-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр., 15–26 апр. 2013 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов. Т. 1. Новосибирск: СГГА; 2013, с. 152–157.
5. Бондаренко В.А. Особенности производства геодезических изысканий для обеспечения строительства магистральных газопроводов. Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2017;{16}:172–175.
6. Гук А.П., Шляхова М.М. Особенности современного этапа развития средств дистанционного зондирования. Интерэкспо Гео-Сибирь. 2018;1{4}:7–13.
7. Хубаев А.О., Макаев Н.В., Шевченко Н.В. Повышение эффективности производства геодезических работ с применением беспилотных летательных аппаратов. Известия ТулГУ. Технические науки. 2024;{2}:412–413. <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2024-2-412-413>.
8. Мотиенко А.И. Планирование тактической траектории движения автоматизированных робототехнических средств при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2016;{2}:139–143.
9. Носков И.В., Носков К.И., Тиненская С.В., Ананьев С.А. Дрон-технологии в строительстве – современные решения и возможности. Вестник евразийской науки [интернет]. 2020;{5}. Режим доступа: <https://esj.today/PDF/37SAVN520.pdf>.
10. Неверова А.Р. Использование беспилотных летательных аппаратов в кадастре, землеустройстве и градостроительстве. Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017;{2}:265–268.
11. Захлебин А.С. Методика построения ортофотопланов местности с помощью беспилотного квадрокоптера, оснащенного навигационным геодезическим приемником. Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2021;{3}:44–49. <https://doi.org/10.21293/1818-0442-2021-24-3-44-49>.
12. Гиря Л.В., Трофимов Г.П. Обследование памятников архитектуры с использованием современных технологий трехмерного сканирования. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022;{24}{6}:35–43. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2022-24-6-35-43>.
13. СП 50.13330.2024. Тепловая защита зданий. Москва: Российский институт стандартизации; 2024.
14. ГОСТ Р 52440-2005. Модели местности цифровые. Общие требования. Москва: Стандартинформ; 2006.
15. СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла [интернет]. Режим доступа: <https://www.niccps.ru/images/materials/Standards/%D0%A1%D0%9F%20333.1325800.2020.pdf>.
16. Кочетков А.В., Семенова Н.С., Иванов А.Ф., Чижиков И.А. Применение беспилотных летательных аппаратов для обследования объектов транспортной инфраструктуры. Умные композиты в строительстве. 2022;{3}{4}:28–38. https://doi.org/10.52957/27821919_2022_4_28.
17. Наркевич М.Ю., Логунова О.С., Аркулис М.Б., Сагадатов А.И., Климов С.С., Кабанова В.В., Nikolaev A.A., Derjabin D.I. Прикладная цифровая платформа для оценки динамики качества опасных производственных

- объектов на металлургическом предприятии: структура и алгоритмы. Вестник Череповецкого государственного университета. 2022;(5[110]):29–48. <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2022-5-110-3>.
- 18.** Пономаренко Д.В., Лесных В.В., Бочков А.В. Современные подходы к мониторингу состояния промышленной безопасности опасных производственных объектов. Проблемы анализа риска. 2018;15(1):6–17. <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2018-15-1-6-17>.
- 19.** Лебедев Ю.М., Разиньков С.Ю., Вытовтов А.В., Шумилин В.В. Зарубежный опыт использования микрокамер в инфракрасном диапазоне на БПЛА для обнаружения огня. Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2015;(1-1):28–33.
- 20.** Зарипов А.С. Особенности создания трехмерной цифровой модели центрального планировочного района города Перми по данным аэрофотосъемки. Вестник СГУГИТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2020;25(3):160–168. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2020-25-3-160-168>.

References

- SP 126.2017. Geodetic works in building. Updated version of SNiP 3.01.03-84 [with Amendment 2] [internet]. Available at: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/419095/>. (In Russian).
- Explanatory Note to the Draft Amendment to SP 126.13330.2017. Geodetic Work in building. Updated version of SNiP 3.01.03-84 [internet]. Available at: <https://rst.gov.ru:8443/file-service/file/load/1720535441277>. (In Russian).
- Egorchenkov A.V. Experience of creating a large-scale orthophotoplan of a terrain with complex relief. Moscow Economic Journal. 2022;(3):151–159. (In Russian).
- Petrov M.V. Practical experience of using the Swinglet UAV manufactured by senseFly (Switzerland). In: Inter Expo Geo-Siberia 2013. IX Int. Scientific Congress, April 15–26, 2013, Novosibirsk: Int. Scientific Conf. "Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying": collection of materials. Vol. 1. Novosibirsk: Siberian State Geodetic Academy; 2013, pp. 152–157. (In Russian).
- Bondarenko V.A. Features of producing geodetic surveys to support the construction of main gas pipelines. Vestnik of Polotsk State University. Part F. Constructions. Applied Sciences. 2017;(16):172–175. (In Russian).
- Guk A.P., Shlyakhova M.M. Features of the current stage of development of remote sensing tools. Inter Expo Geo-Siberia. 2018;11(4):7–13. (In Russian).
- Khubaev A.O., Makaev N.V., Shevchenko N.V. Increasing the efficiency of surveying with the use of unmanned aerial vehicles. Izvestiya Tula State University (Izvestiya TulGU). Technical sciences. 2024;(2):412–413. (In Russian). <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2024-2-412-413>.
- Motienko A.I. Planning the tactical trajectory of automated robotic vehicles during emergency response. Belgorod State University. Scientific Bulletin. Series: Economics. Information technologies. 2016;(2):139–143. (In Russian).
- Noskov I.V., Noskov K.I., Tienskaya S.V., Ananyev S.A. Drone technologies in construction - modern solutions and possibilities. The Eurasian Scientific Journal [internet]. 2020;(5). Available at: <https://esj.today/PDF/37SAVN520.pdf>. (In Russian).
- Neverova A.R. Use of Unmanned Aerial Vehicles in Cadastre, Land Management, and Urban Development. Inter Expo Geo-Siberia. 2017;(2):265–268. (In Russian).
- Zakhlebin A.S. Method to produce orthomosaics of the terrain using a helicopter-type UAV with an on-board navigation geodetic receiver. Proceedings of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. 2021;24(3):44–49. (In Russian). <https://doi.org/10.21293/1818-0442-2021-24-3-44-49>.
- Giryva L.V., Trofimov G.P. Laser 3D scanning of architectural monuments. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Journal of Construction and Architecture. 2022;24(6):35–43. (In Russian). <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2022-24-6-35-43>.
- SP 50.13330.2024. Thermal performance of the buildings. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2024. (In Russian).
- State Standard R 52440-2005. Digital terrain models. General requirements. Moscow: Standartinform Publ.; 2006. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Антон Сергеевич Барков, ведущий специалист 2-го разряда, производственное управление № 1, филиал общества с ограниченной ответственностью «РН-Стройконтроль», Тюмень
e-mail: barkovanton1997@gmail.com

Anton S. Barkov, 2nd Category Leading Specialist, Production Department No. 1, Tyumen Branch of the RN-Stroikontrol LLC, Tyumen
e-mail: barkovanton1997@gmail.com

Александр Сергеевич Заболотников, ведущий специалист 2-го разряда, производственное управление № 1, филиал общества с ограниченной ответственностью «РН-Стройконтроль», Тюмень

Aleksandr S. Zabolotnikov, 2nd Category Leading Specialist, Production Department No. 1, Tyumen Branch of the RN-Stroikontrol LLC, Tyumen

✉ 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@cstroy.ru



УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР

АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр



ЧЕЛЯБИНСК
им. ВАКУЧЕРЕНКО



НИЖНИЙ
НОВГОРОД



НИИОСП
им. Н.М. ГЕРЗЕМОНОВА

г. Москва,
2-я Институтская ул., д. 6

телефон: +7 (499) 174-73-84 | +7 (499) 174-73-80

сайт: www.cstroy.ru

электронная почта: motorina@cstroy.ru | smirnova@cstroy.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.

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



Набор в аспирантуру и докторантuru 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»

ФОРМЫ ПОДГОТОВКИ ДИССЕРТАЦИИ В АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



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. 4(47) 2025

Редактор выпуска: Починина Н.Е.
Компьютерная верстка: Чорненъкий С.И.

Дата выхода в свет: 30.12.2025 г. Формат 70×100/16
Бумага мелованная. Офсетная печать.
Тираж 500 экз. Заказ № 50081

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