



<https://www.volgatech.net/>

Журнал публикует оригинальные результаты фундаментальных и прикладных научных исследований, экспериментальных разработок в области строительства и архитектуры, машиностроения и машиноведения, технологий, машин и оборудования для лесного хозяйства и переработки древесины.

Журнал включён в систему РИНЦ, ULRICH'S PERIODICALS DIRECTORY и ПЕРЕЧЕНЬ ВАК. Все статьи, представленные в данном номере журнала, соответствуют номенклатуре специальностей научных работников

Учредитель и издатель:

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет».

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-68586 от 3 февраля 2017 г.).

Полное или частичное воспроизведение материалов, содержащихся в настоящем издании, допускается только с письменного разрешения редакции.

Адрес учредителя, издателя и редакции:

424000, РМЭ, г. Йошкар-Ола,
пл. Ленина, д. 3

Тел.: 8 (8362) 68-28-26

8 (8362) 41-08-72 (факс)

E-mail: vestnik-mkt@volgatech.net

Редакторы Л. С. Емельянова,
П. Г. Павловская
Компьютерная верстка
С. Н. Эштыкова
Дизайн обложки С. В. Ковалева
Перевод на английский язык
М. Н. Курдюмова

Подписано в печать 31.03.2025
Формат 60×84 1/8. Усл. п. л. 11,86.
Тираж 500 экз. Заказ № 1877.
Дата выхода в свет: 09.06.2025
Цена свободная

ISSN 2542-114X

Поволжский государственный
технологический университет.
424000, РМЭ, г. Йошкар-Ола,
пл. Ленина, д. 3

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии ООО «Вертола».
424004, РМЭ, Йошкар-Ола,
ул. Льва Толстого, д. 45

Главный редактор

Федосов С. В., д-р техн. наук, проф., акад. РААСН (Москва)

Заместители главного редактора:

Котлов В. Г., д-р техн. наук, проф. (Йошкар-Ола)

Егоров А. В., д-р техн. наук, проф. (Саров)

Шарапов Е. С., д-р техн. наук, проф. (Йошкар-Ола)

Ответственный секретарь

Смирнов А. О., канд. техн. наук (Йошкар-Ола)

Редакционный совет:

Королев Е. В., д-р техн. наук, проф. (*председатель*)
(Санкт-Петербург)

Травуш В. И., д-р техн. наук, акад. РААСН, вице-президент
РААСН (*зам. председателя*) (Москва)

Бальзаников М. И., д-р техн. наук, проф. (Самара)

Безбородов Ю. Н., д-р техн. наук, проф. (Красноярск)

Ляхович Л. С., д-р техн. наук, проф., акад. РААСН (Томск)

Мелехов В. И., д-р техн. наук, проф. (Архангельск)

Митрович Радивое, д-р наук, проф. (Белград, Республика Сербия)

Сколубович Ю. Л., д-р техн. наук, проф., чл.-кор. РААСН
(Новосибирск)

Редакционная коллегия:

Абдыкалыков А. А., д-р техн. наук, проф. (Бишкек, Кыргызстан)

Алибеков С. Я., д-р техн. наук, проф. (Йошкар-Ола)

Галимов Э. Р., д-р техн. наук, проф. (Казань)

Ерофеев В. Т., д-р техн. наук, проф., акад. РААСН (Саранск)

Жаданов В. И., д-р техн. наук, проф. (Оренбург)

Зверев В. В., д-р техн. наук, проф., чл.-кор. РААСН (Липецк)

Калашников С. Ю., д-р техн. наук, проф., чл.-кор. РААСН (Волгоград)

Корнилов Т. А., д-р техн. наук, проф., действ. член Академии наук
Республики Саха (Якутия)

Лабудин Б. В., д-р техн. наук, проф. (Архангельск)

Лагерева А. В., д-р техн. наук, проф. (Брянск)

Леонович С. Н., д-р техн. наук, проф., иностранный член РААСН
(Минск, Республика Беларусь)

Маткеримов Т. Ы., д-р техн. наук, проф. (Бишкек, Кыргызстан)

Павлов А. И., д-р техн. наук, проф. (Йошкар-Ола)

Поздеев А. Г., д-р техн. наук, проф. (Йошкар-Ола)

Римшин В. И., д-р техн. наук, проф., чл.-кор. РААСН (Москва)

Рудобашта С. П., д-р техн. наук, проф. (Москва)

Сафин Р. Р., д-р техн. наук, проф. (Казань)

Селяев В. П., д-р техн. наук, проф., акад. РААСН (Саранск)

Титунин А. А., д-р техн. наук, проф. (Кострома)

Хозин В. Г., д-р техн. наук, проф. (Казань)

The journal publishes original findings from fundamental and applied research as well as experimental advancements in the fields of machine building, machine science, construction and architecture, technology, machinery, and equipment used in the forestry and wood processing industries.

The journal is indexed in the Russian Science Citation Index (RSCI) and included in Ulrich's Periodicals Directory. It is also included in the list of peer-reviewed scientific publications of the Higher Attestation Commission (HAC). All papers in this issue correspond to researcher specialisations.

Founder and Publisher:

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Volga State University of Technology».

The journal is included in the register of Federal Service for Supervision in the Sphere of Communication, Information Technology and Mass Communications (Certificate of registration ПИ No ФС 77-68586 dated 3 February 2017).

Any use of articles without the written consent of the editorial board is strictly prohibited.

Address:

3, Pl. Lenina, Yoshkar-Ola, Russia, 424000

Tel.: 8 (8362) 68-28-26

8 (8362) 41-08-72 (fax)

E-mail: vestnik-mkt@volgatech.net

Editors *L. S. Emelyanova,*
P. G. Pavlovskaya
Computer assisted make up
S. N. Eshtykova
Cover design *S. V. Kovaleva*
Translation *M. N. Kurdiumova*

Passed for printing 31.03.2025
Format 60×84 1/8. No. of press sheets 11,86.
Printing run 500 copies.
Order No. 1877.
Release date: 09.06.2025
Open price.

ISSN 2542-114X

Volga State University of Technology.
3, Pl. Lenina, Yoshkar-Ola, Russia, 424000

Printed from the original layout
at LLC «Vertola»
424004, Yoshkar-Ola,
45, Leo Tolstoy St.

Editor-in-Chief

Fedosov S. V., Doctor of Engineering Sciences, Prof., Full Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS) (Moscow)

Vice Editor-in-Chief:

Kotlov V. G., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (Yoshkar-Ola)

Egorov A. V., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (Sarov)

Sharapov E. S., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (Yoshkar-Ola)

Executive Secretary

Smirnov A. O., Candidate of Engineering Sciences (Yoshkar-Ola)

Editorial Board:

Korolev E. V., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (*Chairman*) (Saint Petersburg)

Travush V. I., Doctor of Engineering Sciences, Full Member of the RAACS, Vice-President of the RAACS (*Vice-chairman*) (Moscow)

Balzannikov M. I., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (Samara)

Bezborodov Iu. N., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (Krasnoyarsk)

Liakhovich L. S., Doctor of Engineering Sciences, Prof., Full Member of the RAACS (Tomsk)

Melekhov V. I., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (Arkhangelsk)

Radivoje Mitrović, Doctor, Prof. (Belgrade, Republic of Serbia)

Skolubovich Iu. L., Doctor of Engineering Sciences, Prof., Corresponding Member of the RAACS (Novosibirsk)

Editorial team:

Abdykalykov A. A., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (Bishkek, Kyrgyz Republic)

Alibekov S. Ia., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (Yoshkar-Ola)

Galimov E. R., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (Kazan)

Erofeev V. T., Doctor of Engineering Sciences, Prof., Full Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS) (Saransk)

Zhadanov V. I., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (Orenburg)

Zverev V. V., Doctor of Engineering Sciences, Prof., Corresponding Member of the RAACS (Lipetsk)

Kalashnikov C. Iu., Doctor of Engineering Sciences, Prof., Corresponding Member of the RAACS (Volgograd)

Kornilov T. A., Doctor of Engineering Sciences, Prof., Full Member of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia)

Labudin B. V., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (Arkhangelsk)

Lagerev A. V., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (Bryansk)

Leonovich S. N., Doctor of Engineering Sciences, Prof., Foreign Member of the RAACS (Minsk, Republic of Belarus)

Matkerimov T. I., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (Bishkek, Kyrgyz Republic)

Pavlov A. I., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (Yoshkar-Ola)

Pozdeev A. G., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (Yoshkar-Ola)

Rimshin V. I., Doctor of Engineering Sciences, Prof., Corresponding Member of the RAACS (Moscow)

Rudobashta S. P., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (Moscow)

Safin R. R., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (Kazan)

Seliaev V. P., Doctor of Engineering Sciences, Prof., Full Member of the RAACS (Saransk)

Titunin A. A., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (Kostroma)

Khazin V. G., Doctor of Engineering Sciences, Prof. (Kazan)

СОДЕРЖАНИЕ	CONTENTS
Колонка главного редактора	5 Editor's note
Представляем членов редакционного коллектива <i>Травуш Владимир Ильич</i>	6 Presentation of the editorial board <i>Travush Vladimir Ilich</i>
СТАНДАРТЫ И КАЧЕСТВО	STANDARDS AND QUALITY
<i>Травуш В. И., Никифоров С. В.</i> Контроль качества при бетонировании массивных конструкций фундаментов многофункционального комплекса «Лахта Центр»	7 <i>Travush V. I., Nikiforov S. V.</i> Quality control in concreting massive foundation structures of the multifunctional "Lahta Centre" complex
МАТЕРИАЛЫ	MATERIALS
<i>Анисимов С. Н., Ломоносова Т. И., Ильина И. Р., Лешканов А. Ю.</i> Сравнение теплоизоляционных свойств различных видов утеплителя для строительства многоквартирных жилых домов	19 <i>Anisimov S. N., Lomonosova T. I., Ilina I. R., Leshkanov A. Iu.</i> Comparison of thermal insulation properties in different types of insulation used for apartment block construction
<i>Долматов С. Н.</i> Анализ потенциальной емкости рынка и объемов потребления стеновых строительных материалов, ориентированных на индивидуальных застройщиков, применительно к технологии древесно-минеральных композитов	29 <i>Dolmatov S. N.</i> Analysis of the potential market capacity and consumption volumes of wall building wood-mineral composite materials meant for individual developers
<i>Черкасов В. Д., Черкасов Д. В., Москаев С. А.</i> Бетоны на портландцементе с добавкой модифицированного диатомита	47 <i>Cherkasov V. D., Cherkasov D. V., Moskaev S. A.</i> Concretes based on portland cement with additives modified diatomite
КОНСТРУКЦИИ	CONSTRUCTIONS
<i>Каменищников Н. И., Липленко М. А.</i> Бескаркасные арочные покрытия: практика применения	54 <i>Kamenshchikov N. I., Liplenko M. A.</i> Frameless arch covering: practice of application
<i>Римшин В. И., Усанов С. В., Воробьев А. Е., Савельев Е. С.</i> Численное моделирование напряженно-деформированного состояния балок с жесткой композитной арматурой	63 <i>Rimshin V. I., Usanov S. V., Vorobev A. E., Savelev E. S.</i> Numerical simulation of the stress-strain state of beams with rigid composite reinforcement
ТЕХНОЛОГИИ	TECHNOLOGIES
<i>Бызов В. Е., Мелехов В. И., Торопов А. С.</i> Совершенствование технологии поперечного раскроя пиловочной части ствола дерева с ядровой гнилью	74 <i>Byzov V. E., Melekhov V. I., Toropov A. S.</i> Improving the technology of cross-cutting the sawn part of a tree trunk with core rot
<i>Стародубцева О. Н., Алибеков С. Я., Патерюхин И. С., Разинская О. И., Сютов Н. П.</i> Оптимизация технологии изготовления дисковых пил	87 <i>Starodubtseva O. N., Alibekov S. Ia., Pateriukhin I. S., Razinskaia O. I., Siutov N. P.</i> Optimization of the manufacturing technology of circular saws
СОБЫТИЯ	EVENTS
Международная научная конференция «Актуальные вопросы строительства. Надежность строительных конструкций. Энергосбережение. Экологическая безопасность. Искусственный интеллект»	98 International Research Conference on "Current Issues in Construction. Structural reliability of buildings. Energy efficiency. Environmental safety. Artificial Intelligence."
Поздравляем юбиляров	CONGRATULATIONS
Черкасову В. Д. – 75 лет	96 75 th anniversary of V. D. Cherkasov
Королеву Е. В. – 50 лет	50 th anniversary of E. V. Korolev
ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ	INSTRUCTIONS FOR AUTHORS
100	

Уважаемые коллеги!

Предлагаем вашему вниманию первый номер нашего журнала за 2025 год.

Редакция журнала представляет заместителя председателя редакционного совета журнала вице-президента РААСН, академика, профессора, доктора технических наук Травуша Владимира Ильича. Под рубрикой «Стандарты и качество» размещена его статья (в соавторстве с С. В. Никифоровым), в которой описаны основные принципы контроля качества при бетонировании массивных бетонных конструкций на примере фундаментов многофункционального комплекса «Лакhta Центр» в Санкт-Петербурге.

Раздел «Материалы» включает три публикации. В первой статье проведен сравнительный анализ применения различных теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях с точки зрения соотношения их стоимости и теплотехнических характеристик. В следующей статье рассматривается потенциальная емкость рынка и объемы потребления стеновых строительных материалов, ориентированных на индивидуальных застройщиков, применительно к технологии древесно-минеральных композитов. Применение древесного сырья (низкокачественной древесины и отходов) при производстве теплоизоляционно-конструкционных материалов способствует решению проблемы безотходного использования лесных ресурсов. Заключительная статья раздела посвящена разработке составов тяжелого бетона на цементе с добавкой модифицированного диатомита.

Раздел «Конструкции» открывает статья, в которой выполнен анализ несущей способности бескаркасных арочных покрытий из стальных гнутых профилей, а также разработаны рекомендации по их проектированию, строительству и эксплуатации для исключения аварий. Во второй статье приведены результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния балок с жесткой композитной полимерной арматурой.

В разделе «Технологии» опубликованы две статьи. В первой из них представлены результаты совершенствования технологии поперечного раскря пиловочной части ствола дерева с ядровой гнилью для повышения объемного выхода пиловочных сортиментов, во второй описан процесс оптимизации технологии изготовления дисковых пил на примере предприятия ООО ПКФ «Махагони».

Под рубрикой «События» представлена информация о предстоящей Международной научной конференции – XVI Академические чтения «Актуальные вопросы строительства. Надежность строительных конструкций. Энергосбережение. Экологическая безопасность. Искусственный интеллект», посвященной 100-летию академика РААСН В. М. Бондаренко и 96-летию академика РААСН Г. Л. Осипова.

Редакция журнала поздравляет с юбилеями д-ра техн. наук, профессора В. Д. Черкасова и д-ра техн. наук, профессора Е. В. Королева.

Уважаемые читатели, мы надеемся, что результаты исследований, представленные в этом номере, будут вам интересны и полезны в научной и практической деятельности.

Профессор, академик РААСН С. В. Федосов

*Dear colleagues!*

We are pleased to present the first issue of our journal for 2025.

The deputy chair of the editorial board of the journal is Vladimir Ilyich Travush, an Academician, Professor, and Doctor of Engineering Sciences who is also the Vice President of the Russian Academy of Sciences. He co-authored a paper (with S. V. Nikiforov) in the “Standards and quality” section that outlines the primary principles of quality control in the concreting of large concrete structures. The paper findings are exemplified by the foundations of the multifunctional complex “Lakhta Centre” in St. Petersburg.

Three papers are included in the “Materials” section. The first paper presents a comparative analysis of the cost-to-thermal performance ratio of various thermal insulation materials in enclosing structures. The next paper investigates the prospective market capacity and consumption of wall construction materials that are targeted at individual builders in relation to wood-mineral composites technology. The issue of waste-free use of forest resources is addressed by the use of wood raw materials (low-quality timber and waste) in the production of thermal insulation and structural materials. The final paper in the section focuses on the development of heavy cement concrete compositions that integrate modified diatomite.

The “Constructions” section begins with a paper that evaluates the load-bearing capacity of frameless arched coverings constructed from bent steel profiles. The paper also provides suggestions for the design, construction, and operation of these structures to prevent incidents. The second paper numerically models the stress-strain state of beams with rigid composite polymer reinforcement. The discussion revolves around the findings.

The “Technology” section has published two papers. The first of them illustrates the outcomes of enhancing the technology of cross-cutting the sawn part of a tree trunk with core rot to increase the volume yield of sawn grades. The second discusses the process of optimising the manufacturing technology of circular saws, as exemplified by LLC PKF “Mahogany.”

The “Events” section details the upcoming International Research Conference – XVI Academic Readings on “Current issues of construction. Reliability of building structures. Energy saving. Environmental safety. Artificial intelligence,” which commemorates the 100th anniversary of Academician V. M. Bondarenko of the Russian Academy of Sciences and the 96th anniversary of Academician G. L. Osipov of the Russian Academy of Sciences.

The editorial board of the journal expresses its heartfelt wishes and warmest congratulations on the anniversaries of Doctor of Engineering Sciences V. D. Cherkasov and Doctor of Engineering Sciences, Professor E. V. Korolev. We hope that the research findings in this issue will prove helpful and useful for research and practical endeavours of our readers.

S. V. Fedosov, Professor and Academician of the Russian Academy of Natural Sciences

Представляем членов редакционного коллектива



ТРАВУШ Владимир Ильич

*заместитель председателя
редакционного совета журнала*

Кавалер ордена Трудового Красного Знамени, заслуженный строитель РФ, заслуженный деятель науки РФ, почётный строитель России, почётный строитель Москвы, лауреат премии Совета Министров СССР, трижды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, лауреат Государственной премии РФ в области науки и технологий.

Вице-президент Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) по направлению «Строительные науки», академик РААСН, профессор, доктор технических наук, главный конструктор и заместитель генерального директора АО «Городской проектный институт жилых и общественных зданий», советник при ректорате Национального исследовательского Московского государственного строительного университета.

Родился Владимир Ильич 4 мая 1936 года в г. Днепропетровске. В 1958-1961 годах работал в СУ «Промметаллургстрой» в г. Темиртау. В 1961-1964 годах учился в Московском инженерно-строительном институте в аспирантуре. С 1964 году работал заместителем директора по научной работе, главным конструктором ЦНИИЭП им. Б.С. Мезенцева. В 1966 году защитил кандидатскую, в 1977 году – докторскую диссертацию. С 2003 года является вице-президентом РААСН; с 2014 года – заместителем генерального директора и главным конструктором АО «Городской проектный институт жилых и общественных зданий»; с 2022 года – советником при ректорате Национального исследовательского Московского государственного строительного университета.

В. И. Травуш – автор более 300 научных трудов, патентов и авторских свидетельств в области проектирования общественных зданий и сооружений, строительной механики, расчета строительных конструкций, а также ряда реализованных проектов, среди которых Останкинская телевизионная башня (в том числе восстановление после пожара), Дворцы спорта в Архангельске, Твери, Москве, Екатеринбурге, Крытый конькобежный центр в Крылатском, Большая ледовая арена в Сочи, мост «Багратион», Башня-2000, Центральное ядро в ММДЦ «Москва-Сити», Площадь Европы в Москве, башня Лахта-Центр в Санкт-Петербурге и другие сооружения.

Научные результаты В. И. Травуша обеспечили создание прорывных технологий для уникального высотного строительства и охватывают широкий круг актуальных проблем: автоматизированный мониторинг деформаций несущих конструкций и оснований зданий и сооружений; методы определения ветровых нагрузок на высотные здания и сооружения; методы расчёта деревянных, железобетонных, сталежелезобетонных и стальных конструкций, конструкций из многослойного стекла; научные основы сейсмостойкости сооружений и т.д.

В. И. Травуш – фигура в строительной науке поистине легендарная. Его публикации, несомненно, делают честь и являются украшением любого издания. И мы с удовольствием открываем этот выпуск журнала статьей уважаемого мэтра в соавторстве с С. В. Никифоровым.

СТАНДАРТЫ И КАЧЕСТВО

Научная статья

УДК 624.15

<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.7>

EDN: ZEEIYI

Контроль качества при бетонировании массивных конструкций фундаментов многофункционального комплекса «Лахта Центр»

В. И. Травуш^{1,2}, С. В. Никифоров^{3✉}

¹Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН) (г. Москва)

²АО «Городской проектный институт жилых и общественных зданий» (г. Москва)

³АО «Синергия» (г. Санкт-Петербург)

sergeivnikiforov@gmail.com[✉]

Аннотация

Введение. В статье описаны основные требования, принципы, процедуры, мероприятия контроля качества при бетонировании массивных бетонных конструкций на примере фундаментных конструкций высотного комплекса «Лахта Центр» в Санкт-Петербурге.

Цель исследования – разработка и внедрение трёхуровневой системы контроля качества бетонирования на бетонном заводе, стройплощадке и в конструкции. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи: проанализировать нормативную базу по требованиям к контролю качества при возведении бетонных конструкций, рассмотреть концепцию построения системы контроля качества на основе трёхуровневого подхода, сформулировать основные принципы контроля бетонной смеси и бетона в конструкции.

Результаты исследования. Разработана схема оценки актуальных характеристик бетонных смесей, бетона и основных процессов бетонирования. Особое внимание уделено её реализации в организационно-технологической документации (проект производства работ, технологические карты, технологический регламент).

Выводы. Основные результаты данного исследования могут быть применены при разработке методической и организационно-технологической документации, используемой при устройстве массивных фундаментных конструкций уникальных зданий и сооружений.

Ключевые слова: массивные фундаментные конструкции; система контроля качества; трёхуровневый подход; технология; бетонирование; бетон; бетонная смесь.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Для цитирования: Травуш В. И., Никифоров С. В. Контроль качества при бетонировании массивных конструкций фундаментов многофункционального комплекса «Лахта Центр» // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2025. № 1 (33). С. 7–18. <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.7>; EDN: ZEEIYI

Введение

Бетонирование массивных фундаментных конструкций многофункционального комплекса «Лахта Центр» [1, 2] выполнялось на основании специально разработанных в рамках научно-технического сопровождения технологических регламентов, в которых описывались организационно-технологическая схема работ и способы контроля качества исходных материалов, бетонной смеси, бетона, основных процессов бетонирования и ухода за бетоном.

Фундаментные конструкции высотного здания «Башня» (рис. 1) выполнены из высокопрочных бетонов классов В60–В80, обладающих рядом специфических особенностей, которые должны быть учтены при контроле качества. Высокий модуль упругости и хрупкость делают их весьма чувствительными к точности выполнения процедур при испытаниях пря-

мыми методами, в частности разрушающими и отрыва со скалыванием. Необходимы ограничения предусмотренных стандартами допусков, которые приемлемы для испытаний обычных бетонов, но не обеспечивают объективности информации о фактическом качестве высокопрочных бетонов [3].

Повышенное содержание арматуры и характер армирования конструкций затрудняют укладку бетонных смесей и влияют на степень ее уплотнения, которая в реальных условиях, как правило, ниже, чем в контрольных образцах. Вышеизложенное приводит к тому, что фактическая прочность бетона в конструкциях может быть ниже прочности контрольных образцов, а прочность, определенная неразрушающими методами путем испытаний бетона в поверхностных зонах конструкций, ниже прочности в глубинных зонах.

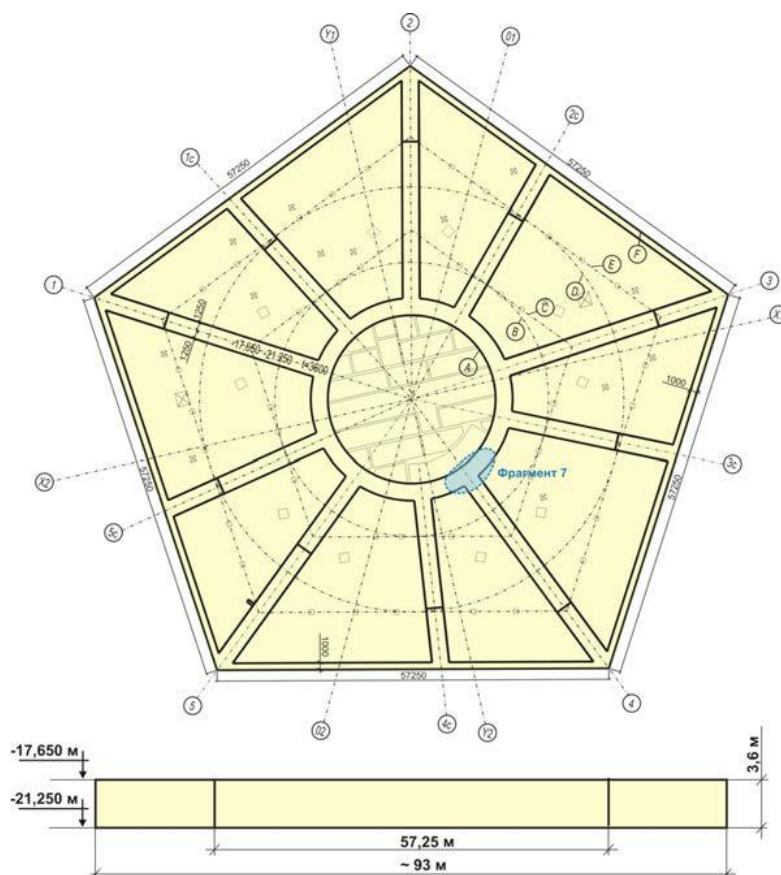


Рисунок 1. Схема нижней плиты коробчатого фундамента

Fig. 1. Diagram of the bottom plate of the box foundation

На примере строительства 86-этажного здания «Башня» комплекса «Лахта Центр» в Санкт-Петербурге обобщаются организационно-технологические решения, принятые для контроля качества при бетонировании массивных конструкций фундаментов высотного здания, которые предусматривают определенную схему оценки характеристик бетонных смесей, бетона и основных процессов бетонирования [4].

1. Общая схема контроля качества бетонных смесей, бетонов и основных процессов бетонирования

Опыт научно-технического сопровождения строительства зданий комплекса «Лахта Центр» привел к выводу о необходимости использования системного подхода к контролю качества бетонирования, когда последовательно оцениваются свойства бетона, пребывающего в разном агрегатном состоянии – от вязкопластичной массы, т. е. смеси, доставленной на

стройплощадку, до затвердевшего в конструкции материала.

В основе разработанной системы трёхуровневый контроль на заводе, стройплощадке и в конструкции, включающий:

- контроль на бетонных заводах качества цемента, заполнителей и добавок, а также качества готовой к отправке на стройплощадку смеси;
- входной контроль на стройплощадке качества бетона по технологическим характеристикам бетонных смесей;
- оценка качества бетона в партиях, доставленных на стройплощадку и уложенных в конструкции;
- контроль параметров технологии при бетонировании и выдерживании конструкций;
- прямая оценка качества бетона в каждой конструкции.

Общая схема контроля качества представлена в таблице.

Контроль качества бетонной смеси и ее компонентов, бетона и процессов бетонирования Ensuring the quality of the concrete mixture, its components, concrete and concreting processes

Уровень контроля	Компоненты бетонной смеси	Бетонная смесь	Бетон	Технология
На заводе	Цемент по данным паспортов и ГОСТ. Песок по данным паспортов и ГОСТ. Щебень по данным паспортов и ГОСТ. Добавки по данным паспортов и ТУ	Подвижность. Сохраняемость. Расслаиваемость. Плотность. Температура	Прочность на сжатие. Водонепроницаемость. Морозостойкость	
На стройплощадке		Подвижность. Расслаиваемость. Плотность. Температура	Температура твердения. Прочность бетона в партиях, возраст 7, 28, 90 суток	Температура и длительность прогрева конструкции. Температура в шатре. Температура смеси перед укладкой. Скорость укладки. Контроль устройства покрытий
В конструкции			Прочность бетона в конструкции по кернам в возрасте 90 суток. Водонепроницаемость. Морозостойкость. Модуль упругости	

2. Контроль качества бетонной смеси и ее компонентов, бетона на заводах-производителях

Заводы-производители бетонных смесей для фундаментной плиты должны отвечать основным требованиям:

- иметь возможность раздельного хранения и дозирования не менее двух видов заполнителя;
- иметь выделенные склады силосного типа для приема, хранения и применения не менее одного типа порошкообразных добавок.

На заводах-производителях товарных бетонных смесей выполняется комплекс мероприятий по контролю состояния технологического оборудования, качества цемента, заполнителей и добавок, а также качества готовой к отправке на стройплощадку смеси.

Входной контроль материалов на бетонном заводе осуществляется лабораторией завода. В рамках НТС осуществляется выборочный контроль материалов на заводе, а также контроль лаборатории завода.

Бетонные узлы должны быть оборудованы системой автоматизированного дозирования компонентов бетонной смеси с возможностью получения информации с фактическими дозировками материалов, загруженных в каждый автобетоносмеситель.

В период производства смесей персоналом завода должен осуществляться постоянный контроль за состоянием бетоносмесителей, трактов подачи материалов (транспортёров), а также загружающихся смесью автобетоносмесителей на предмет наличия в их бункерах остатков воды или других материалов.

Компоненты бетона. Все компоненты бетона, применяемые заводом, должны быть снабжены документами о качестве (паспортами) на конкретную партию материала, а при необходимости и сертификатами соответствия.

Контроль каждой партии материалов осуществляется на основании анализа ин-

формации в документах о качестве (паспортах) на цемент, заполнители, добавки и результатов выборочных лабораторных испытаний материалов. Если данные паспортов не согласуются с результатами лабораторных испытаний, заключение о фактическом качестве материалов выносится на основании повторных испытаний, проведенных специализированными организациями.

Бетонная смесь. Качество бетонной смеси оценивается по следующим характеристикам:

- состав бетонной смеси по автоматизированной распечатке количества материалов, загруженных в автобетоносмеситель;
- подвижность (расплыв конуса);
- сохраняемость (стабильность подвижности во времени);
- средняя плотность;
- связность-нерасслаиваемость (сегрегационная устойчивость), которая определяется по водоотделению или визуально;
- температура.

Испытания проводятся на готовой к отправке смеси. Пробы бетонной смеси для определения вышеуказанных характеристик отбираются из автобетоносмесителя после перемешивания загруженной в него смеси в течение не менее 5 минут. При стабилизации указанных параметров на заданном уровне в дальнейшем на пробах из каждого автобетоносмесителя контролируется только подвижность, а температура смеси – из каждого десятого автобетоносмесителя.

Бетон. Качество бетона определяется испытанием контрольных образцов, которые должны храниться в нормальных условиях (относительная влажность $95 \pm 5 \%$, температура $+20 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

Прочность бетона на сжатие определяется в возрасте 7, 28 и 90 суток. Испытывается не менее двух серий контрольных образцов-кубов с размером ребра 100 мм из каждой партии готовой к отправке бетонной смеси.

Под партией подразумевается объем бетонной смеси постоянного состава, приготовленного на одних и тех же материалах в течение одной рабочей смены (12 часов). Статистический анализ результатов испытаний проводится по ГОСТ 18105-2018 и ГОСТ 31914-2012. Требуемая прочность бетона в возрасте 90 суток нормального твердения для нижней плиты коробчатого фундамента здания «Башня» должна быть не менее 68,4 МПа.

Марка бетона по водонепроницаемости определяется в возрасте 90 суток испытанием шести образцов-цилиндров диаметром 150 мм и высотой 150 мм.

Марка бетона по морозостойкости бетона определяется в возрасте 90 суток испытанием 12 образцов-кубов размерами 100×100×100 мм один раз в период заливки фундамента.

3. Контроль качества на стройплощадке

Подготовка поста для контроля качества бетонной смеси. Лабораторный

пост контроля качества бетонной смеси организуется непосредственно при въезде на строительную площадку. На разгрузку (к бетононасосам) автобетоносмесители поступают только после проверки качества бетонной смеси и разрешения лабораторной службы.

Для выполнения работ в период непрерывного бетонирования конструкции пост должен быть укомплектован необходимым количеством инженеров и лаборантов, а также оборудованием, теплым помещением для персонала и первоначального хранения контрольных образцов бетона. Миксеры с заводов, расположенных на площадке строительства, на лабораторный пост не направляются.

Устройство шатра. В целях защиты от атмосферных осадков и обеспечения регламентированных требований к температурному режиму выдерживания бетона, а также для комфортной организации работ над всем фронтом бетонирования конструкции плиты монтируется защитный шатер (рис. 2).

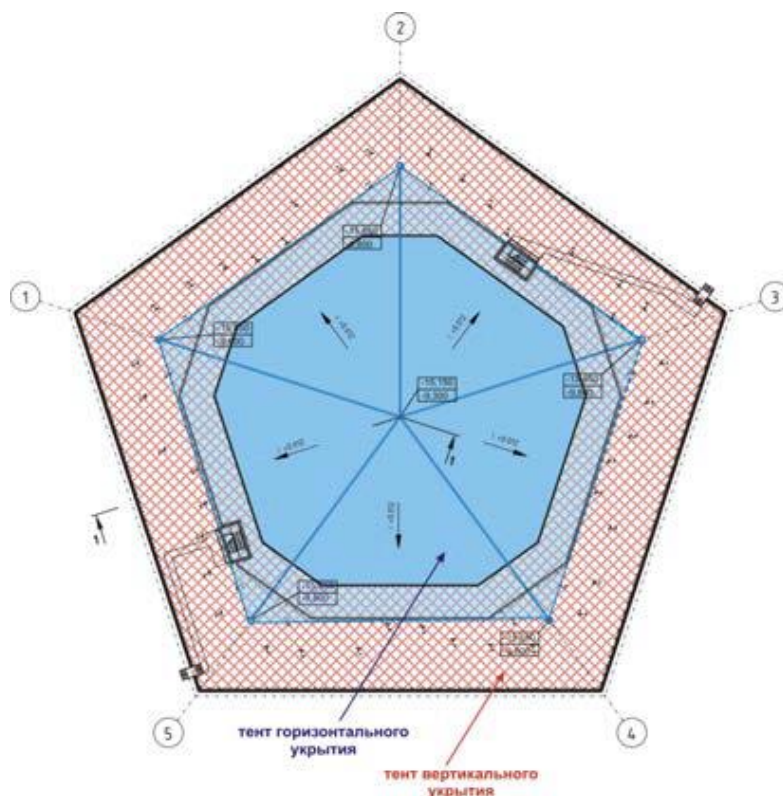


Рисунок 2. Конструкция шатра
Fig. 2. Tent design

Система контроля температуры. Контроль температурного режима твердения бетона в нижней фундаментной плите производится при помощи автоматизированной системы. Датчики температуры устанавливаются с целью контроля температуры в разных зонах бетонируемой плиты: в ядре и на периферии конструк-

ции на трех высотных отметках, а также в верхней зоне плиты на участках, где планируется возведение стен коробчатого фундамента – 3 этажа в ранние сроки.

Общая схема и количество участков установки датчиков температуры в нижней плите коробчатого фундамента представлены на рисунке 3.

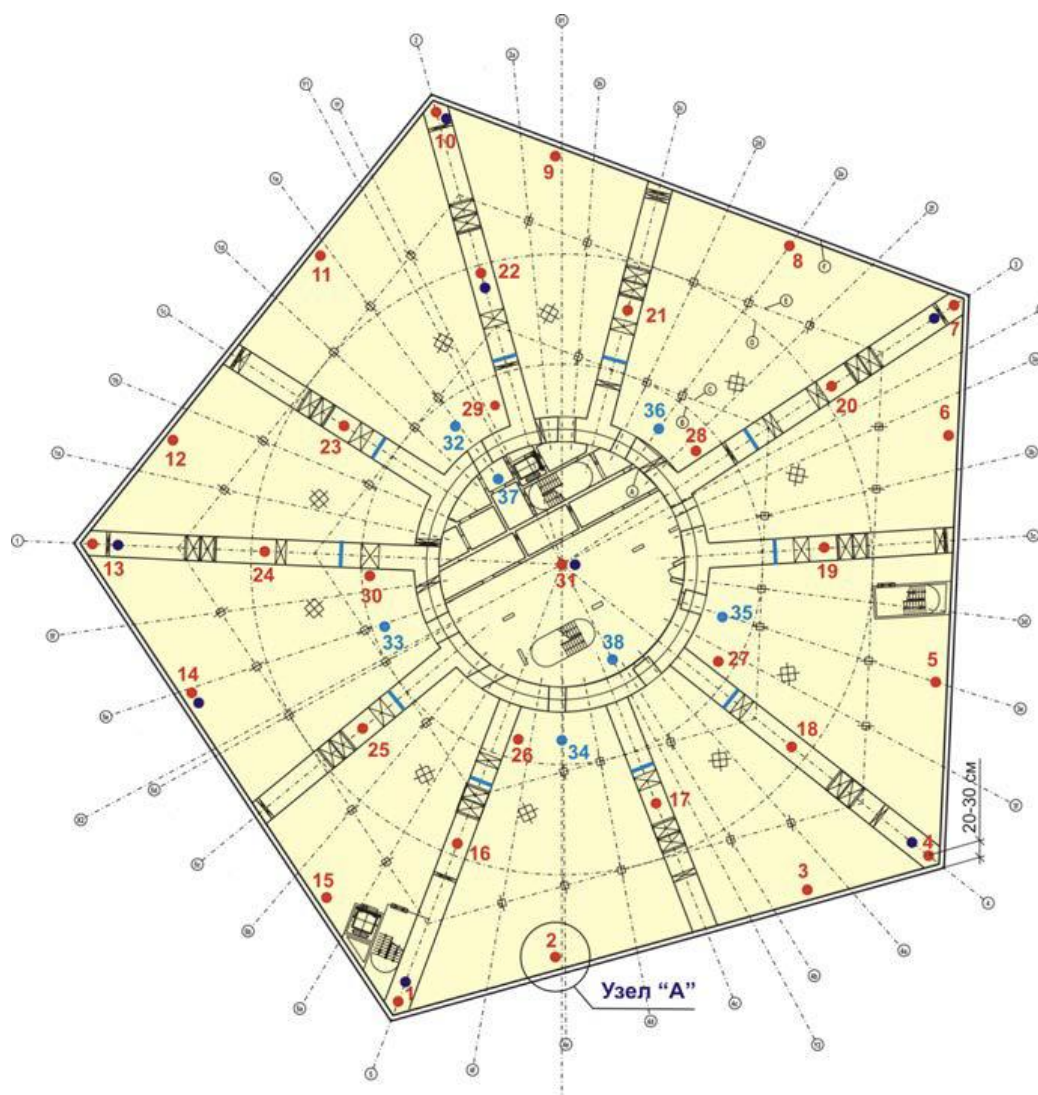


Рисунок 3. Общая схема установки датчиков температуры
Fig. 3. General diagram of temperature sensor installation

Приемка бетонной смеси. Приемка на строительной площадке осуществляется под наблюдением специалистов (инженеров), обеспечивающих контроль за качеством поступающей бетонной смеси и ее укладкой в конструкцию в непрерывном режиме.

Процедуры отбора проб смеси, их испытаний и формирования образцов бетона осуществляются группой лаборантов под наблюдением специалиста (инженера) на посту контроля качества. Качество бетонной смеси оценивается на пробах, отобранных из автобетоносмесителей.

Поступившая на стройплощадку бетонная смесь подвижностью (ПК) более 65 см и имеющая признаки расслоения возвращается на заводы-поставщики. Бетонная смесь с распылом конуса 50÷60 см направляется на заводы на строительной площадке для корректировки бетонной смеси.

Контроль бетонной смеси. На данной стадии проводятся мероприятия по оценке соответствия доставленной на стройплощадку бетонной смеси требованиям регламента.

Выполняются следующие процедуры:

- определяется подвижность смеси по распылу конуса;
- осуществляется визуальная оценка нерасслаиваемости;
- устанавливается фактическая плотность бетонной смеси;
- определяется температура смеси;
- формируются контрольные образцы для последующих испытаний.

Образцы-кубы с размером ребра 100 мм для определения прочности в возрасте 7, 28 и 90 суток формируются в количестве 12 шт. из объема бетонной смеси, поставленной одним заводом-производителем и уложенной в конструкцию в течение одной рабочей смены (12 часов).

В случае значительных отклонений от заданных характеристик необходимо корректировать состав бетонной смеси с участием разработчиков регламента бетонирования.

Технологический контроль. По окончании бетонирования конструкции контролируется качество укрытия поверхности фундаментной плиты влаготеплозащитным покрытием.

Измерение температуры бетона в конструкции фундаментной плиты при его выдерживании (в течение 30 дней) начинают осуществлять сразу после его возведения до того момента, пока разность между минимальной суточной температурой окружающей среды и максимальной

температурой поверхностных слоев конструкции снизится менее чем на 20 °С.

Контроль прочности бетона в партиях бетонных смесей. Контроль прочности бетона на сжатие в партиях смесей, доставленных на стройплощадку, осуществляется по ГОСТ 10180-2018 и ГОСТ 31914-2012 по контрольным образцам, изготовленным из проб бетонной смеси, отобранных при бетонировании конструкции. Партией считается объем бетонной смеси, поставляемой одним заводом-производителем и уложенной в конструкцию плиты в течение одной рабочей смены (12 часов).

Прочность бетона определяется по результатам испытания серий контрольных образцов-кубов размерами 100×100×100 мм, которые твердели в нормальных (относительная влажность 95±5 %, температура +20±2 °С) условиях.

От каждой партии изготавливается не менее двух серий контрольных образцов. Прочность бетона в каждой серии определяется в возрасте 7, 28 и 90 суток.

4. Контроль прочности бетона в конструкции

Принимая во внимание массивность конструкции фундаментной плиты, способствующую высокой экзотермии бетона, следует учесть, что прочность бетона в конструкции на уровне 80-90 % от проектной прочности может быть достигнута в возрасте 5-7 суток.

Кроме того, для уточнения ориентировочных данных о прочности по температурно-временному параметру рекомендуется осуществить контроль неразрушающим методом отрыва со скалыванием.

Контроль прочности бетона на сжатие в конструкции фундаментной плиты в проектном возрасте (90 суток) осуществляется по контрольным образцам и по образцам-кернам, отобранным из конструкции. Определение прочности бетона по образцам-кернам, отобранным из конструкции, осуществляется по согласованному с автором проекта плану, который

содержит координаты мест отбора и глубину выбуривания кернов.

Количество кернов, отобранных из конструкций, должно быть не менее 20. Места предполагаемого отбора кернов принимаются согласно ориентировочной

схеме расположения мест отбора кернов (рис. 4). Изготовленные из кернов образцы должны соответствовать ГОСТ 31914-2012 (иметь диаметр не менее 70 мм и отшлифованные параллельные торцевые поверхности).

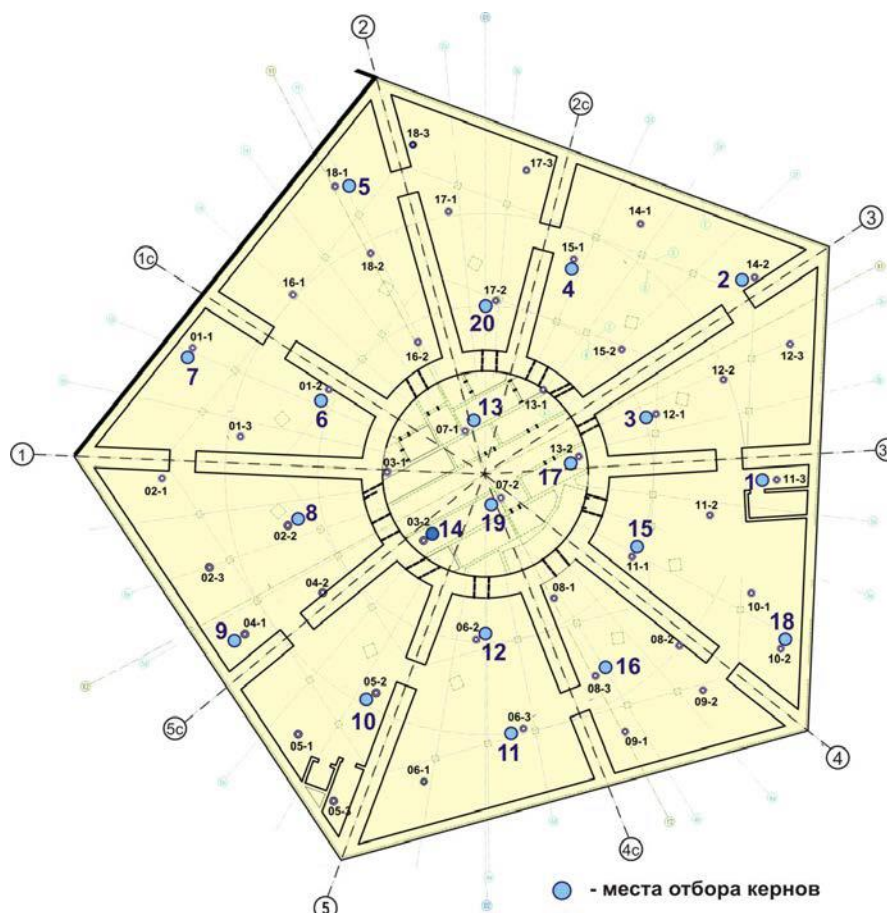


Рисунок 4. Схема расположения мест отбора кернов

Fig. 4. Layout of core sampling sites

Контроль водонепроницаемости бетона. Марка бетона по водонепроницаемости определяется один раз на конструкцию по результатам испытаний образцов-кубов размерами $150 \times 150 \times 150$ мм или образцов-цилиндров диаметром 150 мм и высотой 150 мм, которые твердели 90 суток в нормальных (относительная влажность 95 ± 5 %, температура $+20 \pm 2$ °C) условиях или непосредственно в конструкции фундаментной плиты.

Контроль морозостойкости бетона. Марка бетона по морозостойкости определяется один раз на конструкцию

(при условии постоянных заводов-поставщиков бетона) испытанием 12 (в зависимости от применяемого метода испытаний) образцов кубов размерами $100 \times 100 \times 100$ мм, хранившихся в течение 90 суток в нормальных условиях (относительная влажность 95 ± 5 %, температура $+20 \pm 2$ °C).

5. Приемочный контроль качества бетона

Приемочный контроль, осуществляемый в возрасте бетона 90 суток, должен отражать фактические показатели прочности и однородности, а также водонепро-

ницаемости и морозостойкости бетона в конструкции фундаментной плиты.

Качество бетона по прочности на сжатие оценивается испытанием контрольных образцов для определения прочности в партиях и испытанием бетона нижней плиты коробчатого фундамента по образцам, отобранным из конструкции. Качество бетона по водонепроницаемости и морозостойкости определяется по испытаниям контрольных образцов.

Если по результатам испытаний в возрасте 90 суток бетон не будет отвечать проектным требованиям, по согласованию с автором проекта возможна повторная оценка качества бетона в более позднем возрасте, в 180 суток.

Оценка прочности бетона в партиях. Прочность каждой партии бетона следует определять по результатам испытаний контрольных образцов-кубов по всем нормируемым показателям.

Оценка прочности бетона в партиях осуществляется на основании результатов испытаний, проведенных согласно требованиям, указанным в разделе 3 настоящей статьи.

Партия бетона подлежит приемке, если фактическая прочность бетона (среднее значение прочности бетона в партии, определенное по результатам испытаний контрольных образцов) не ниже требуемой прочности для класса В60:

$$R_{\phi} \geq R_T,$$

где R_{ϕ} – среднее значение прочности бетона в партии, определенное по результатам испытаний контрольных образцов;

R_T – требуемая прочность для бетона класса В60.

Требуемая прочность – это минимально допустимое значение фактической прочности бетона в партии, установленное в соответствии с достигнутой ее однородностью, которое для бетона класса В60 принимается не менее 68,4 МПа в возрасте 90 суток.

Оценка прочности бетона в конструкции. Прочность бетона в конструкции нижней плиты коробчатого фундамента определяется в возрасте 90 суток. Оценка прочности бетона нижней фундаментной плиты осуществляется на основании результатов испытаний бетона в конструкции по образцам-кернам, отобранным из конструкций в соответствии с требованиями, указанными в разделе 4 настоящей статьи.

Фундаментная плита подлежит приемке по прочности, если фактический класс бетона B_{ϕ} в конструкции не ниже проектного класса $B_{\text{норм}}$:

$$B_{\phi} \geq B_{\text{норм}},$$

где $B_{\text{норм}}$ – проектный класс бетона по прочности на сжатие В60;

B_{ϕ} – фактический класс бетона по прочности на сжатие в конструкции.

Фактический класс бетона по прочности на сжатие в конструкции нижней фундаментной плиты B_{ϕ} оценивается по схеме «В», при которой используют данные текущего неразрушающего контроля с определением характеристик однородности бетона по прочности в соответствии с ГОСТ 18105-2018 по формуле

$$B_{\phi} = R_{\phi}/K_T,$$

где R_{ϕ} – фактическая средняя прочность бетона в конструкции по данным испытаний образцов, изготовленных из кернов, отобранных из конструкции, МПа;

K_T – коэффициент, принимаемый по таблице А.1 ГОСТ 18105-2018 в зависимости от фактического коэффициента вариации прочности бетона.

В случае, если фактический класс бетона B_{ϕ} в конструкции нижней плиты коробчатого фундамента окажется ниже проектного класса, решение о его приемке принимается автором проекта.

Оценка водонепроницаемости бетона в конструкции. Бетон, уложенный в конструкцию фундаментной плиты, подлежит

приемке по водонепроницаемости, если его марка по водонепроницаемости соответствует или превышает марку W8.

Оценка морозостойкости бетона в конструкции. Бетон, уложенный в конструкцию фундаментной плиты, подлежит приемке по морозостойкости, если его марка по морозостойкости соответствует или превышает марку F₁₅₀.

Выводы

При возведении монолитных железобетонных конструкций фундамента очень важно строго соблюдать технологию для обеспечения высокого качества. Для этого необходимо организовать систему контроля на всем протяжении проведения работ.

При производстве бетонных работ подрядной организации следует разработать технологический регламент на бетонирование или технологическую карту, которые будут включать в себя информацию о последовательности работ, правилах организации трудовых и материальных ресурсов (способы до-

ставки и приемки бетонных смесей, укладки и уплотнения) и учитывать условия строительной площадки и установленные сроки.

Система контроля качества включает трёхуровневый контроль на заводе, стройплощадке и в конструкции:

- контроль на бетонных заводах качества цемента, заполнителей и добавок, а также качества готовой к отправке на стройплощадку смеси;

- входной контроль на стройплощадке качества бетона по технологическим характеристикам бетонных смесей;

- оценка качества бетона в партиях, доставленных на стройплощадку и уложенных в конструкции;

- контроль параметров технологии при бетонировании и выдерживании конструкций;

- прямая оценка качества бетона в каждой конструкции;

- контроль качества сборки арматурных изделий и их укладки в опалубку плиты.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Травуш В. И., Шахворостов А. И. Бетонирование нижней плиты коробчатого фундамента башни комплекса «Лахта центр» // Высотные здания. 2015. № 1. С. 92-101.
2. Никифоров С. В. Особенности конструкции фундамента высотного здания «Лахта Центра» // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26, № 1. С. 179-193. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-179-193. EDN: WAIQVQ.
3. Каприелов С. С., Шейнфельд А. В., Киселева Ю. А. Особенности системы контроля качества высокопрочных бетонов // Строительные материалы. 2012. № 2. С. 63-67. EDN: OWJKGX.
4. Колчеданцев Л. М., Осипенкова И. Г. Особенности организационно-технологических решений при возведении высотных зданий // Жилищное строительство. 2013. № 11. С. 17-19. EDN: RKVZIX.
5. Красный Д. Ю., Красный Ю. М. Обеспечение качества при возведении зданий и сооружений из монолитного железобетона. Екатеринбург: Центр качества строительства, 2003. 448 с.
6. Несветаев Г. В., Корянова Ю. И. Технология и качество бетонных работ. Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. 228 с. ISBN 978-5-9729-1028-1. EDN: WSILKV.
7. О влиянии некоторых технологических факторов на качество бетона монолитных железобетонных конструкций / Г. В. Несветаев, Ю. И. Корянова, А. С. Чепурненко, Д. П. Сухин // Инженерный вестник Дона. 2021. № 11(83). С. 1-17. EDN: EIDKLR. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2021/7256>
8. Ковалева А. Ю., Коноплев С. Н., Староверов В. Д. Проблемы и практика применения стандартов на бетонные смеси // Технологии бетонов. 2024. № 3(194). С. 17-22. EDN: RMGGLF.
9. Несветаев Г. В., Коллеганов А. В., Коллеганов Н. А. Особенности неразрушающего контроля прочности бетона эксплуатируемых железобетонных конструкций // Наукоедение: интернет-журнал. 2017. Т. 9, № 2. С. 1-14. EDN: YPQIZL. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/14TVN217.pdf>

Статья поступила в редакцию 19.02.2025; одобрена после рецензирования 26.02.2025; принята к публикации 11.03.2025

Информация об авторах

ТРАВУШ Владимир Ильич – доктор технических наук, профессор, академик РААСН, вице-президент Российской академии архитектуры и строительных наук, главный конструктор и заместитель генерального директора АО «Городской проектный институт жилых и общественных зданий», г. Москва. Область научных интересов – проектирование зданий и сооружений, строительная механика, расчет строительных конструкций. Автор более 200 научных публикаций. E-mail: travush@mail.ru

НИКИФОРОВ Сергей Владимирович – директор по проектированию АО «Синергия», г. Санкт-Петербург. Область научных интересов – проектирование зданий и сооружений, строительная механика, расчет строительных конструкций. Автор 3 научных публикаций. E-mail: sergeivnikiforov@gmail.com

Вклад авторов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 624.15

<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.7>

EDN: ZEEIYI

Quality control in concreting massive foundation structures of the multifunctional “Lahta Centre” complex

V. I. Travush^{1,2}, S. V. Nikiforov^{3✉}

¹Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAASN) (Moscow)

²JSC City Design Institute of Residential and Public Buildings (Moscow)

³JSC Synergy (St. Petersburg)

sergeivnikiforov@gmail.com✉

Abstract

Introduction. The paper discusses the fundamental principles of quality control when concreting the massive concrete structures, using the example of foundation structures of the Lakhta Center complex in St. Petersburg.

The aim of research is to develop and implement a three-level concreting quality control system for the concrete plant, on a construction site and applicable to different structures.

In order to achieve this goal, the following tasks were formulated: to analyze the regulatory framework governing quality control requirements while constructing the concrete structures; to consider the establishment of a quality control system based on a three-level approach, to formulate the fundamental principles of monitoring the concrete mixtures and the concrete within the structure.

Research outcomes. Special emphasis is placed on establishing a framework for evaluating the properties of concrete mixtures, concrete itself, and the main concreting processes, as well as their incorporation into organisational and technological documentation (work production project, process maps, process regulations).

Conclusions. The primary findings of this research can be used in the development of methodological, organizational and technological documentation supporting in the construction of massive foundation structures of unique buildings and constructions.

Keywords: concrete structures; quality control; temperature control; method statement; concreting; concrete; concrete mix.

Funding. This study was not supported by any external sources of funding.

For citation: Travush V. I., Nikiforov S. V. Quality control in concreting massive foundation structures of the multifunctional “Lakhta Centre” complex. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies.* 2025;(1):7–18. (In Russian). <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.7>; EDN: ZEEIYI

REFERENCES

1. Travush V. I., Shakhvorostov A. I. Concreting the lower slab of the box foundation of the tower of the Lakhta Center complex. *Tall buildings.* 2015;(1):92-101. (In Russ.).
2. Nikiforov S. V. High-rise building foundation design of the Lakhta Center. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture.* 2024;26(1):179-193. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-179-193. EDN: WAIQVQ. (In Russ.).
3. Kaprielov S. S., Sheinfeld A. V., Kiseleva Yu. A. Features of the quality control system for high-strength concrete. *Construction materials.* 2012;(2):63-67. EDN: OWJKGX. (In Russ.).
4. Kolchedantsev L. M., Osipenkova I. G. Features of organizational and technological solutions in the construction of high-rise buildings. *Housing construction.* 2013;(11):17-19. EDN: RKVZIX. (In Russ.).
5. Krasny D. Yu., Krasny Yu. M. Quality assurance in the construction of buildings and structures from monolithic reinforced concrete. Yekaterinburg: Center for Construction Quality, 2003. 448 p. (In Russ.).
6. Nesvetaev G. V., Koryanova Yu. I. Technology and quality of concrete works. Moscow; Vologda: Infra-Engineering, 2022. 228 p. ISBN 978-5-9729-1028-1. EDN: WSILKV. (In Russ.).
7. Nesvetaev G. V., Koryanova Y. I., Chepurmenko A. S., Sukhin D. P. On the influence of some technological factors on the quality of concrete of monolithic reinforced concrete structures. *Engineering Journal of Don.* 2021;(11):1-17. EDN: EIDKLR. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2021/7256> (In Russ.).
8. Kovaleva A. Yu., Konoplev S. N., Staroverov V. D. Problems and practice of applying standards for concrete mixtures. *Concrete technologies.* 2024;(3):17-22. EDN: RMGGLF. (In Russ.).
9. Nesvetaev G. V., Kolleganov A. V., Kolleganov N. A. Features nondestructive control concrete strength exploited concrete constructions. *Internet journal Naukovedenie.* 2017;9(2):1-14. EDN: YPQIZL. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/14TVN217.pdf> (In Russ.).

The manuscript was submitted on 19.02.2025; reviewed on 26.02.2025;
adopted for publication on 11.03.2025

Information about the authors

TRAVUSH Vladimir Ilich – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academician, Vice-President of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Chief Designer and Deputy Director General of JSC City Design Institute of Residential and Public Buildings, Moscow. Research interests – design of buildings and structures, structural mechanics, design of building structures. Author of more than 200 publications. E-mail: travush@mail.ru

NIKIFOROV Sergei Vladimirovich – Design Director, JSC Synergy, St. Petersburg. Research interests – design of buildings and structures, structural mechanics, design of building structures. Author of 3 publications. E-mail: sergeivnikiforov@gmail.com

Contribution of the authors. The authors contributed equally to this paper.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

The authors reviewed and approved the final version of the manuscript.

МАТЕРИАЛЫ

Научная статья

УДК 699.865

<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.19>

EDN: OCUBTH

Сравнение теплоизоляционных свойств различных видов утеплителя для строительства многоквартирных жилых домов

С. Н. Анисимов[✉], Т. И. Ломоносова, И. Р. Ильина, А. Ю. Лешканов

Поволжский государственный технологический университет (г. Йошкар-Ола)

AnisimovSN@volgatech.net[✉]

Аннотация

Введение. В современных условиях устойчивого развития и увеличения потребления энергии вопрос выбора наиболее энергоэффективного утеплителя становится особенно актуальным. Эффективность утепления является важным фактором как для строительства новых зданий, так и для проведения ремонта в существующих. Слишком часто выбор утеплителя основывается лишь на цене или доступности, что может привести к нежелательным последствиям. Поэтому при выборе утеплителя следует учитывать такие параметры, как теплоизоляционные свойства, устойчивость к влаге, паропроницаемость и экологическая безопасность материалов. Современные технологии предлагают широкий спектр утеплителей – от традиционных минеральных ват до инновационных решений на основе экополимеров. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, что требует тщательного анализа перед принятием решения. Таким образом, важность правильного выбора утеплителя нельзя недооценивать. Эффективное утепление не только снижает расходы на отопление, но и способствует созданию более устойчивого и экологически чистого строительного сектора, что непосредственно влияет на качество жизни каждого человека.

Цель работы – сравнительный анализ результатов исследования различных теплоизоляционных материалов ограждающих конструкций, направленный на выявление самых эффективных утеплителей с точки зрения соотношения цены и теплотехнических свойств.

Материалы и методы. В ходе работы проведена оценка термоизоляционных свойств, устойчивости к влаге, огнестойкости и долговечности различных утеплителей, а также стоимости утепления многоквартирного жилого дома в г. Йошкар-Оле. Для сравнения были выбраны семь теплоизоляционных материалов: минеральная (каменная) вата (75-120 кг/м³); стекловата плита П-85; экструдированный пенополистирол (40 кг/м³); пенополистирол ПСБ-50; полистиролбетон (200 кг/м³); газосиликат автоклавный (D600); эковата (60 кг/м³).

Выводы. Наиболее эффективным теплоизоляционным материалом можно назвать минераловатный утеплитель. Помимо высоких теплоизоляционных свойств и невысокой стоимости, минеральная вата обладает рядом преимуществ, которые делают ее особенно привлекательной для использования в строительстве.

Ключевые слова: строительные материалы; утеплитель; тепловые потери; сопротивление теплопередаче; энергоэффективность.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Для цитирования: Сравнение теплоизоляционных свойств различных видов утеплителя для строительства многоквартирных жилых домов / С. Н. Анисимов, Т. И. Ломоносова, И. Р. Ильина, А. Ю. Лешканов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2025. № 1 (33). С. 19–28. <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.19>; EDN: OCUBTH

Введение

С учетом мировых тенденций к урбанизации вопрос энергетической эффективности зданий стал объектом повышенного интереса среди исследователей. Конструкция ограждающих элементов зданий играет ключевую роль в уменьшении потребления энергии, составляющего половину от общего энергетического расхода. Разнообразные типы стен имеют различные теплотехнические характеристики и срок службы, что делает системы внешней теплоизоляции все более популярными, так как их применение гораздо эффективнее для устранения тепловых потерь. В то же время возросло использование внешних изоляционных систем по сравнению с внутренними, которые часто приводят к конденсации водяного пара и, как следствие, к повреждениям конструкции.

На возведение стен дома приходится примерно 25 % от всех строительных расходов. При неаккуратном выборе материалов для стен возможно возникновение дополнительных затрат. Поэтому крайне важно учитывать ключевые критерии при выборе оптимального материала для стен: теплоизоляционные свойства и стоимость строительства.

Цель исследования – изучение эффективности применения утеплителя постоянной толщины в ограждающих конструкциях в зависимости от теплотехнических свойств.

Задачи исследования: провести теоретический обзор существующих типов утепления ограждающих конструкций, рассчитать термическое сопротивление ограждающей конструкции с учетом минимальной толщины применяемого утеплителя, сравнить результаты исследования.

Материалы и методы исследования

В настоящее время наиболее эффективным методом утепления является внешняя установка теплоизоляционных материалов. Мы имеем широкий ассортимент теплоизоляционных материалов и способов их расположения в структуре стены, поэто-

му существует множество конструктивных решений внешней теплоизоляции.

Ниже кратко рассмотрим самые распространённые теплоизоляционные материалы, используемые в строительстве.

Минеральная вата – волокнистый материал, получаемый из силикатных расплавов горных пород, металлургических шлаков и других силикатных промышленных отходов или их смесей. Материал состоит из тончайших взаимно переплетающихся волокон, находящихся в стекловидном состоянии, и неволокнистых включений в виде капель застывшего расплава. Может иметь различную структуру волокнистости, заданную технологически: горизонтально-слоистую, вертикально-слоистую, гофрированную или пространственную, что расширяет возможности её применения в тех или иных конструкциях.

Стекловата – волокнистый минеральный теплоизоляционный материал, разновидность минеральной ваты. Для получения стеклянного волокна используют то же сырьё, что и для производства обычного стекла или отходы стекольной промышленности. По свойствам стекловата (стекловолокно) отличается от других типов минеральной ваты. Волокно стеклянной ваты имеет толщину 3–15 мкм, а длину минимум в 2–4 раза большую, чем у каменной ваты. Благодаря этому изделия из стеклянной ваты обладают повышенной упругостью и прочностью. Стеклянная вата практически не содержит неволокнистых включений и обладает высокой вибростойкостью.

Экструзионный пенополистирол (ЭППС) – синтетический теплоизоляционный материал. Экструзионный пенополистирол получают путём смешивания гранул полистирола при повышенных температуре и давлении с введением вспенивающего агента и последующим выдавливанием из экструдера. Качественный экструзионный пенополистирол обладает равномерной закрытопористой структурой, диаметр ячеек составляет 0,1–0,2 мм.

Пенополистирол (ПСБ – пенополистирол суспензионный беспрессовый) – материал с плотной пористой структурой. Изготавливают из полимерного сырья с применением высокой температуры, воздействия пара. В процессе производства основу вспенивают, увеличенные молекулы полистирола образуют новые соединения. Готовый материал содержит приблизительно 98 % воздуха в порах.

Полистиролбетон (разновидность лёгкого бетона) – современный композиционный строительный материал, получаемый путем сочетания вспененного полистирола, СДО и цемента, обладающий рядом особых свойств, которые делают его привлекательным для использования в различных строительных проектах. Одной из главных особенностей полистиролбетона является его легкость. Благодаря низкой плотности материала он обеспечивает значительное снижение веса конструкции без потери прочности.

Газосиликат – разновидность ячеистых материалов, получаемая из смеси извести, молотого или мелкого песка и воды с газообразующими (порообразующими) добавками, с применением обычно автоклавной обработки для ускорения твердения. Из газосиликата изготавливают специальные блоки стандарта ГОСТ 21520-89 (утратил силу на территории Республики Беларусь, заменен на СТБ 1117-98 «Блоки из ячеистых бетонов стеновые. Технические условия») – блоки из ячеистого бетона.

Целлюлозный утеплитель (целлюлозная вата, «эковата») – рыхлый, лёгкий волокнистый строительный изоляционный материал серого или светло-серого цвета, применяется как утеплитель. Состоит примерно на 80 % из газетной бумаги/макулатуры и на 20 % из нелетучих flame-retardant веществ, в качестве которых чаще всего используются борная кислота и бора.

Определение коэффициента теплопроводности теплоизоляционных матери-

алов проводилось на приборе ИТС-1 (рис. 1) по методике ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме». Далее выполнялся теплотехнический расчет ограждающих конструкций по СП 50.13330.2024 «Тепловая защита зданий».



Рисунок 1. Измеритель теплопроводности ИТС-1

Fig. 1. Thermal conductivity meter ITS-1

Результаты и обсуждение

Сравним основные теплоизоляционные свойства материалов на 1 квадратный метр с учетом одинаковых условий строения стены. Внутренняя стена выполнена из кирпичной кладки на цементно-песчаном растворе толщиной 380 мм. Внешняя стена из того же материала, но толщиной 120 мм. Облицовка выполнена гипсовой штукатуркой толщиной 5 мм и цементно-песчаным раствором толщиной 20 мм. С двух сторон от утеплителя расположены пароизоляционные мембраны толщиной 0,1 мм для обеспечения параметра влагостойкости.

На рисунке 2 представлен послойный состав рассматриваемой стены.

Результаты расчета теплоизоляционных свойств стены из различных видов утеплителя обобщены в таблице 1. Выбиралась минимальная толщина утеплителя, удовлетворяющая критериям тепловой защиты и защиты от переувлажнения. Расчет производился с учетом климатиче-

ских условий г. Йошкар-Олы (Республика Марий Эл). В качестве температуры наружного воздуха в зимний период вре-

мени был выбран средний показатель наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92: -31°C .

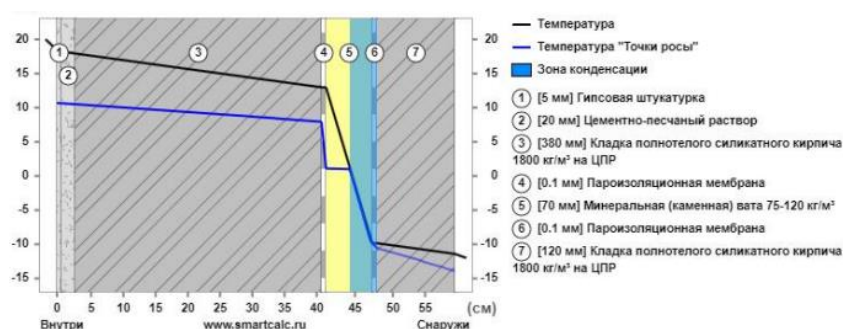


Рисунок 2. Строение стены
Fig. 2. Construction of the wall

Рассмотрены материалы, используемые в качестве теплоизоляции, а именно: минеральная (каменная) вата ($75\text{--}120\text{ кг/м}^3$); стекловата плита П-85; экструдированный пенополистирол (40 кг/м^3); пенополистирол ПСБ-50; полистиролбетон (200 кг/м^3);

газосиликат автоклавный (D600); эковата (60 кг/м^3).

Рисунки 3–9 иллюстрируют, как изменяется сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (стены) в зависимости от материала утеплителя.

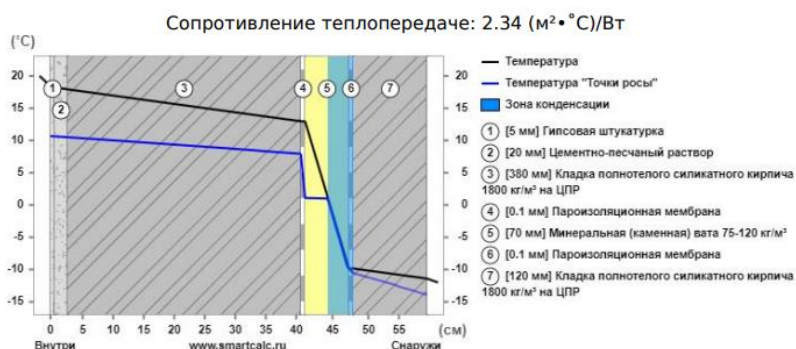


Рисунок 3. Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (стены), утеплитель – минеральная плита

Fig. 3. Thermal resistance of the enclosing structure (wall), insulation – mineral wool

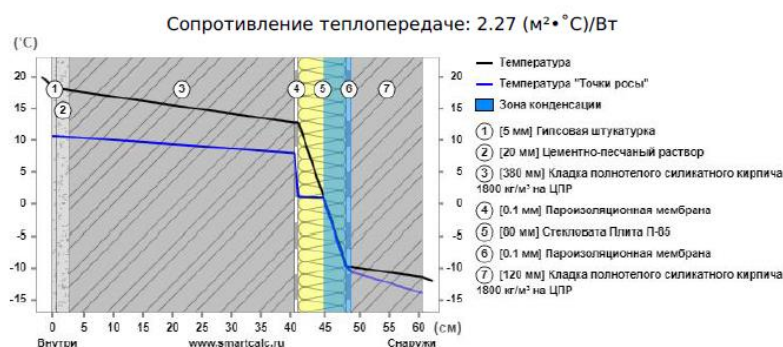


Рисунок 4. Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (стены), утеплитель – стекловата плита П-85

Fig. 4. Thermal resistance of the enclosing structure (wall), insulation – glass wool slab P-85

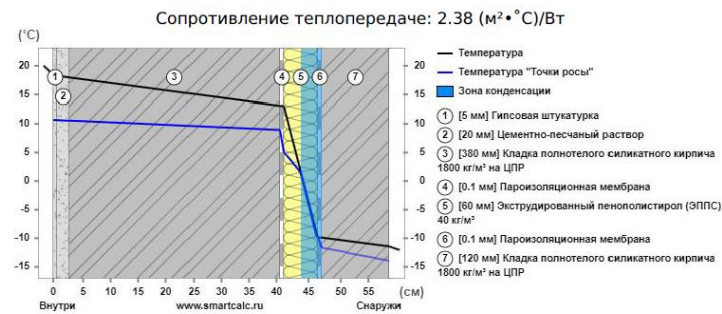


Рисунок 5. Сопrotивление теплопередаче ограждающей конструкции (стены), утеплитель – экструдированный пенополистирол (ЭППС)

Fig. 5. Thermal resistance of the enclosing structure (wall), insulation – extruded polystyrene foam (EPS)

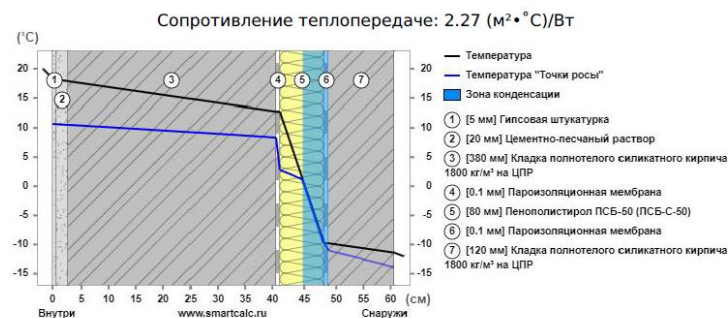


Рисунок 6. Сопrotивление теплопередаче ограждающей конструкции (стены), утеплитель – пенополистирол ПСБ-50

Fig. 6. Thermal resistance of the enclosing structure (wall), insulation – expanded polystyrene PSB-50

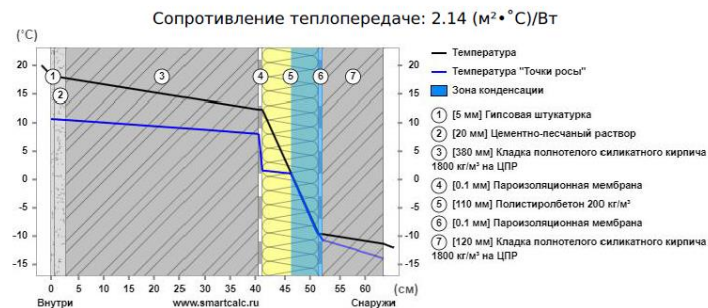


Рисунок 7. Сопrotивление теплопередаче ограждающей конструкции (стены), утеплитель – полистиролбетон

Fig. 7. Thermal resistance of the enclosing structure (wall), insulation – polystyrene concrete

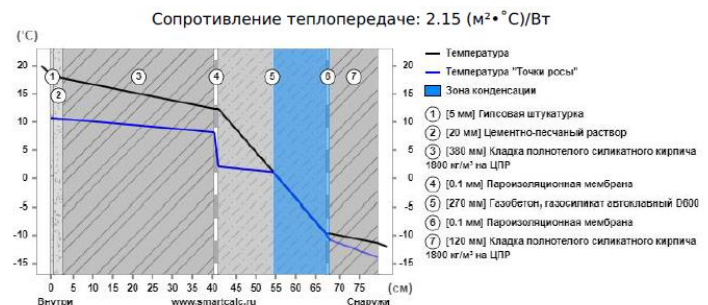


Рисунок 8. Сопrotивление теплопередаче ограждающей конструкции (стены), утеплитель – газобетон, газосиликат автоклавный D600

Fig. 8. Thermal resistance of the enclosing structure (wall), insulation – aerated concrete, autoclaved aerated concrete D600

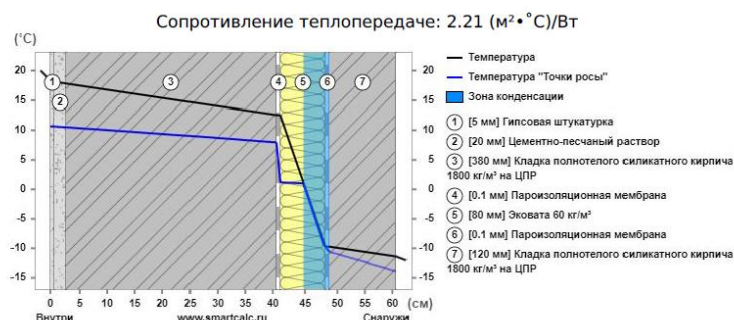


Рисунок 9. Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (стены), утеплитель – эковата
Fig. 9. Thermal resistance of the enclosing structure (wall), insulation – ecowool

Результаты исследования теплоизоляционных свойств и стоимости условной единицы выбранных материалов представлены в таблице 2.

Таблица 1. Результаты исследования теплоизоляционных свойств выбранных материалов
Table 1. Results of the study of thermal insulation properties of selected materials

Наименование утеплителя	Толщина, мм	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)	Сопротивление теплопередаче, (м²·°C)/Вт	Тепловые потери, кВт·ч	Противопожарные свойства	Долговечность
Минеральная (каменная) вата 75-120 кг/м³	70	0,042	2,34	54,50	не горит, не поддерживает горение огня	22-35
Стекловата плита П-85	80	0,05	2,27	56,10	не горит, препятствует распространению огня	15-25
Экструдированный пенополистирол (ЭППС) 40 кг/м³	60	0,035	2,38	53,41	среднегорюч, высокотоксичен при горении	35-45
Пенополистирол ПСБ-50 (ПСБ-С-50)	80	0,05	2,27	56,10	среднегорюч, токсичен при горении	15-50
Полистиролбетон 200 кг/м³	110	0,075	2,14	59,60	слабогорюч	120
Газобетон, газосиликат автоклавный D600	270	0,183	2,15	59,36	не горит	120
Эковата 60 кг/м³	170	0,052	2,21	57,66	слабогорюч	50

Из анализа данных, представленных в таблице 1, следует, что сопротивление теплопередаче для минерало- и стекловолоконных материалов находится в диапазоне от 2,27 до 2,34 (м²·°C)/Вт. Полимерные материалы имеют диапазон сопротивления теплопередаче от 2,27 до 2,38 (м²·°C)/Вт. Для сыпучих материалов сопротивление теплопередаче равно 2,21 (м²·°C)/Вт. Газобетон имеет наимень-

шее сопротивление теплопередаче – 2,15 (м²·°C)/Вт.

Очевидно, что при равных условиях лучшими характеристиками обладает автоклавный газобетон. Однако, несмотря на очевидные преимущества, газобетон имеет один значительный недостаток – высокую цену. То же можно сказать и о полистиролбетоне. Стекловата – недорогой и недолговечный материал со средними тепло-

техническими характеристиками. Пенополистирол имеет то же сопротивление теплопередаче, что и стекловата, но является более долговечным и дорогим. Минераль-

ная вата и экструдированный пенополистирол обладают схожими показателями, но второй при большей стоимости имеет недостатки противопожарных свойств.

Таблица 2. Результаты расчета себестоимости утеплителя в многоквартирном жилом доме

Table 2. Results of calculating the cost price of insulation in an apartment building

Наименование утеплителя	Толщина утеплителя, мм	Площадь ограждающей конструкции, м ²	Объем материала, м ³	Средняя цена за 1 м ³ утеплителя, руб.	Цена на утепление здания, руб.	Цена за утепление 1 м ³ здания, руб.
Минеральная (каменная) вата 75-120 кг/м ³	0,07	6048	423,36	4122,00	1 745 089,92	288,54
Стекловата плита П-85	0,08	6048	483,84	3916,00	1 894 717,44	313,28
Экструдированный пенополистирол (ЭППС) 40 кг/м ³	0,06	6048	362,88	4303,00	1 561 472,64	258,18
Пенополистирол ПСБ-50	0,08	6048	483,84	1056,15	511 007,56	84,49
Полистиролбетон 200 кг/м ³	0,11	6048	665,28	4631,25	3 081 078,00	509,44
Газобетон, газосиликат автоклавный D600	0,27	6048	1632,96	9779,82	15 970 059,89	2640,55
Эковата 60 кг/м ³	0,08	6048	483,84	4709,76	2 278 768,80	376,78

Примечание. Средние цены взяты из исследования рынка стройматериалов Республики Марий Эл

Выводы

Исходя из полученных данных, можно заключить, что оптимальным вариантом с точки зрения соотношения теплоизоляционных характеристик и стоимости для многослойной стены является минеральная вата толщиной 280 мм, так как она имеет хороший показатель сопротивления теплопередаче – 2,34 (м²·°C)/Вт. Данное значение соответствует санитарно-гигиеническим требованиям (показатель 1,29 (м²·°C)/Вт), нормируемому значению поэлементных требований (показатель 2,10 (м²·°C)/Вт) и базовому значению поэлементных требований (показатель 3,33 (м²·°C)/Вт).

Хотя минераловатные плиты могут

быть несколько дороже некоторых альтернативных вариантов, их долговечность и эффективность в итоге оправдывают вложенные средства.

Таким образом, данный вид теплоизоляционного материала можно считать наиболее эффективным по соотношению цены и теплоизоляционных характеристик. Также необходимо отметить такой положительный момент: минеральная вата является негорючим и простым в установке материалом.

Итак, минеральная вата – наиболее выгодный и эффективный теплоизоляционный материал для строительства многоквартирных жилых домов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Способ определения изменений термического сопротивления и коэффициента теплопроводности по толщине наружного стенового ограждения при теплофизических испытаниях в натурных условиях / П. Н. Муреев, С. В. Федосов, В. Г. Котлов [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2021. № 4. С. 55-64. DOI: 10.25686/2542-114X.2021.4.55. EDN: UIUUGG.

2. Кононова О. В., Вайнштейн В. М. Долговечность строительных материалов и конструкций: учебное пособие. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2019. 73 с.
3. Федосов С. В., Анисимов С. Н., Соколов А. М. Методика исследования нестационарного температурного поля при наружном электропрогреве штепсельных соединений железобетонных колонн сборно-монолитных сооружений (Часть 1) // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 2(73). С. 35-42. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-2-35-42. EDN: GKZAQM.
4. Турдалиева М. К. Экспериментальные исследования теплотехнически неоднородных наружных стен многоэтажного жилого дома // Academic research in educational sciences. 2021. № 1. С. 863-867.
5. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании / Н. И. Ватин, Д. В. Немова, П. П. Рымкевич, А. С. Горшков // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 8(34). С. 4-14. EDN: PJWLEX.
6. Техничко-экономическое обоснование по утеплению наружных стен многоквартирного жилого здания с устройством вентилируемого фасада / Д. В. Немова, А. С. Горшков, Н. И. Ватин [и др.] // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 11(26). С. 70-84. EDN: TEDZFN.
7. Черепов В. Д., Дружинина М. А. Анализ целесообразности капитального ремонта многоквартирных домов III и IV групп капитальности (на примере г. Йошкар-Олы): монография. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2018. 217 с.
8. Данилова Н. И. Современные методы утепления фасадов зданий и влияние теплоизоляции наружных стен на энергосбережение здания // Вестник науки. 2023. Т. 4, № 12(69). С. 1441-1447. EDN: XYMYND.
9. Павлычева Е. А., Пикалов Е. С. Современные энергоэффективные конструкционные и облицовочные строительные материалы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 7. С. 76-87. EDN: TJASPQ.
10. Николаенко Р. А., Ермоленко М. В., Степанова О. А. Влияние увлажнения тепловой изоляции на величину тепловых потерь тепловых сетей // Молодой ученый. 2014. № 6(65). С. 207-210. EDN: SBZUIH.

Статья поступила в редакцию 04.12.2024; одобрена после рецензирования 17.12.2024; принята к публикации 27.01.2025

Информация об авторах

АНИСИМОВ Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных технологий и автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола. Область научных интересов – строительное материаловедение. Автор более 80 научных публикаций. E-mail: AnisimovSN@volgatech.net

ЛОМОНОСОВА Татьяна Ионовна – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных технологий и автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола. Область научных интересов – экономика в строительстве. Автор более 20 научных публикаций. E-mail: LomonosovaTI@volgatech.net

ИЛЬИНА Ирина Родионовна – магистрант кафедры строительных технологий и автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола. Область научных интересов – энергоэффективность зданий. E-mail: IlyinaIrina231@gmail.com

ЛЕШКАНОВ Андрей Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных технологий и автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола. Область научных интересов – строительное материаловедение. Автор более 50 научных публикаций. E-mail: LeshkanovAI@volgatech.net

Вклад авторов:

Анисимов С. Н. – научное руководство, разработка методологии, проведение эксперимента, корректировка статьи;

Ломоносова Т. И. – интерпретация результатов, корректировка статьи;

Ильина И. Р. – проведение эксперимента, обработка и анализ экспериментальных данных, составление статьи;

Лешканов А. Ю. – проведение эксперимента, корректировка статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article
UDC 699.865
<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.19>
EDN: OCUBTH

Comparison of thermal insulation properties in different types of insulation used for apartment block construction

S. N. Anisimov[✉], T. I. Lomonosova, I. R. Ilina, A. Iu. Leshkanov
Volga State University of Technology (Yoshkar-Ola)
AnisimovSN@volgatech.net[✉]

Abstract

Introduction. In the current state of sustainable development and increasing energy consumption, the selection of the most energy-efficient insulation is increasingly relevant. Insulation efficiency is a crucial consideration for both the construction of new buildings and for renovation of existing ones. The choice of insulation is often determined primarily by cost or availability, resulting in unfavourable outcomes. Therefore, when choosing the material, one should evaluate criteria such as thermal insulation capabilities, moisture resistance, vapour permeability, and the environmental safety of materials. Modern technologies offer a wide range of insulation materials, ranging from traditional mineral wool to cutting-edge eco-polymer solutions. Each option possesses distinct advantages and disadvantages, necessitating thorough investigation prior to decision-making. Thus, the importance of choosing the right insulation cannot be underestimated. Effective insulation not only reduces heating costs, but also fosters a more sustainable and eco-friendly construction industry, thereby directly influencing individual quality of life.

The aim of research is to comparatively analyse the results of a study of various thermal insulation materials for enclosing structures, aimed at identifying the most effective insulation materials in terms of the price-thermal properties ratio.

Materials and methods. The study evaluated the thermal insulation characteristics, moisture resistance, fire resistance, durability of several insulation materials, and the expenses associated with insulating an apartment block in Yoshkar-Ola. Seven thermal insulation materials were chosen for comparison: mineral (stone) wool (75-120 kg/m³); glass wool slab P-85; extruded polystyrene foam (EPS) (40 kg/m³); expanded polystyrene PSB-50; polystyrene concrete (200 kg/m³); autoclaved aerated concrete (D600); and ecowool (60 kg/m³).

Conclusions. Research revealed that mineral wool insulation can be regarded as the most effective thermal insulation material. Besides its excellent thermal insulation capabilities and affordability, mineral wool possesses other features that make it particularly appealing for construction applications.

Keywords: building materials; insulation; heat loss; heat transfer resistance; energy efficiency.

Funding. This study was not supported by any external sources of funding.

For citation: Anisimov S. N., Lomonosova T. I., Ilina I. R., Leshkanov A. Iu. Comparison of thermal insulation properties in different types of insulation used for apartment block construction. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies.* 2025;(1):19–28. (In Russian). <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.19>; EDN: OCUBTH

REFERENCES

1. Mureev P. N., Fedosov S. V., Kotlov V. G., et al. Determining changes in thermal resistance and thermal conductivity coefficient using the thickness of external wall fence during thermophysical tests in the natural environment. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies.* 2021;(4):55-64. DOI: 10.25686/2542-114X.2021.4.55. EDN: UIUUGG. (In Russ.).
2. Kononova O. V., Weinstein V. M. Durability of building materials and structures: a tutorial. Yoshkar-Ola: Volga State University of Technology, 2019. 73 p. (In Russ.).

3. Fedosov S. V., Anisimov S. N., Sokolov A. M. Methods of researching the non-stationary temperature field at external electrical heating of plug connections in reinforced concrete columns of precast-monolithic structures (Part 1). *Bulletin of Civil Engineers*. 2019;(2):35-42. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-2-35-42. EDN: GKZAQM. (In Russ.).
4. Turdalieva M. K. Experimental studies of thermal inhomogeneous external walls of a multi-storey residential building. *Academic research in educational sciences*. 2021;(1):863-867. (In Russ.).
5. Vatin N. I., Nemova D. V., Rymkevich P. P., Gorshkov A. S. Influence of building envelope thermal protection on heat loss value in the building. *Magazine of Civil Engineering*. 2012;(8):4-14. EDN: PJWLEX. (In Russ.).
6. Nemova D. V., Gorshkov A. S., Vatin N. I., et al. Technical and economic assessment on actions for heat insulation of external envelopes external walls of apartment building with the double-skin facade. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014;(11):70-84. EDN: TEDZFN. (In Russ.).
7. Cherepov V. D., Druzhinina M. A. Analysis of the feasibility of major repairs of apartment buildings of III and IV capital groups (on the example of Yoshkar-Ola): monograph. Yoshkar-Ola: Volga State University of Technology, 2018. 217 p. (In Russ.).
8. Danilova N. I. Modern methods of insulation of building facades and the influence of thermal insulation of external walls on the energy saving of a building. *Bulletin of Science*. 2023;4(12):1441-1447. EDN: XYMYHD. (In Russ.).
9. Pavlycheva E. A., Pikalov E. S. Modern energy-efficient structural and facing building materials. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2020;(7):76-87. EDN: TJASPQ. (In Russ.).
10. Nikolaenko R. A., Ermoolenko M. V., Stepanova O. A. Influence of thermal insulation moistening on the amount of heat loss in heating networks. *Young scientist*. 2014;(6):207-210. EDN: SBZUIH. (In Russ.).

The manuscript was submitted on 04.12.2024; reviewed on 17.12.2024;
adopted for publication on 27.01.2025

Information about the authors

ANISIMOV Sergei Nikolaevich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Technologies and Roads, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Research interests – construction materials science. Author of more than 80 publications. E-mail: AnisimovSN@volgatech.net

LOMONOSOVA Tatiana Ionovna – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Technologies and Roads, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Research interests – economics in construction. Author of more than 20 publications. E-mail: LomonosovaTI@volgatech.net

ILINA Irina Rodionovna – Master's student of the Department of Construction Technologies and Roads, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Research interests – energy efficiency of buildings. E-mail: IlyinaIrina231@gmail.com

LESHKANOV Andrei Iurevich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Technologies and Roads, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Research interests – construction materials science. Author of more than 50 publications. E-mail: LeshkanovAI@volgatech.net

Contribution of the authors:

Anisimov S. N. – scientific supervision, development of methodology, conducting the experiment, proofreading the article;

Lomonosova T. I. – interpretation of results, proofreading the article;

Ilyina I. R. – conducting the experiment, processing and analyzing experimental data, drafting the article;

Leshkanov A. Iu. – conducting the experiment, proofreading the article.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

The authors reviewed and approved the final version of the manuscript.

Научная статья

УДК 666.973.2/624.011.15

<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.29>

EDN: UYZBPR

Анализ потенциальной емкости рынка и объемов потребления стеновых строительных материалов, ориентированных на индивидуальных застройщиков, применительно к технологии древесно-минеральных композитов

С. Н. Долматов[✉]

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнёва
(г. Красноярск)
pipinaskus@mail.ru[✉]

Аннотация

Введение. Обеспечение комплексного безотходного использования лесных ресурсов, в том числе низкокачественной древесины и отходов, – важная задача, стоящая как перед лесопользователями, так и перед представителями органов власти. Использование древесного сырья может идти по различным направлениям, но прежде всего необходимо найти высоколиквидную конкурентоспособную продукцию, которая может выпускаться на основе этих ресурсов, и определить сферу и объемы ее потребления. Теплоизоляционно-конструкционные материалы являются такой продукцией, активно потребляемой динамично развивающейся сферой многоэтажного и индивидуального строительства.

Цель работы – анализ потенциальной емкости рынка и объемов потребления теплоизоляционно-конструкционных материалов – древесно-минеральных композитов для индивидуального домостроения. Для этого решались следующие *задачи*: проанализировать тенденции, темпы и объемы жилищного строительства в РФ, определить особенности технологий индивидуального домостроения, оценить перспективы и объемы потенциального применения древесно-минеральных композитов в качестве стенового материала. *Объектом исследования* является конструкционно-теплоизоляционный материал – арболит, представляющий собой легкий бетон на органическом наполнителе, и его место на рынке строительных материалов.

Методы исследования. В ходе работы анализировались литературные источники, выдвигались гипотезы, использовались методы абстрагирования, обобщения, анализа и синтеза.

Результаты. Сфера жилищного строительства является драйвером, обеспечивающим сдачу миллионов квадратных метров жилья и развитие смежных производств и логистики строительных материалов. Темпы роста объемов жилищного строительства достигают 15...17 % в год. С 2021 года имеется устойчивая тенденция превышения объемов ввода жилья, построенного населением, над объемами ввода многоквартирных домов. Выявлен тренд на повсеместную экономию и снижение уровня потребления индивидуальных застройщиков. Дома строятся в одноэтажном исполнении, сравнительно небольшой (80...120 м²) площади. Современный застройщик избегает сложной, дорогой и трудозатратной многослойной конструкции стены. Лидером на рынке стеновых материалов является газобетон, объемы производства которого превысили 15 млн м³. Древесно-минеральные композиты не уступают, а по ряду показателей превосходят газобетон и каркасные технологии домостроения, могут полностью заместить объемы применения этих материалов и технологий.

Выводы. Проведенный анализ темпов и объемов жилищного строительства в России позволяет сделать вывод о ведущей роли отрасли, обеспечивающей жильем население, содействующей бесперебойной работе банковской сферы ипотеки и кредитования, множества производств, занятых выпуском строительных и отделочных материалов, логистических центров и транспортных компаний. Древесно-минеральные композиты, являясь конкурентоспособным материалом, могут успешно занять весомый сектор рынка стеновых строительных материалов.

Ключевые слова: строительство; индивидуальное жилье; газобетон; каркасные технологии; древесно-минеральный композит.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Для цитирования: Долматов С. Н. Анализ потенциальной емкости рынка и объемов потребления стеновых строительных материалов, ориентированных на индивидуальных застройщиков, применительно к технологии древесно-минеральных композитов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2025. № 1 (33). С. 29–46. <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.29>; EDN: UYZBPR

Введение

Жилищное домостроение в России относится к динамично развивающимся отраслям промышленности, являясь локомотивом для ряда смежных отраслей. По сведениям Росстата, в РФ количество возведенных объектов жилищного строительства с 2018 по 2023 год увеличилось на 34,738 млн м². Интенсивный рост темпов и объемов жилищного домостроения способствует развитию строительной отрасли и экономики страны.

Цель исследования – анализ потенциальной емкости рынка и объемов потребления теплоизоляционно-конструкционных материалов – древесно-минеральных композитов для индивидуального домостроения.

Для достижения цели исследования решались следующие **задачи**:

- 1) проанализировать тенденции, темпы и объемы жилищного строительства в Российской Федерации;
- 2) определить особенности технологий индивидуального домостроения (площадь, этажность, технологии);
- 3) оценить перспективы и объемы потенциального применения древесно-минеральных композитов в качестве стенового материала.

Объектом исследования являются конструкционно-теплоизоляционный материал – арболит, представляющий собой легкий бетон на органическом наполнителе (древесно-минеральный композит), и его место на рынке строительных материалов.

Методы исследования: анализ литературных источников, выдвижение гипотез, абстрагирование, обобщение, анализ и синтез.

Результаты и их обсуждение

Тенденции, темпы и объемы жилищного строительства в РФ

В настоящее время в России интенсивно развивается сфера жилищного строительства. Она является настоящим драйвером развития, обеспечивая смежные отрасли заказами, финансированием и занятостью. Растут объемы как индивидуального, так и многоэтажного строительства. Согласно статистическим данным [1], рост объемов жилищного строительства за пять лет вырос с 75,7 млн до 110 млн м² (рис. 1). За последние три года объемы жилья, построенного населением, превышают объемы жилищного строительства в многоквартирных домах.

Несмотря на ряд сложностей экономического характера, население РФ за последние 10 лет существенно улучшило свои жилищные условия. Общая площадь жилых помещений, приходящихся на одного жителя, увеличилась с 24,7 м² в 2013 году до 30,36 м² в 2023 году, или на 19 %. Причем каждый год имела место устойчивая положительная динамика роста (рис. 2) [2].

Что касается средней площади домов индивидуальной постройки, то за период с 2013 по 2023 год их площадь менялась разнонаправленно с амплитудой до 10 м², в основном находясь в районе 135 м² (рис. 3) [3].

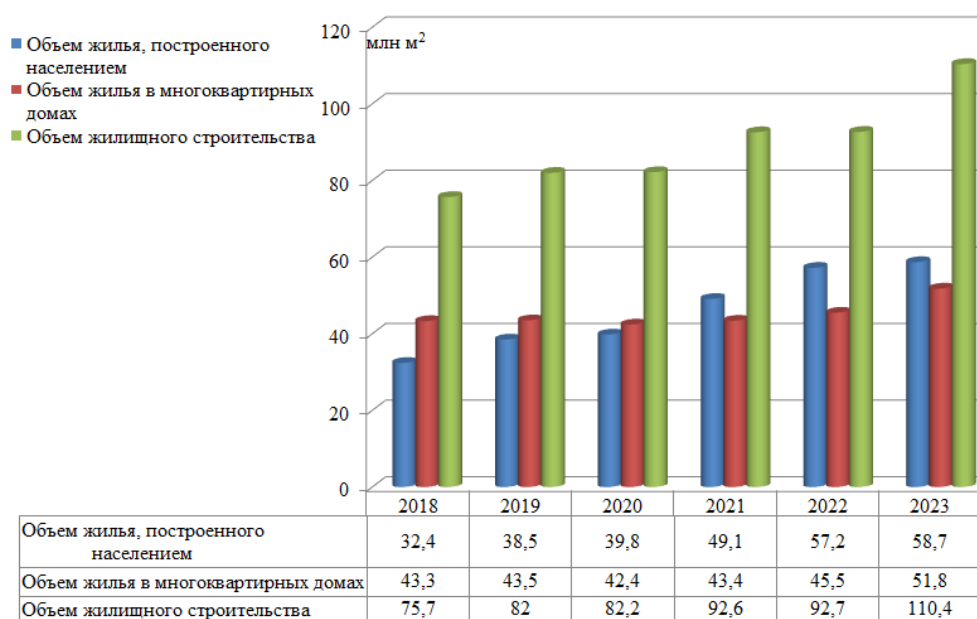


Рисунок 1. Темпы и объемы жилищного строительства
Fig. 1. Rates and volumes of housing construction

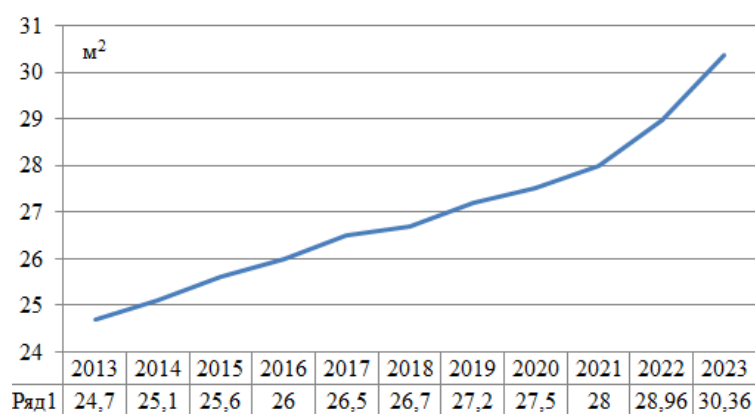


Рисунок 2. Площадь жилых помещений, приходящихся на одного жителя
Fig. 2. Area of residential premises per inhabitant

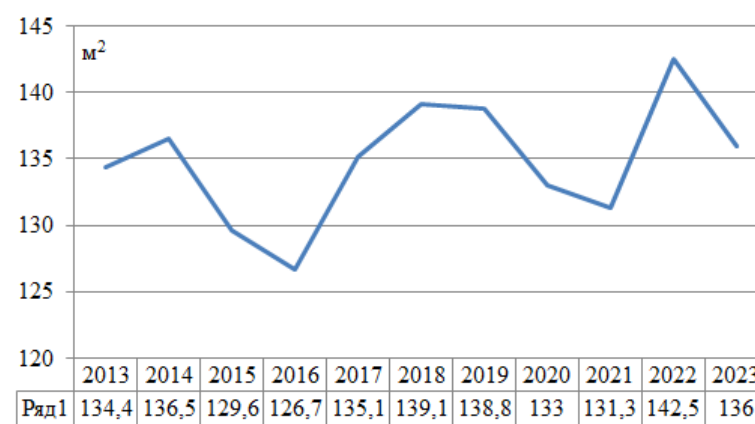


Рисунок 3. Площадь домов индивидуальной постройки
Fig. 3. Area of individual houses

Безусловно, средняя площадь дома индивидуальной застройки превышает среднюю площадь квартиры в многоквартирном доме. Вместе с тем время домов из 90-х годов с площадью 250...300 м² прошло, а объекты столь значительной площади сейчас строятся единично весьма состоятельными, платежеспособными застройщиками. Причина этого – рост затрат на возведение и содержание объекта индивидуального жилищного строительства. Тарифы на электроэнергию, газ возросли многократно, как и цена угля, дров, сжиженного газа, используемых для отопления. Сама парадигма проживания в индивидуальном доме изменилась, перейдя из области строений с обязательным наличием бассейнов, спортивных кинозалов, саун к рациональному обоснованному планированию назначения и минимизации площадей жилых помещений и оптимизации технологий строительства.

В связи с этим весьма обострился вопрос об обоснованности применения тех или иных технологий и строительных материалов. Какие-то технологии и материалы, например дерево, являющиеся традиционными материалами для регионов, обеспеченных лесными массивами, из области массовых перешли в категорию премиум-сегмента. Построить качествен-

ный дом из клееного профилированного бруса, 1 м³ которого стоит сейчас от 58 тыс. руб., сегодня могут позволить себе немногие.

Социальное расслоение населения и низкая привлекательность ряда регионов, по сравнению с городами европейской части страны, особенно с Москвой, Санкт-Петербургом, Казанью, формирует практическую недоступность жилья в виде промышленных форм массовой застройки девелоперами. По данным [4], в 2008 году отношение максимальной величины жилищного капитала на душу населения в Москве к минимальной в Чеченской Республике составляло 12,54 раза. Не удивительно, что более 80 % объемов жилой застройки Чечни – это частные дома. По данным Росстата за длительный период наблюдений, доля ИЖС Москвы, Санкт-Петербурга составляет 20...25 %, а такие регионы, как Бурятия, Алтай, Курган, Красноярский край, Иркутская область, дают не менее 65...80 %. Одной из причин является диспропорция доходов населения центральных и периферийных областей.

Динамика коэффициента доступности жилья на первичном и вторичном рынках для России в целом начиная с 1996 года представлена на рисунке 4 [5].

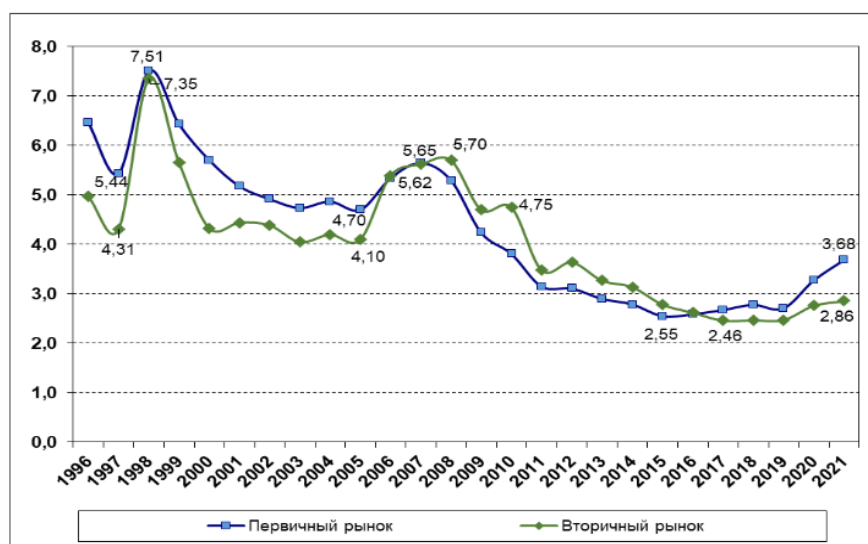


Рисунок 4. Коэффициент доступности жилья на первичном и вторичном рынках жилья в среднем по РФ (количество лет)

Fig. 4. Housing affordability ratio in the primary and secondary housing markets, on average in the Russian Federation (number of years)

В России коэффициент доступности жилья рассчитывается как длительность периода (лет), в течение которого семья из трех человек со средним уровнем дохода на душу населения, откладывая весь свой доход, может купить двухкомнатную квартиру обычного (не премиум) жилфонда площадью 54 м². По данным графика четко прослеживается тенденция роста длительности срока накопления при наличии кризисов как внутрироссийских, так и мировых (1998-, 2008-й годы). Мысленно продлив график на период 2022-2023 годов, с учетом имеющихся на этот период событий в стране и мире можно прийти к выводу, что срок накопления не может быть меньше 5...6 лет. А это уже предельные величины, делающие покупку жилья малореальной.

При ограниченной возможности купить квартиру многие приходят к мысли о возможной постройке частного дома. В этом случае за счет снижения качества строительства, теплотехнических показателей эффективности, широкого привлечения собственного труда и труда членов семьи возможно возведение существенно более доступного объекта ИЖС.

Особенности технологий индивидуального домостроения

Ориентация практически исключительно на свои собственные силы и ресурсы приводит к тому, что индивидуальный застройщик вынужден выбирать не оптимальные энергосберегающие технологии и материалы, а максимально дешевые и доступные на рынке. По оценке ВТБ, с привлечением заемных средств строится только один из десяти индивидуальных домов, тогда как по квартирам это соотношение составляет восемь к десяти [6].

Резкое ужесточение требований к энергосбережению требует коренного пересмотра конструктивного исполнения ограждающих конструкций. Традиционные конструкции в виде массивных стен из материалов высокой плотности уже не обеспечивают показателей энергосбере-

жения. Относительный тепловой комфорт в помещении достигается уже при величине $R = 1 \dots 1,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$, однако требования нормативных документов предусматривают гораздо более высокие теплоизоляционные показатели конструкции, особенно для суровых климатических условий Сибири и Дальнего Востока.

Нормативная величина сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции для климатических условий г. Красноярска, по требованиям [7], составляет $R = 3,6 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$. Однако в 2025 году индивидуальный застройщик Сибири все еще строит дом из сырого бруса сечением 150×150 мм, как говорится, «как деды завещали». Строит он так, поскольку брус в наличии, есть бригада, которая умеет за месяц сложить пятистенки в 100 м², стены конопатятся, изнутри штукатурятся по дранке, собирается нехитрая конструкция холодного чердака с кровлей из шифера, и, собственно, всё – дом готов.

Это осознанный выбор, поскольку что-то еще более дешевое придумать сложно, разве стены из самана или каркас с утеплением опилками. В таких домах родились, выросли и продолжают жить целые поколения. Расчетная величина сопротивления теплопередаче такой конструкции (для условий Красноярского края) составляет 1,07 (м²·°C)/Вт [8]. И это в 3,36 раза меньше нормативной величины.

При выборе строительного материала для малоэтажного строительства важно обоснованно подобрать материал, обладающий оптимальным соотношением прочностных, теплоизоляционных показателей. Потери тепла ограждающей конструкции приводят к росту расходов на отопление объекта, а это существенные финансовые потери.

Обширно представлено в средствах массовой информации обсуждение мер развития деревянного домостроения. В рамках федерального проекта «Жильё»

реализуется задача по расширению практики деревянного индивидуального и малоэтажного домостроения в пилотных регионах (Архангельская, Иркутская, Кировская области, Забайкальский край и Республика Коми). Программа предусматривает стимулирование производства и потребления домов промышленного изготовления.

Согласно данным Росстата, по итогам 2021 года объёмы строительства деревянного жилья в России составили 10,8 млн м², или 11 % от общего объема введенного жилья. В 2022 году было построено 14,2 млн м².

Общий оптимизм органов власти и застройщиков вызывает технология CLT (Cross Laminated Timber). На сайте компании «Промстройлес» говорится, что группа компаний «Промстройлес» первой в России освоила индустриальное производство CLT-плит с 2012 года. Также на сайте компании приводится информация о том, что, по оценке европейских и американских аналитиков в области тенденций развития строительных материалов, в ближайшие тридцать лет строительная наука не сможет придумать ничего лучшего, чем CLT-технология [9].

Но так ли это? Рассматривая технологию производства CLT-панелей, следует признать, что крупнопанельное промышленное производство – это, вне всякого сомнения, основа технологии недорогих, быстровозводимых домов с минимизацией затрат непосредственно на строительство. Что же касается самого материала панелей, то это набор из склеенных и сбитых гвоздями досок. Причем для выпуска CLT необходимы достаточно качественные обрезные сухие пиломатериалы. Выход таких пиломатериалов не может превышать 50...55 % от объема перерабатываемого пиловочника. И 45...50 % – это отходы лесопиления, которые нужно утилизировать. Для производства пиломатериалов необходим дорогостоящий пиловочник, а также

серьезные лесопильно-сушильные производства.

CLT – достаточно дорогая технология. Из доклада члена правления Ассоциации деревянного домостроения Юлии Юрловой стало известно, что стоимость строительства 1 м² (тепловой контур, без внутренней отделки) дома из клеёного бруса в среднем начинается с 75 тыс. рублей, каркасного дома – 70 тыс. рублей [10]. Таким образом, тепловой контур индивидуального дома площадью 100 м² обойдется застройщику не менее чем в 7...7,5 млн рублей. Для большинства слоев населения это просто неподъемная сумма.

Логика появления CLT-технологии достаточно очевидна. Для получения необходимых величин сопротивления теплопередаче требуется ограждающая конструкция значительной толщины. В общем случае сопротивление теплопередаче определяется по зависимости

$$R = \frac{\delta_s}{\lambda_s}, \quad (1)$$

где λ_s – коэффициент теплопроводности, Вт/(м²·°C);

δ_s – толщина слоя материала, м.

То есть чем больше толщина стены и меньше коэффициент теплопроводности, тем ближе искомая величина к желаемым нормативным показателям R . Для древесины самых распространенных в России пород плотностью 600...750 кг/м³, например, для условий Красноярского края ($R = 3,6$ (м²·°C)/Вт) необходима толщина деревянной стены не менее 600 мм. Логично, что такие показатели просто недостижимы при строительстве из цельного бруса.

На сайте компании «Промстройлес» есть информация о том, что компанией выпускаются плиты «CLT-термо», имеющие сопротивление теплопередаче от $R = 1,7$ (м²·°C)/Вт при толщине плиты 120 мм до $R = 7,5$ (м²·°C)/Вт при толщине

плиты 280 мм. Возможно, на сайте компании опечатка, но при таких показателях ($R = 7,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ и 280 мм) коэффициент теплопроводности материала плиты составит

$$\lambda_s = \frac{0,28}{7,5} = 0,037 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

Этот показатель достаточно близко соответствует экструзионному пенополистиролу ($0,032...0,035 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$), но никаким образом не может относиться к древесине и древесным материалам. Но тогда причем здесь древесина? И где и как она может быть учтена при таких заявленных показателях материала? Таким образом, рассматривая CLT, имеем достаточно дорогостоящую технологию, требующую качественного исходного сырья (сухие пиломатериалы), и средние теплотехнические показатели конечного изделия. Кроме того, древесина относится к сгораемым материалам, что также накладывает определенные ограничения на застройщика.

Рост темпов и объемов деревянного каркасного домостроения и распространение CLT-технологий во многом обусловлены международными санкциями, которые резко ограничили возможность экспорта пиломатериалов из России на традиционные рынки потребления российских пиломатериалов. Экспорт пиломатериалов, как и доход производителей из России, существенно снизился. За 2024 год экспорт составил около 17,5 млн м³, что на 10 % ниже уровня 2023 года и на 20 % ниже уровня 2022 года [12]. То есть созданся определенный «избыток» мощностей лесопиления и объемов пиломатериалов на внутреннем рынке. Объемы же заготовки круглых лесоматериалов, их товарность в лучшем случае находятся на устойчивом плато, а возможно, их ожидают скорый спад и стагнация из-за преобладающей экстенсивной технологии лесопользования, истощения лесосырьевых баз, недостаточных темпов лесовос-

становления, высокой горимости лесных массивов, несовершенства транспортно-логистических цепей доставки. Поэтому, как только режим санкционного давления будет снят, на рынке избыток предложения пиломатериалов исчезнет, и технологии каркасного и CLT-домостроения начнут испытывать дефицит сырья, станут еще дороже и еще менее привлекательны.

Не спасают ситуацию попытки повышения теплотехнических показателей за счет размещения внутри CLT-панелей пенопластов и минеральных ват. Любые многослойные конструкции неизбежно усложняют и удорожают конечный объект строительства, вносят риск возможных нарушений технологии и применения некачественного материала. Сложный «пирог» стены не исключает появления точек росы в самых неожиданных местах, нарушения паропропускания и микроветтиляции. Фактическая тепловая эффективность такой многослойной конструкции часто существенно ниже расчетной.

В работе [11] выявлено, что максимальная величина несоответствия расчетного и фактического термического сопротивления имеет место в конструкциях с утеплителем, где зафиксированы отклонения в сторону ухудшения показателей до 56 % от нормативного. Причина этого – нарушения при строительстве, неправильный монтаж теплоизоляции, несоблюдение допусков, размеров и зазоров.

Если сформулировать основные требования к технологии и материалам, обеспечивающим высокую доступность в плане обеспечения возможности оперативного строительства объектов малоэтажного жилья, то это будут следующие позиции:

- 1) возможность типового крупнопанельного строительства;
- 2) возможность варьирования показателей конструкции не только за счет толщины стенового материала, но и за счет изменения свойств самого материала;

3) доступность сырья, необходимого для производства материалов;

4) простота технологии производства, возможность ее реализации без существенных капитальных затрат, связанных с приобретением дорогостоящего технологического оборудования, пакетов промышленных прикладных программ, расходных материалов;

5) «конкурентная нейтральность» материалов, исключая или сводящая к минимуму внутреннюю конкуренцию за источники сырья или место на рынке;

6) простота технологии строительства, нетребовательность к квалификации рабочих, осуществляющих монтаж;

7) минимальная номенклатура строительных материалов, фурнитуры, защитных пленок, утеплителей, необходимых

для строительства;

8) низкие требования к качеству фундамента;

9) возможность круглогодичного строительства;

10) негорючесть материала;

11) низкая цена материала.

Проведем сравнение основных технологий малоэтажного индивидуального строительства, основываясь на требованиях, приведенных выше. Опираемся на необходимость получения строения с равными теплотехническими показателями. Например, если это стена из газобетона толщиной 400 мм, то соответствовать ей будет стена из бруса 150 мм с последующим утеплением минеральной плитой 100 мм. Результаты представим в виде таблицы 1.

Таблица 1. Сравнение технологий индивидуального строительства

Table 1. Comparison of individual construction technologies

Позиция	Строительство из бруса (брус естественной влажности)	Классический деревянный каркас	CLT-технология	Газобетон автоклавного твердения (блоки)	Древесно-минеральный композит (арболит панели)
1	–	+	+	–	+
2	–	–	–	+	+
3	+	–	–	+	+
4	+	+	–	–	+
5	–	–	–	+	+
6	+	–	+	+	+
7	–	–	+	+	+
8	+	+	+	–	+
9	+	+	–	–	+
10	–	–	–	+	+
11	–	+	–	+	+
Сумма	5	5	4	7	11

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что технология строительства из древесно-минерального композита (арболита) имеет максимальное число положительных качеств. На втором месте технология автоклавного газобетона.

Автоклавный газобетон и древесно-минеральные композиты в качестве стеновых материалов

Автоклавный газобетон совсем не является новинкой. В 2023 году материал

отметил 100-летие с момента своего появления. Изделия из ячеистого бетона находят широкое применение в строительстве. Газоблоки удачно совмещают несущие и ограждающие функции в строительстве малоэтажных зданий (до 3-х этажей). Их активно используют при возведении многоэтажных зданий для выполнения ограждений и внутренних перегородок [13; 14]. Автоклавный ячеистый бетон – один из немногих материалов, который применяют для устройства однослойных наруж-

ных стен. Их сопротивление теплопередаче не только удовлетворяет требованиям строительных норм, но и значительно их превышает. В современных домах с различными конструктивными системами толщина наружных стен, как правило, составляет не менее 400 мм.

Древесно-минеральные композиты – давно известный материал. Первые упоминания о применении древесных наполнителей в сочетании с портландцементом относятся к 1930-м годам. Острая потребность в строительных материалах в период первых пятилеток стимулировала исследовательские работы в области доступных строительных материалов из местного сырья. Рост интереса к технологиям древесно-минеральных композитов произошел в послевоенное время и был связан с необходимостью оперативного восстановления разрушенных городов, а также остро стоящим вопросом обеспечения жильем интенсивно осваиваемых территорий Западной и Восточной Сибири, Урала, Дальнего Востока.

В 1960–70-е годы достаточно успешно развивались технологии промышленного производства древесно-минеральных, арболитовых панелей. Существовали промышленные предприятия, выпускавшие как штучные блоки, так и комплекты панелей, предназначенных для сборки домов индустриальным способом. За рубежом примерно в это же время получили развитие технологии древесно-минеральных композитов Durisol и Velox.

В настоящее время заводы по производству древесно-цементного бетона под названием Durisol имеются в Евросоюзе, Канаде, Украине, Израиле, Японии, Индии и Индонезии. Особенно привлекательным выглядит тот факт, что наряду с высокими потребительскими эксплуатационными свойствами, древесно-минеральный композит может производиться из измельченных древесных отходов и низкокачественной древесины.

В качестве сырья может применяться низкокачественная древесина, объемы от-

ходов которой весьма значительны. Применение измельченной древесины в составе строительного материала придает материалу высокие теплоизоляционные, прочностные показатели [15–17], а также способствует сокращению объемов древесных отходов, которых ежегодно в РФ образуется не менее чем 68–74 млн м³, а используется и перерабатывается не более 48–58 млн м³, т. е. около 30–36 млн м³ отходов остается бесхозной [18; 19].

Следует признать, что жилищное строительство является локомотивом для большого количества отраслей экономики, поскольку потребляет львиную долю строительных, теплоизоляционных, декоративных облицовочных материалов, энергии, логистических услуг. Строительство индивидуальных жилых домов на территории Сибирского федерального округа не требует вывода из эксплуатации и выкупа существующего жилфонда, поскольку имеются значительные относительно свободные, незастроенные территории. Такое строительство подразумевает активное участие собственника и членов его семьи, что позволяет повысить экономичность такого строительства и обеспечить полезное проведение досуга и в какой-то степени отдыха, если под этим термином понимать смену вида трудовой деятельности. Совместный труд по строительству собственного дома объединяет членов семьи, формируя устойчивые мотивационные связи.

За последние 15 лет в Сибирском федеральном округе индивидуальными застройщиками было введено в эксплуатацию 16 311 тыс. м² индивидуальных домов, в Красноярском крае – 2 585 тыс. м². На рисунке 5 представлена диаграмма темпов индивидуального строительства в СФО. С учетом выявленной динамики прогноз объема ввода в эксплуатацию индивидуального жилья на 2040 год составит 5 726 тыс. м².

В соответствии с полиномом прогноза объемов жилищного строительства, общая площадь объектов индивидуального жилищного строительства, возводимых еже-

годно, составит, например, в 2030 году до 4500 тыс. м².

Предположим, что благодаря различным мерам стимулирования и популяризации до 50 % индивидуальных домов будет построено по технологиям, основанным на применении легких бетонов, в том числе и

древесно-минеральных композитов. Тогда потенциальный объем потребления таких материалов за расчетный период составит более 1 575 000 м³ в год. И это только внутренний рынок региона. Какое же место могут занять в этом объеме древесно-минеральные композиты?



Рисунок 5. Динамика индивидуального жилищного строительства в СФО

Fig. 5. Dynamics of individual housing construction in the Siberian Federal District

Благодаря оптимальному сочетанию показателей прочности, теплопроводности, невысокой стоимости на рынке строительных материалов для малоэтажного домостроения легкие бетоны заняли устойчивое положение в качестве теплоизоляционно-конструкционного материала. И безуслов-

ный лидер сегодня – газобетон автоклавного твердения. Согласно данным Национальной ассоциации производителей автоклавного газобетона, доля автоклавного газобетона в общем объеме штучных стеновых материалов в 2023 году составила 53 % (рис. 6).

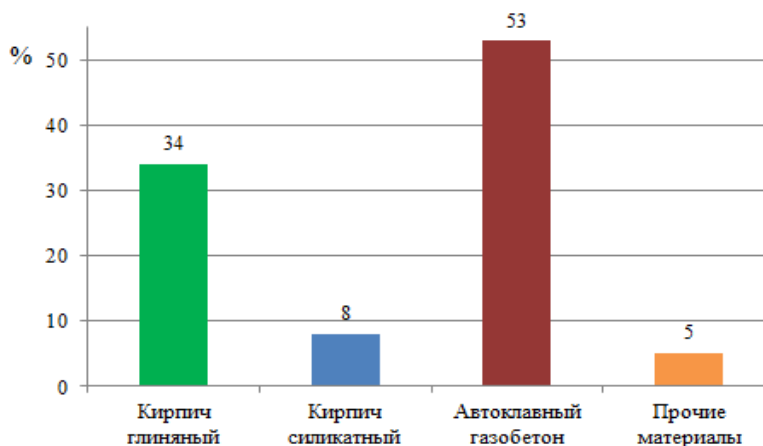


Рисунок 6. Доля различных строительных материалов в общем объеме потребления штучных стройматериалов

Fig. 6. The share of various building materials in the total volume of consumption of piece building materials

Общий объем производства автоклавного газобетона в России в 2023 году составил 15,4 млн м³, на долю Сибирского федерального округа приходится

около 12,7 % от общего объема его производства [20]. На рисунке 7 приведены данные по объему выпуска газобетона автоклавного твердения.

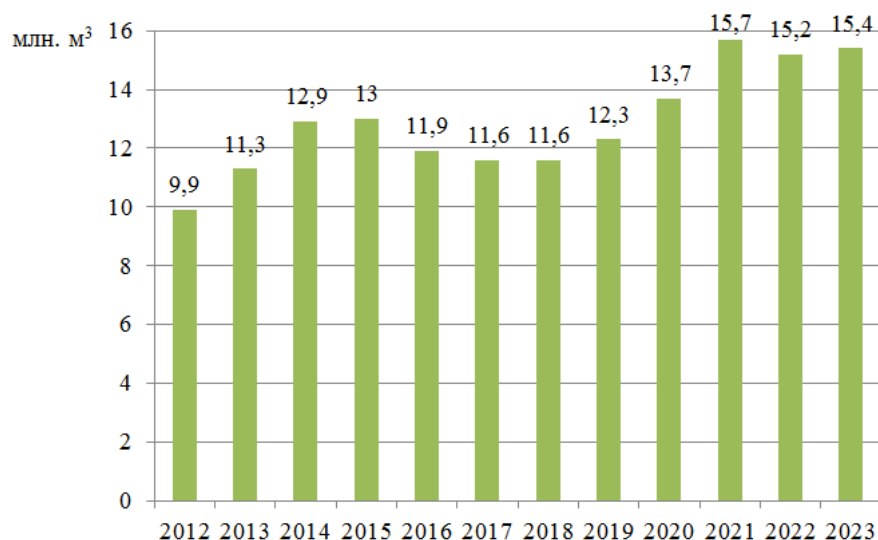


Рисунок 7. Объем производства газобетона автоклавного твердения в РФ [20]

Fig. 7. Volume of production of autoclaved aerated concrete in the Russian Federation

Удельное потребление автоклавного газобетона в расчете на единицу площади

жилищного строительства представлено на рисунке 8.

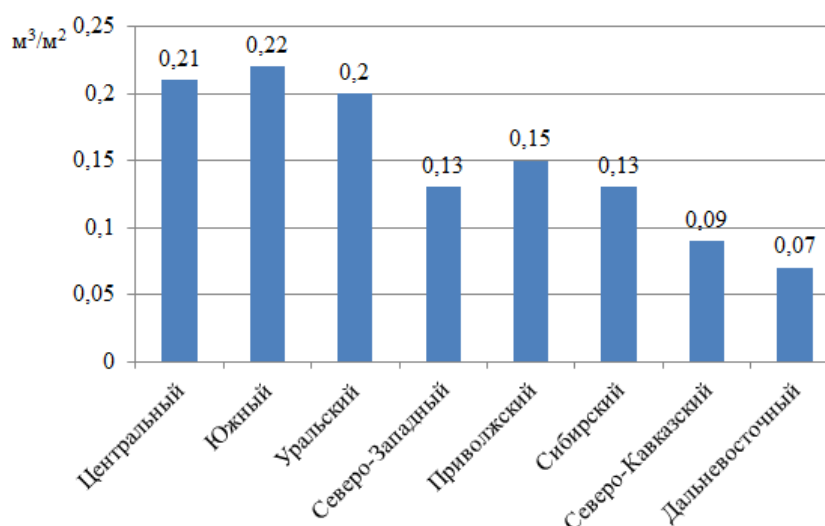


Рисунок 8. Удельное потребление газобетона на единицу площади [20]

Fig. 8. Specific consumption of aerated concrete per unit area

В исследованиях, посвященных анализу строительного рынка Национальной ассоциации производителей автоклавного газобетона, четко прослеживается тенденция повсеместной экономии и снижения

уровня потребления индивидуальных застройщиков. Дома строятся в одноэтажном исполнении сравнительно небольшой площади (80...120 м²). При малейшей возможности застройщик избегает слож-

ной, дорогой и трудозатратной многослойной конструкции стены, прибегая к увеличению толщины стены или к изготовлению ее из газобетона низкой плотности (D300, D400).

Однослойные стены можно отнести к современным трендам строительной индустрии. Применение простой однослойной стены позволяет реализовать следующие преимущества:

- 1) простоту строительства, исключая возможность ошибок, связанных с нарушениями норм и правил монтажа слоев пирога многослойной стены;
- 2) простоту и дешевизну внутренней и наружной отделки;
- 3) прогнозируемое расположение точки росы, исключение из конструкции ветро- и пароизоляции;
- 4) длительный срок службы, возможность оперативного и несложного ремонта;
- 5) высокую тепловую инерцию стены, стабилизирующую перепады температур в помещении;
- 6) отсутствие в конструкции теплотехнических неоднородностей, металлических крепежных элементов, закладных и т.п.;
- 7) возможность изготовления массивных панелей индустриальным способом по простой и доступной технологии.

Древесно-минеральные композиты, сохраняя положительные качества автоклавного газобетона, такие как возможность варьировать в широких пределах марочную прочность и плотность, негорючесть, низкую теплопроводность, доступность сырья, низкие требования к квалификации строителей, кроме того, позволяют снизить до минимума требования к качеству фундамента, что особенно важно при строительстве в условиях вечной мерзлоты или сейсмической активности [21]. Изготовление крупных панелей простейшим способом вибропрессования не требует применения дорогостоящего оборудования зарубежного производства и позволяет непосред-

ственно в момент формовки панели покрывать ее облицовочным слоем декоративной штукатурки.

Очевидное предпочтение технологии древесно-минеральных композитов следует отдавать в регионах, где ведутся интенсивные лесозаготовки и развита лесопереработка. Сибирский федеральный округ является таким регионом. Строительная отрасль СФО активно развивается. По данным [22] в 2022 году построено 8288 тыс. м² жилых помещений. Следовательно, потребление автоклавного газобетона составило не менее 1 млн м³.

По укрупненной оценке, объем древесных отходов только на территории Красноярского края составляет ежегодно не менее 4 млн м³. Работа котельных на щепе, выработка древесных пеллет позволяет утилизировать не более 1 млн м³ отходов. Остается еще не менее 3 млн м³. Вовлечение этих ресурсов потенциально позволяет получить не менее 7 млн тонн древесно-минеральных композитов. Для локального рынка потребления СФО это избыточный объем. Но если выделить не общий объем отходов как процентную долю объема лесозаготовок, а реальные экономически доступные ресурсы, находящиеся в транспортной доступности, то их потенциальный объем будет существенно меньше.

При благоприятном прогнозе блоки и панели из древесно-минеральных композитов могут заместить весь объем газобетона, т.е. не менее 1 млн м³. Производство блоков или панелей может быть размещено в непосредственной близости от объектов строительства и мест концентрации древесных отходов. Логистика цемента – основного компонента, необходимого при производстве древесно-минеральных композитов, – хорошо отработана и не вызывает затруднений.

Особенностью ряда удаленных районов Сибири и Дальнего Востока являются значительные расстояния (до нескольких тысяч километров) до мест концентрации

промышленного производства, транспортных узлов. Причем в этих районах могут быть расположены серьезные промышленные предприятия, связанные с добычей нефти, газа, алмазов, полиметаллических руд, угля. Доставка промышленного оборудования, строительных материалов, продуктов в такие районы достаточно затруднительна и проводится в рамках северного завоза.

Северный завоз – комплекс ежегодных государственных мероприятий по обеспечению территорий Крайнего Севера Сибири, Дальнего Востока и европейской части России основными жизненно важными товарами и продуктами в преддверии зимнего сезона. Практически ежегодно северный завоз встречает на своем пути ряд чрезвычайных ситуаций (обмеление рек, погодные явления). В последние годы ситуация значительно усугубляется изменением навигационных условий, вызванных глобальными климатическими явлениями.

Необходимым условием совершенствования транспортной инфраструктуры северных регионов России является развитие Северного морского пути. Комплексное развитие Севморпути подразумевает систему согласованных и взаимосвязанных экономических, технологических, организационных и правовых мероприятий, позволяющих с максимальной выгодой для государства и населения экстремальных территорий обеспечить перевозку грузов [23].

В полной мере проблемы северного завоза относятся к транспортировке строительных материалов. Высокоэффективные теплоизоляционные материалы обладают весьма низкой плотностью, поэтому перевозка минеральных и каменных ват, пенопластов представляет собой весьма специфический процесс, когда транспортная единица (контейнер или трюм корабля) оказывается полностью заполненной исходя из объема и совершенно недогруженной исходя из допу-

стимой грузоподъемности. Перевозить пористые бетоны на большие расстояния с несколькими перевалками груза также невыгодно из-за их низкой плотности, хрупкости.

Организовать же на месте производство, допустим, автоклавного газобетона просто невозможно, поскольку завод по производству такой продукции требует многомиллиардных вложений и обширного рынка сбыта, хорошей логистики и транспортной доступности. Ничего этого на Севере России нет. Поэтому производство древесно-минеральных блоков и панелей из местного древесного сырья и привозного цемента – один из способов эффективного обеспечения строительными материалами удаленных регионов.

Внедрение переработки низкокачественной древесины и отходов на удаленных территориях может параллельно решить вопрос обеспечения углеводородным топливом, которое на этих территориях в основном привозное. Речь идет о параллельном выпуске вместе с древесно-минеральными композитами биотоплива – древесных пеллет. Теоретически выделение федеральных средств на перевод муниципальных котельных с мазута на биотопливо позволит восстановить до санкционных объемы производства пеллет и древесных гранул [24].

Комплексная реализация подходов по переработке древесных отходов с возможностью выпуска как древесных пеллет, так и древесно-минеральных композитов позволяет удовлетворять как энергетические запросы, так и потребность в строительных материалах. Более того [25], в состав рецептур древесно-минеральных композитов может входить даже зола, получаемая при сжигании пеллет в котельных.

Выводы

Проведенный анализ темпов и объемов жилищного строительства в России позволяет сделать вывод о ведущей роли отрасли, обеспечивающей жильем населе-

ние, бесперебойную работу банковской сферы ипотеки и кредитования, множество производств, занятых выпуском строительных и отделочных материалов, логистических центров и транспортных компаний. В жилищном строительстве заняты миллионы граждан. Темпы роста объемов жилищного строительства достигают 15...17 % в год. Характерной чертой является превышение объемов жилья, построенного населением, над показателями ввода объектов многоэтажной застройки девелоперов.

Находясь в достаточно тяжелых экономических условиях, связанных с ростом тарифов, инфляцией, индивидуальный застройщик при проектировании и строительстве жилья разумно выбирает простые архитектурные формы, минимально обоснованную площадь строения, высокие теплотехнические характеристики применяемых материалов. Современным трендом стало применение конструкций однослойной стены, исключаяющей при-

менение сложных и дорогостоящих систем пленок, утеплителей и вентфасадов. Лидером среди стеновых материалов обоснованно стал газобетон автоклавного твердения, обеспечивающий выполнение ряда базовых показателей: тепловую эффективность, простоту и дешевизну технологии.

Значительные запасы лесных ресурсов обуславливают необходимость комплексного использования как стволовой древесины, так и древесных отходов. Производство древесно-минеральных композитов позволяет получить высокоэффективный конструкционно-теплоизоляционный материал, имеющий существенные конкурентные преимущества. Особенно ярко эти преимущества могут быть реализованы при условии производства таких материалов в непосредственной близости от мест строительства, например в удалённо расположенных районах страны, на Севере, в Сибири, на Дальнем Востоке.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ЕМИСС. Государственная статистика. Объем жилищного строительства. URL: <https://fedstat.ru/indicator/59263> (дата обращения: 08.11.2024).
2. ЕМИСС. Государственная статистика. Общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя. URL: <https://fedstat.ru/indicator/40466> (дата обращения: 08.11.2024)
3. ЕМИСС. Государственная статистика. Площадь домов индивидуальной постройки. URL: <https://fedstat.ru/indicator/34167> (дата обращения: 08.11.2024)
4. Янков К. В., Ноздрин Н. Н., Минченко М. М. Характеристика жилищной ситуации в регионах России // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2024. Т. 22, № 1. С. 116-152. DOI: 10.47711/2076-3182-2024-1-116-152. EDN: CUSWSJ.
5. Минченко М. М., Ноздрин Н. Н. Дифференциация регионов России по финансовой доступности жилья для населения // Системное моделирование социально-экономических процессов: труды 46-й Международной научной школы-семинара, Уфа, 09–15 октября 2023 года. Воронеж: Истоки, 2024. С. 447-453. DOI: 10.5281/zenodo.10955416. EDN: WRTZCN.
6. ВТБ ожидает роста выдачи ипотеки на частные дома в 2023 году на 30 %. URL: <https://realty.rbc.ru/news/6447d5439a7947844cd91904?from=soru> (дата обращения: 08.01.2025)
7. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Москва: Минрегион России, 2012. 97 с.
8. Михайлов И. Р., Абрамов Н. А., Долматов С. Н. Расчет тепловой эффективности деревянного дома в пакете Elcut // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 24–26 мая 2023 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2023. С. 745-748. EDN: OVBLAY.
9. CLT-технология (X-Lam). URL: <https://www.pslcomp.ru/clt-tehnologiya-stroitelstva-derevyannyh-domov> (дата обращения: 08.01.2025).
10. Деревянное домостроение в России – перспективы 2024 года. URL: <https://forestcomplex.ru/wh-building/derevyannoe-domostroenie-v-rossii-perspektivy-na-2024-god/> (дата обращения: 08.01.2025).

11. Анализ термического сопротивления ограждающих конструкций различного типа по результатам инструментальных измерений / П. Н. Тарасюк, Д. А. Ващенко, П. А. Трубаев, В. В. Радченко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 2. С. 152-158. EDN: TOUXEJ.
12. Россия в 2024 году продолжает снижать объемы экспорта древесины. URL: <https://roslesinforg.ru/news/in-the-media/rossiya-v-2024-godu-prodolzhaet-snizhat-obemy-eksporta-drevesiny/> (дата обращения: 08.01.2025)
13. Сажнев Н. П., Сажнев Н. Н., Галкин С. Л. Опыт производства и применения ячеисто-бетонных изделий автоклавного твердения в Республике Беларусь // Строительные материалы. 2008. № 1. С. 6-10. EDN: JPIXL.
14. Галкин С. Л. Перспективы применения автоклавного ячеистого бетона в современном жилищно-гражданском строительстве // Жилищное строительство. 2010. № 8. С. 20-23. EDN: MTGHSN.
15. Долматов С. Н., Колесников П. Г. Исследование тепловой эффективности ограждающих конструкций из древесно-цементных композитов // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. 39, № 4. С. 294-299. EDN: CXUKFH.
16. Макунина Я. С., Долматов С. Н. Анализ перспектив древесно-минеральных композитов в жилищном строительстве // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения: сборник материалов по итогам Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 21 октября 2022 года. Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, 2023. С. 145-149. EDN: POZUCQ.
17. Justification of the choice of wall material for low-rise construction / S. Dolmatov, A. Soboleva, S. Voinash [et al.] // E3s web of conferences: X International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-X 2024), Termez, Uzbekistan, 29–30 апреля 2024 года. Vol. 548. Les Ulis: EDP Sciences, 2024. P. 06004. DOI: 10.1051/e3sconf/202454806004. EDN: AZTKNQ.
18. Долматов С. Н., Колесников П. Г., Пережилин А. И. Освоение низкокачественной поврежденной древесины и древесных отходов в Красноярском крае // Сибирский лесной журнал. 2024. № 6. С. 88-100. DOI: 10.15372/SJFS20240611. EDN: GUXPJF.
19. Ковалев Р. Н., Долматов С. Н. Анализ сырьевого потенциала поврежденных лесов красноярского края в целях промышленного производства древесно-цементных композитов // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. 39, № 6. С. 483-491. EDN: QWQHGO.
20. НААГ. Статистика, собранная о рынке автоклавного газобетона. URL: <https://gazo-beton.org/> (дата обращения: 20.01.2025).
21. Dolmatov S., Kolesnikov P., Kamenchukov A., et al. Composite building materials from agricultural waste for house-building in seismic hazardous areas // AIP Conference Proceedings. 2024;2969:030020. DOI: 10.1063/5.0181868.
22. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2023: стат. сб. / Росстат. М., 2023. 1126 с.
23. Соколов Ю. И. Риски северного завоза // Проблемы анализа риска. 2019. Т. 16, № 4. С. 32-47. DOI: 10.32686/1812-5220-2019-16-4-32-47. EDN: JLHIDY.
24. Иваницкая И. И., Левина И. В., Фаузер В. В. Лесной кластер: новые реалии в современных условиях // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2023. Т. 3, № 2. С. 243-256. DOI: 10.34130/2070-4992-2023-3-2-243. EDN: AMOINO.
25. Долматов С. Н., Смертин Н. В. Влияние золы уноса на прочностные свойства древесно-цементных композитов // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. 39, № 1. С. 55-59. EDN: JNGTPU.

Статья поступила в редакцию 27.01.2025; одобрена после рецензирования 10.02.2025;
принята к публикации 26.02.2025

Информация об авторе

ДОЛМАТОВ Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры лесного инжиниринга, Сибирский государственный университет науки и технологий имени М.Ф. Решетнева, г. Красноярск. Область научных интересов – оборудование и технологии

лесного комплекса, вопросы комплексного освоения лесных ресурсов. Автор более 200 публикаций. E-mail: pipinaskus@mail.ru

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 666.973.2/624.011.15

<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.29>

EDN: UYZBPR

Analysis of the potential market capacity and consumption volumes of wall building wood-mineral composite materials meant for individual developers

S. N. Dolmatov[✉]

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology (Krasnoyarsk)

pipinaskus@mail.ru[✉]

Abstract

Introduction. Ensuring the integrated waste-free use of forest resources, including low-quality wood and byproducts, is an important challenge for both forest users and government officials. The use of wood raw materials can go in various directions, but first of all it is necessary to identify highly marketable competitive products that can be produced from these resources and to ascertain their demand and consumption volumes. Thermal insulation and structural materials are products that are in high demand within the rapidly evolving sectors of multi-storey and individual construction.

The aim of research is to analyze the potential market capacity and consumption volumes of thermal insulation and structural materials – wood-mineral composites for individual residential building. To achieve this objective, the following tasks were undertaken: to analyze the trends, rates and volumes of housing construction in the Russian Federation, to determine the features of individual housing construction technologies, to assess the prospects and volumes of potential use of wood-mineral composites as a wall material. *The focus of research* is arbolite, a structural and thermal insulation material composed of lightweight concrete with an organic filler, and its position within the building materials industry.

Materials and methods. In the course of the work, literary sources were analyzed, hypotheses were put forward, methods of abstraction, generalization, analysis and synthesis were used.

Research outcomes. The housing construction sector is a driver that ensures the delivery of millions of square meters of housing and the development of related industries and logistics of building materials. The growth rate of housing construction volumes reaches 15 to 17 percent per year. Since 2021, there has been a steady trend of exceeding the volume of housing commissioning built by the population over the volume of multi-apartment buildings. A trend towards widespread savings and a decrease in the level of consumption of individual developers has been identified. Houses are built in a single-story design, with a relatively small area ranging from 80 to 120 square meters. A modern developer avoids a complex, expensive and labor-intensive multi-layer wall structure. Aerated concrete is the predominant material in the wall construction market, with production volumes above 15 million m³. Wood-mineral composites are not inferior, and in a number of indicators surpass aerated concrete and frame technologies of house construction, and can completely replace the volumes of application of these materials and technologies.

Conclusions. The analysis of housing construction rates and volumes in Russia indicates the industry's important role in supplying housing to the population, facilitating the efficient functioning of the mortgage and lending banking sector, and supporting numerous industries involved in construction and production of finishing materials, as well as logistics and transportation companies. Wood-mineral composites, as a competitive material, can effectively capture a substantial segment of the wall building materials industry.

Keywords: construction; individual housing, aerated concrete, frame technologies, wood-mineral composite.

Funding. This study was not supported by any external sources of funding.

For citation: Dolmatov S. N. Analysis of the potential market capacity and consumption volumes of wall building wood-mineral composite materials meant for individual developers. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies.* 2025;(1):29–46. (In Russian). <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.29>; EDN: UYZBPR

REFERENCES

1. EMISS. State statistics. Volume of housing construction. Available from: <https://fedstat.ru/indicator/59263> [accessed 08.11.2024]. (In Russ.).
2. EMISS. State statistics. Total area of residential premises per capita on average. Available from: <https://fedstat.ru/indicator/40466> [accessed 08.11.2024]. (In Russ.).
3. EMISS. State statistics. Area of individual houses. Available from: <https://fedstat.ru/indicator/34167> [accessed 08.11.2024]. (In Russ.).
4. Yankov K. V., Nozdrina N. N., Minchenko M. M. Characteristics of the housing situation in the regions of Russia. *Scientific works: Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences.* 2024;22(1):116-152. DOI: 10.47711/2076-3182-2024-1-116-152. EDN: CUSWSJ. (In Russ.).
5. Minchenko M. M., Nozdrina N. N. Differentiation of Russian regions by financial accessibility of housing for the population. *System modeling of socio-economic processes: proceedings of the 46th International Scientific School-Seminar*, Ufa, October 9-15, 2023. Voronezh: Istoki, 2024. Pp. 447-453. DOI: 10.5281/zenodo.10955416. EDN: WRTZCN. (In Russ.).
6. VTB expects a 30 % increase in mortgages for private houses in 2023. Available from: <https://realty.rbc.ru/news/6447d5439a7947844cd91904?from=copy> [accessed 08.01.2025].
7. SP 50.13330.2012. Thermal protection of buildings. Moscow: Ministry of Regional Development of the Russian Federation, 2012. 97 p. (In Russ.).
8. Mikhailov I. R., Abramov N. A., Dolmatov S. N. Calculation of thermal efficiency of a wooden house in the Elcut package. *Forests of Russia: policy, industry, science, education: materials of the VIII All-Russian scientific and technical conference*, St. Petersburg, May 24-26, 2023. St. Petersburg: St. Petersburg State Forest Engineering University named after S. M. Kirov, 2023. Pp. 745-748. EDN: OVBLAY. (In Russ.).
9. CLT technology (X-Lam). Available from: <https://www.pslcomp.ru/clt-tehnologiya-stroitelstva-derevyannyh-domov> [accessed 08.01.2025]. (In Russ.).
10. Wooden housing construction in Russia – prospects for 2024. Available from: <https://forestcomplex.ru/wh-building/derevyannoe-domostroenie-v-rossii-perspektivy-na-2024-god/> [accessed 08.01.2025]. (In Russ.).
11. Tarasyuk P. N., Vaschenko D. A., Trubaev P. A., Radchenko V. V. Analysis of thermal resistance of enclosing structures of various types based on the results of instrumental measurements. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.* 2015;(2):152-158. EDN: TOUXEJ. (In Russ.).
12. Russia continues to reduce timber export volumes in 2024. Available from: <https://roslesinforg.ru/news/in-the-media/rossiya-v-2024-godu-prodolzhaet-snizhat-obemy-eksporta-drevesiny/> [accessed 08.01.2025]. (In Russ.).
13. Sazhnev N. P., Sazhnev N. N., Galkin S. L. Experience in the production and use of autoclaved aerated concrete products in the Republic of Belarus. *Construction materials.* 2008;(1):6-10. EDN: IJPIXL. (In Russ.).
14. Galkin S. L. Prospects for the use of autoclaved aerated concrete in modern housing and civil construction. *Housing construction.* 2010;(8):20-23. EDN: MTGHS. (In Russ.).
15. Dolmatov S. N., Kolesnikov P. G. Research of thermal efficiency of fencing structures from wood-cement compositess. *Conifers of the boreal area.* 2021;39(4):294-299. EDN: CXUKFH. (In Russ.).
16. Makunina Ya. S., Dolmatov S. N. Analysis of the prospects of wood-mineral composites in housing construction. *Forestry and chemical complexes – problems and solutions: collection of materials based on the results of the All-Russian scientific and practical conference*, Krasnoyarsk, October 21, 2022. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, 2023. Pp. 145-149. EDN: POZUCQ. (In Russ.).
17. Dolmatov S., Soboleva A., Voinash S., et al. Justification of the choice of wall material for low-rise construction. *E3s web of conferences: X International Conference on Advanced Agritechnologies*,

Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-X 2024), Termez, Uzbekistan, April 29–30, 2024. Vol. 548. Les Ulis: EDP Sciences, 2024. P. 06004. DOI: 10.1051/e3sconf/202454806004. EDN: AZTKNQ.

18. Dolmatov S. N., Kolesnikov P. G., Perezhilin A. I. Development of low-quality damaged wood and wood waste in Krasnoyarsk Krai. *Siberian Journal of Forest Science*. 2024;(6):88-100. DOI: 10.15372/SJFS20240611. EDN: GUXPJF. (In Russ.).

19. Kovalev R. N., Dolmatov S. N. Analysis of the raw material potential of damaged forests of the Krasnoyarsk region for the purpose of industrial production of wood-cement composites. *Conifers of the boreal area*. 2021;39(6):483-491. EDN: QWQHGO. (In Russ.).

20. NAAG. Statistics collected on the autoclaved aerated concrete market. Available from: <https://gazo-beton.org/> [accessed 20.01.2025]. (In Russ.).

21. Dolmatov S., Kolesnikov P., Kamenchukov A., et al. Composite building materials from agricultural waste for house-building in seismic hazardous areas. *AIP Conference Proceedings*. 2024;2969:030020. DOI: 10.1063/5.0181868.

22. Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2023: stat. collection. Moscow, 2023. 1126 p.

23. Sokolov Yu. I. Risks of northern delivery. *Problems of risk analysis*. 2019;16(4):32-47. DOI: 10.32686/1812-5220-2019-16-4-32-47. EDN: JLHIDY. (In Russ.).

24. Ivanitskaya I. I., Levina I. V., Fauzer V. V. Forest cluster: new realities in modern conditions. *Corporate Governance and Innovative Development of the Economy of the North: Bulletin of the Research Center of Corporate Law, Management and Venture Investment of Syktyvkar State University*. 2023;3(2):243-256. DOI: 10.34130/2070-4992-2023-3-2-243. EDN: AMOINO. (In Russ.).

25. Dolmatov S. N., Smertin N. V. Influence of fly ash on the strength properties of wood-cement composites. *Conifers of the boreal area*. 2021;39(1):55-59. EDN: JNGTPU. (In Russ.).

The manuscript was submitted on 27.01.2025; reviewed on 10.02.2025;
adopted for publication on 26.02.2025

Information about the author

DOLMATOV Sergei Nikolaevich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Forest Engineering, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk. Research interests – equipment and technologies of the forestry complex, issues of integrated development of forest resources. Author of more than 200 publications. E-mail: pipinaskus@mail.ru

Conflict of interests. The author declares no conflict of interest.
The author reviewed and approved the final version of the manuscript.

Научная статья
УДК 691.32
<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.47>
EDN: MUDMZS

Бетоны на портландцементях с добавкой модифицированного диатомита

В. Д. Черкасов, Д. В. Черкасов, С. А. Москаев[✉]

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва (г. Саранск)
sergei.pto@mail.ru[✉]

Аннотация

Введение. Бетон и железобетон являются основным материалом строительной отрасли. При возрастании требований к качеству строительства возникает потребность в повышении качества строительных материалов. Качество бетона повышают введением в цемент тонко дисперсных минеральных добавок. Их использование в цементах приводит к упрочнению структуры бетона и создает возможность получения модифицированных вяжущих нового поколения. К таким добавкам относится диатомит.

Целью исследования является разработка составов бетона на цементе с добавкой модифицированного диатомита.

Материалы и методы. Для исследования использовался портландцемент класса ЦЕМ I 32,5 и ЦЕМ I 42,5. В качестве минеральной добавки применялись диатомит, модифицированный известью (ДМИ); диатомит, модифицированный соляной кислотой (ДХВ); диатомит, модифицированный частицами углерода (ДМКМЦ).

Прочность бетона определялась по ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Результаты исследования. Согласно полученным результатам, бетоны на цементах с добавкой модифицированного диатомита повышают класс прочности бетона до В25 и выше.

Вывод. Применение цемента, модифицированного диатомитом, при изготовлении бетона позволяет снизить его расход до 15 % с одного кубического метра смеси.

Ключевые слова: портландцемент; модифицированный диатомит; бетон; свойства.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Для цитирования: Черкасов В. Д., Черкасов Д. В., Москаев С. А. Бетоны на портландцементях с добавкой модифицированного диатомита // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2025. № 1 (33). С. 47–53. <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.47>; EDN: MUDMZS

Введение

Бетон и железобетон являются основным материалом строительной отрасли, мировой объем производства которых приближается к 10 миллиардам кубометров в год. По мнению многих специалистов, объемы применения этих материалов в будущем будут возрастать,

а области использования – расширяться. При возрастании требований к качеству строительства возникает потребность в строительных материалах, производимых с относительно низкой себестоимостью, по качественным показателям и долговечности превосходящих существующие аналоги.

Основной предпосылкой синтеза прочности и долговечности высококачественных бетонов и других цементных композитов является более полное использование скрытой энергии портланд-цемента. Это обычно достигается за счет применения активных минеральных добавок, вводимых в состав вяжущих на стадии приготовления цементов.

Применение в технологии цементов и бетонов тонкодисперсных минеральных добавок, сочетающих высокую реологическую и химическую активность, открывает широкие возможности улучшения технологических свойств цементных систем и бетонных смесей и направленного воздействия на формирование структуры цементного камня. Тонкодисперсные минеральные добавки при этом играют роль центров направленной кристаллизации. Их введение в цементы приводит к упрочнению их структуры и создает возможность получения модифицированных вяжущих нового поколения. К таким добавкам относится диатомит.

Для химического взаимодействия продуктов гидратации цемента доступна только небольшая часть поверхности частиц диатомита. Повысить его активность можно за счет химического модифицирования [2, 4, 5, 10, 12].

Введение модифицированного диатомита в цемент приводит к повышению его активности. В связи с этим при одинаковом расходе цемента будет повышаться прочность бетона или же при сохранении класса бетона можно будет снизить расход цемента. С этой целью проведены исследования прочности бетона.

Цель исследования – разработка составов бетона на цементе с добавкой модифицированного диатомита.

Материалы и методы исследования

Для исследований применялся цемент класса ЦЕМ I 32,5 и ЦЕМ I 42,5.

В качестве активной минеральной добавки использовали несколько видов модифицированного диатомита:

- диатомит, модифицированный известью (ДМИ);
- диатомит, модифицированный соляной кислотой (ДХВ);
- диатомит, модифицированный частицами углерода (ДМКМЦ).

Прочность бетона определялась по ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Результаты исследования

Составы бетонных смесей, рассчитанные на бетон класса В20, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Составы бетонных смесей

Table 1. Concrete mix compositions

Номер состава	Расход компонентов на 1 м ³ смеси, кг						
	Цемент ЦЕМ I 32,5	Щебень	Песок	Вода	ДХВ	ДМИ	ДМКМЦ
Состав 1 (контрольный)	355	1150	730	186	-	-	-
Состав 2	355	1150	730	186	8,2	-	-
Состав 3	355	1150	730	186	-	8,2	-
Состав 4	355	1150	730	186	-	-	6,15

Приведенные составы бетонных смесей имели практически одинаковую подвижность. Из них изготавливали бетонные кубики размером 10×10×10 см,

которые твердели во влажных условиях в течение 28 суток. После высушивания образцы испытывали на сжатие. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты испытаний бетона на сжатие

Table 2. Concrete compression test results

Номер состава	Плотность бетона, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Прирост прочности, %
Состав 1 (контрольный)	2 330	20,2	
Состав 2	2 365	26,5	+31,1
Состав 3	2 350	24,6	+21,3
Состав 4	2 370	27,1	+34,1

Бетоны на цементах с добавкой модифицированного диатомита повышают класс прочности бетона до В25 и выше. В настоящее время бетонные смеси производят в основном с добавлением суперпластификаторов. В связи с этим было исследовано совместное влияние суперпластификатора и добавки моди-

фицированного диатомита на прочность бетона.

В таблице 3 приведены результаты испытания бетонов с одинаковым расходом цемента при водоцементном отношении В/Ц = 0,43 и содержании суперпластификатора С-3 в количестве 0,8 % от массы цемента.

Таблица 3. Результаты испытаний бетона с суперпластификатором и модифицирующими добавками

Table 3. Test results of concrete with superplasticizer and modifying additives

Номер состава	Плотность бетона, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Прирост прочности, %
Состав 1 (контрольный)	2 355	29,0	-
Состав 2	2 380	38,7	33,4
Состав 3	2 390	39,2	35,2
Состав 4	2 370	36,4	25,5

При совместном действии модифицирующих добавок и суперпластификатора обнаружен синергетический эффект, проявляющийся в большем повышении прочности бетона по сравнению с прочностью цементного камня с добавками-модификаторами без суперпластификатора.

За счет уменьшения водосодержания в бетонной смеси, улучшения реотехнологических свойств и образования стесненных контактных взаимодействий через более тонкие прослойки воды более полно протекают процессы гидросиликатного образования.

Для подтверждения выдвинутых предположений были запроектированы составы бетонов класса В20 на портландцементе ЦЕМ I 42,5. Марку цемента с добавкой модифицированного диатомита принимаем на 40 % выше ЦЕМ I 42,5.

Расчеты составов бетонных смесей показали, что для приготовления 1 м³ бетона расход цемента ЦЕМ I 42,5 составляет 405 кг/м³, а расход цемента, модифицированного диатомитом, – 324 кг/м³.

Для экспериментальной проверки состава бетона изготавливали пробную порцию бетонной смеси. Размеры бетонных образцов были приняты 10×10×10 см.

Корректировка состава бетонной смеси осуществлялась с учетом равной ее подвижности. За контрольный состав был принят состав бетонной смеси на цементе ЦЕМ I 42,5. Состав бетонной смеси на цементе, модифицированном активной минеральной добавкой, подвергся корректировке. Для получения равноподвижной смеси в составе на цементе с добавкой необходимо было увеличить его количество до 346 кг. Из рассчитанных составов было изготовлено по 7 образцов бетона,

которые твердели во влажных условиях в течение 28 суток. После этого образцы испытывали на сжатие. Результаты испытаний приведены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты испытаний на сжатие бетонных образцов

Table 4. Compression test results for concrete samples

Номер образца	Прочность на сжатие бетона на цементе ЦЕМ I 42,5, МПа	Прочность на сжатие бетона на цементе, модифицированном активной минеральной добавкой, МПа
1	382	381
2	388	393
3	393	389
4	397	392
5	389	388
6	379	394
7	391	393
средняя прочность	388,4	390

Проанализированные выше эксперименты показали, что применение портландцемента с добавкой модифицированного диатомита при приготовлении бетона приводит к снижению расхода цемента. Это обстоятельство позволяет считать, что введение добавки в портландцемент обуславливает повышение его активности.

Результаты испытаний показали, что сравниваемые бетоны имеют равную прочность.

Вывод

Применение цемента, модифицированного активной минеральной добавкой, для приготовления бетона позволяет экономить до 15 % цемента на 1 м³ смеси.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Агаджанов В. И. Эффективность применения добавок в бетоне // Бетон и железобетон – пути развития: научные труды 2-й Всероссийской (Международной) конференции по бетону и железобетону: в 3 т. Москва: Дипак, 2005. Т. 3. С. 633-635.
2. Айлер Р. Химия кремнезема: в 2 т. Москва: Мир, 1982. Т. 2. 706 с.
3. Баженов Ю. М. Бетоны повышенной долговечности // Строительные материалы. 1999. № 7/8. С. 21-22.
4. Белых С. А., Фадеева А. М. Модифицированные и немодифицированные тонкодисперсные отходы промышленности в бетонах и строительных растворах // Строительные и отделочные материалы. Стандарты XXI века: XII Международный семинар Азиатско-Тихоокеанской академии материалов: в 2 т. Новосибирск: НГАСУ, 2006. Т. 2. С. 22-24.
5. Бенштейн Ю. И., Панина Н. С., Ершова Л. А. Оценка эффективности кремнеземистых добавок, вводимых в высокощелочной цемент для предотвращения внутренней коррозии бетона // Журнал прикладной химии. 1987. № 2. С. 349-355.
6. Исследование процессов структурообразования биоцидных композитов на основе цементного связующего / В. Т. Ерофеев, А. В. Дергунова, В. В. Батин, О. В. Тараканов // Приволжский научный журнал. 2011. № 3(19). С. 64-70. EDN: OPIWRH.
7. Леснов В. В., Ерофеев В. Т. Свойства дисперсно-армированных на микро- и макроуровнях цементных каркасных композитов // Региональная архитектура и строительство. 2010. № 2. С. 38-43. EDN: MXHSRR.
8. Калашников В. И., Демьянова В. С., Дубошина Н. М. Сухие строительные смеси на основе местных материалов // Строительные материалы. 2000. № 5. С. 30-33. EDN: IAJNBN.
9. Комохов П. Г., Шангина Н. Н. Модифицированный цементный бетон, его структура и свойства // Цемент и его применение. 2002. № 1. С. 43-46.
10. Лосев В. Н. Кремнеземы, химически модифицированные серосодержащими группами, для концентрирования, разделения и определения благородных и цветных металлов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Томск, 2007. 42 с.

11. Ризван С. А., Байер Т. А. Роль минеральных добавок в высококачественных цементных системах // Бетон и железобетон – пути развития: научные труды 2-й Всероссийской (Международной) конференции по бетону и железобетону: в 3 т. Москва: Дипак, 2005. Т. 3. С. 727-732.

12. Тертых В. А., Белякова Л. А. Химические реакции с участием поверхности кремнезема. Киев: Наукова думка, 1991. 264 с.

13. Управление свойствами цементных смесей природой наполнителя / П. Г. Комохов, Л. Б. Сватовская, Н. Н. Шангина, А. П. Лейкин // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1997. № 9. С. 51-54.

14. Цементные бетоны минеральными наполнителями / Л. И. Дворкин, В. И. Соломатов, В. Н. Выровой, С. М. Чудновский. Киев: Будивельник, 1991. 135 с.

Статья поступила в редакцию 26.01.2025; одобрена после рецензирования 21.02.2025;
принята к публикации 26.02.2025

Информация об авторах

ЧЕРКАСОВ Василий Дмитриевич – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной механики, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск. Область научных интересов – строительное материаловедение. Автор более 300 научных публикаций. E-mail: vd-cherkasov@yandex.ru

ЧЕРКАСОВ Дмитрий Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск. Область научных интересов – строительное материаловедение. Автор более 30 научных публикаций. E-mail: dv-cherkasov@yandex.ru

МОСКАЕВ Сергей Алексеевич – аспирант кафедры прикладной механики, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск. Область научных интересов – строительное материаловедение. E-mail: sergei.pto@mail.ru

Вклад авторов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 691.32

<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.47>

EDN: MUDMZS

Concretes based on portland cement with modified diatomite additives

V. D. Cherkasov, D. V. Cherkasov, S. A. Moskaev[✉]

National Research Ogarev Mordovia State University (Saraksk)

sergei.pto@mail.ru[✉]

Abstract

Introduction. Concrete and reinforced concrete constitute the primary materials in the construction sector. As construction quality standards elevate, it is important to improve the quality of building materials. The quality of concrete is improved by incorporating finely dispersed mineral additives into cement. Their incorporation into cements enhances structural integrity and enables the development of next-generation modified binders. One of such additives is diatomite. **The aim of research** is to develop concrete compositions using cement with the addition of modified diatomite.

Materials and methods. Portland cement of class CEM I 32.5 and CEM I 42.5 was used for the research. Diatomite modified with lime (DMI), diatomite modified with hydrochloric acid (DHV), diatomite modified with carbon particles (DMCMTS) served as mineral additives.

The strength of concrete was assessed against GOST 10180-2012 "Concrete. Methods for determining the strength using control samples"

Research outcomes. The research indicated that concretes with modified diatomite enhance the strength classification of concrete to B25 and above.

Conclusions. The incorporation of diatomite-modified cement in concrete production enables a reduction in cement usage by 15 % per cubic metre of the mixture.

Keywords: portland cement; modified diatomite; concrete; properties.

Funding. This study was not supported by any external sources of funding.

For citation: Cherkasov V. D., Cherkasov D. V., Moskaev S. A. Concretes based on portland cement with additives modified diatomite. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies.* 2025;(1):47–53. (In Russian). <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.47>; EDN: MUDMZS

REFERENCES

1. Agadzhanov V. I. Efficiency of using additives in concrete. *Concrete and reinforced concrete – ways of development: scientific works of the 2nd All-Russian (International) conference on concrete and reinforced concrete*: in 3 volumes. Moscow: Deepak, 2005. Vol. 3. Pp. 633-635. (In Russ.).
2. Eiler R. Chemistry of silica: in 2 volumes. Moscow: Mir, 1982. Vol. 2. 706 p. (In Russ.).
3. Bazhenov Yu. M. Concretes of increased durability. *Construction materials*. 1999;(7/8):21-22. (In Russ.).
4. Belykh S. A., Fadeeva A. M. Modified and unmodified finely dispersed industrial waste in concretes and construction mortars. *Construction and finishing materials. Standards of the XXI century: XII International seminar of the Asian-Pacific Academy of Materials*: in 2 volumes. Novosibirsk: NGASU, 2006. Vol. 2. Pp. 22-24. (In Russ.).
5. Benshtein Yu. I., Panina N. S., Ershova L. A. Evaluation of the efficiency of silica additives introduced into high-alkaline cement to prevent internal corrosion of concrete. *Journal of Applied Chemistry*. 1987;(2): 349-355. (In Russ.).
6. Erofeev V. T., Dergunova A. V., Batin V. V., Tarakanov O. V. Research of processes of structurization of biocidal composites on the basis of the cement binding. *The Privolzhsky Scientific Journal*. 2011;(3):64-70. EDN: OIIWPH. (In Russ.).
7. Lesnov V. V., Erofeev V. T. Properties of cement carcass composites dispersiely reinforced by fibres on micro- and macro levels. *Regional architecture and engineering*. 2010;(2):38-43. EDN: MXHSRR. (In Russ.).
8. Kalashnikov V. I., Demyanova V. S., Duboshina N. M. Dry building mixes based on local materials. *Construction materials*. 2000;(5):30-33. EDN: IAJNBN. (In Russ.).
9. Komokhov P. G., Shangina N. N. Modified cement concrete, its structure and properties. *Cement and its application*. 2002;(1):43-46. (In Russ.).
10. Losev V. N. Silicas chemically modified with sulfur-containing groups for concentration, separation and determination of noble and non-ferrous metals: abstract diss. ... doctor of technical sciences. Tomsk, 2007. 42 p. (In Russ.).
11. Rizvan S. A., Bayer T. A. The role of mineral additives in high-quality cement systems. *Concrete and reinforced concrete – ways of development: scientific works of the 2nd All-Russian (International) conference on concrete and reinforced concrete*: in 3 volumes. Moscow: Deepak, 2005. Vol. 3. P. 727-732. (In Russ.).
12. Tertykh V. A., Belyakova L. A. Chemical reactions involving the surface of silica. Kyiv: Naukova Dumka, 1991. 264 p. (In Russ.).
13. Komokhov P. G., Svatovskaya L. B., Shangina N. N., Leykin A. P. Control of properties of cement mixtures by the nature of the filler. *News of higher educational institutions. Construction*. 1997;(9):51-54. (In Russ.).
14. Dvorkin L. I., Solomatov V. I., Vyrov V. N., Chudnovsky S. M. Cement concretes with mineral fillers. Kyiv: Budivelnik, 1991. 135 p. (In Russ.).

The manuscript was submitted on 26.01.2025; reviewed on 21.02.2025;
adopted for publication on 26.02.2025

Information about the authors

CHERKASOV Vasilii Dmitrievich – Corresponding Member of the RAASN, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Applied Mechanics, National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk. Research interests – building materials science. Author of more than 300 publications. E-mail: vd-cherkasov@yandex.ru

CHERKASOV Dmitrii Vasilevich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Mechanics, National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk. Research interests – building materials science. Author of more than 30 publications. E-mail: dv-cherkasov@yandex.ru

MOSKAEV Sergei Alekseevich – Postgraduate student of the Department of Applied Mechanics, National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk. Research interests – building materials science. E-mail: sergei.pto@mail.ru

Contribution of the authors. The authors contributed equally to this paper.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

The authors reviewed and approved the final version of the manuscript.

КОНСТРУКЦИИ

Научная статья

УДК 624.04

<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.54>

EDN: EFIYRQ

Бескаркасные арочные покрытия: практика применения

Н. И. Каменщиков[✉], М. А. Липленко

ООО «ЦНИИ ПроектСтальКонструкция» (Москва)

Kamenshchikovnikolay@gmail.com[✉]

Аннотация

Введение. В статье рассмотрены бескаркасные арочные здания из стальных холодногнутых профилей, которые получили широкое распространение благодаря простоте производства и монтажа, низкой стоимости и технологичности. Отмечены их недостатки, включая отсутствие нормативно-технической базы и ошибки проектирования, которые приводят к авариям.

Цель исследования – анализ несущей способности бескаркасных арочных покрытий и разработка рекомендаций по их проектированию, строительству и эксплуатации для исключения аварий.

Методы. Для определения несущей способности бескаркасного арочного покрытия арка рассчитывалась с помощью численного моделирования в программном комплексе конечных элементов, с использованием оболочечных конечных элементов, поддерживающих как геометрическую нелинейность (большие деформации, перемещения и т.п.), так и физическую нелинейность. Геометрия профиля моделировалась оболочечными конечными элементами, то есть рассматривались все особенности поперечного сечения профиля с учетом поперечных гофр на полке и стенке, а также неравномерности их высоты (на стенке). Расчеты проводились в геометрически и физически нелинейной постановке задачи.

Характеристики бескаркасных зданий. Представлены конструктивные особенности бескаркасных арочных зданий, включая используемые материалы, типы профилей, их геометрические параметры и области применения. Обозначены ограничения, связанные с эксплуатацией таких конструкций.

Анализ причин аварии. Приведен анализ аварийного случая – обрушение арочной конструкции при снеговой нагрузке, которая оказалась ниже нормативной. Выявлены характерные ошибки, такие как несоответствие расчетных моделей реальным условиям эксплуатации, отсутствие учета геометрической нелинейности и неправильная технология монтажа. Анализ причин аварии показал, что проектирование и эксплуатация бескаркасных зданий без учета их специфики и соответствующей нормативной базы может приводить к разрушениям.

Выводы и рекомендации. Для предотвращения аварий предложено разработать единую методику расчета конструкций, включить ее в нормативные документы, а также разработать технические условия для каждого типа профилей.

Ключевые слова: бескаркасные арочные покрытия; холодногнутый профиль; несущая способность.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Для цитирования: Каменщиков Н. И., Липленко М. А. Бескаркасные арочные покрытия: практика применения // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2025. № 1 (33). С. 54–62. <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.54>; EDN: EFIYRQ

Введение

В последнее время технология изготовления и монтажа бескаркасных арочных зданий из стальных гнутых профилей (рис. 1 а) нашла широкое применение в России и за рубежом [1]. Здания, построенные по быстровозводимым технологиям, ни в чем не уступают сооружениям, построенным из традиционных материалов:

бетона, кирпича, древесины. Причинами популярности сооружений такого типа являются технологичность производства профилей (рис. 1 б), относительная простота, короткие сроки монтажа, низкая стоимость строительства, а при применении современных эффективных утеплителей можно минимизировать расходы на обогрев зданий в процессе эксплуатации.



а)



б)

Рисунок 1. Бескаркасные арочные здания: а – спортивный комплекс; б – ангар для техники

Fig. 1. Frameless arched buildings: a – sports complex; b – equipment hangar

Цель исследования – анализ несущей способности бескаркасных арочных покрытий и разработка рекомендаций по их проектированию, строительству и эксплуатации для исключения аварий.

Методы

Для определения несущей способности бескаркасного арочного покрытия арка рассчитывалась с помощью численного моделирования в программном комплексе конечных элементов с использованием оболочечных конечных элементов, поддерживающих как геометрическую нелинейность (большие деформации, перемещения и т.п.), так и физическую нелинейность. Геометрия профиля моделировалась оболочечными конечными элементами – как есть, то есть рассматривались все особенности поперечного сечения профиля с учетом поперечных гофр на полке и стенке, а также неравномерности их высоты (на стенке). Расчеты проводились в геометрически и физически нелинейной постановке задачи.

Характеристики бескаркасных зданий

Бескаркасные здания представляют собой конструкцию сводчатой формы из холодногнутых профилей, соединенных между собой при помощи фальца¹. Профили прокатываются из рулонной оцинкованной или окрашенной стали толщиной 0,8–2,0 мм. При их изготовлении применяется мобильное профилегибочное оборудование. Следует отметить, что рассматриваемые конструкции могут применяться как в качестве покрытий зданий (бескаркасные покрытия) с опорой на нижележащие конструкции (стены или балки), так и в качестве самостоятельных зданий с опорой на фундаменты (бескаркасные здания).

В России и странах Содружества

¹ СТО 97217441-002-2018. Конструкции стальные из тонкостенных холодногнутых профилей повышенной несущей способности для бескаркасных арочных однопролетных зданий. Проектирование, изготовление, монтаж.

Независимых Государств используют, как правило, два типа профилей: U-образный (рис. 2) и трапециевидный (рис. 3). Пролеты могут варьироваться от 6 до 30 м в зависимости от нагрузок и конструктивной схемы. Здания могут изготавливаться в однослойном исполнении и многослойном с объединением слоев

между собой промежуточными конструктивными элементами и без них.

Применение трехслойных покрытий позволяет не только производить утепление зданий, располагая утеплитель между верхним и нижним слоями арочных профилей, но и увеличить пролет здания за счет совместной работы слоев свода.

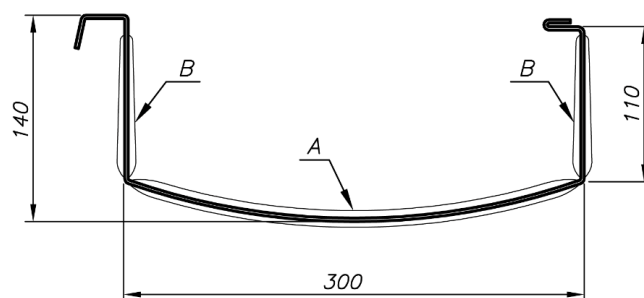


Рисунок 2. Поперечное сечение холодногнутого профиля U-образного сечения:

A – поперечное гофрирование глубиной от 2 до 5 мм при шаге гофр 35 мм;

B – поперечное гофрирование глубиной от 1 до 5 мм при шаге гофр 35 мм

Fig. 2. Cross-section of a U-shaped cold-formed profile:

A – transverse corrugation depth ranging from 2 to 5 mm with a corrugation pitch of 35 mm;

B – transverse corrugation depth ranging from 1 to 5 mm with a corrugation pitch of 35 mm

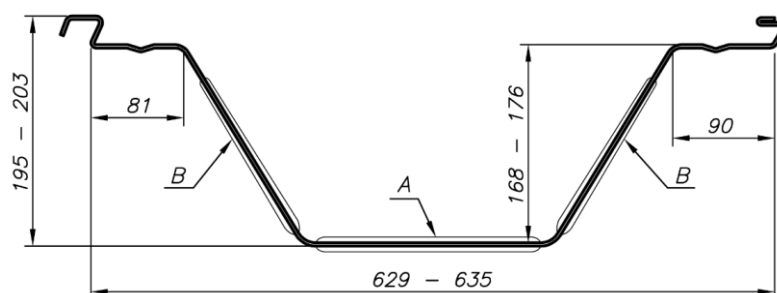


Рисунок 3. Поперечное сечение холодногнутого профиля трапециевидного сечения:

A – поперечное гофрирование глубиной от 2 до 5 мм при шаге гофр от 35 до 38 мм;

B – поперечное гофрирование глубиной от 1 до 5 мм при шаге гофр от 35 до 38 мм

Fig. 3. Cross-section of a trapezoidal cold-formed profile:

A – transverse corrugation depth ranging from 2 to 5 mm with a corrugation pitch of 35–38 mm;

B – transverse corrugation depth ranging from 1 to 5 mm with a corrugation pitch of 35–38 mm

Отсутствие нормативно-технической документации по расчёту, проектированию и монтажу арочных покрытий из стальных гнутых профилей, имеющих ряд особенностей работы, а также ошибки, вызванные некорректным проектированием, которые часто допускаются при возведении такого типа сооружений, приводят к авариям. Строители ошибочно допускают использование подвешенного грузоподъемного транспорта в зданиях с

арочным покрытием, что категорически не допускается.

Длина здания без устройства температурного шва не должна превышать 140 м при зимних температурах наружного воздуха от -40°C до -55°C и 200 м при зимних температурах выше -40°C , что также не всегда соблюдается при строительстве бескаркасных арочных покрытий из стальных гнутых профилей.

Распорные усилия от воздействия

нагрузок на арочное покрытие должны восприниматься фундаментом или несущими конструкциями здания. Для восприятия распорных усилий рекомендуется использовать стальные затяжки, расположенные поперек здания в толще пола или на уровне узлов опирания арочного покрытия на несущие конструкции, что не всегда реализуется строителями. Несоблюдение технологии при соединении элементов может привести к деформации и потере несущей способности всей конструкции.

Как правило, разрушение бескаркасной арочной конструкции начинается в результате потери местной устойчивости граней профиля, преимущественно поперечно-гофрированных.

В процессе эксплуатации бескаркасных арочных покрытий следует регулярно проверять их техническое состояние. От-

сутствие регулярных проверок технического состояния арочного покрытия и некорректная эксплуатация часто приводят к коррозии, раскрытию фальцевого соединения между профилями или другим повреждениям, которые могут угрожать не только самому покрытию, но и размещенным внутри материалам или оборудованию.

Безаварийная эксплуатация бескаркасного арочного покрытия зависит от корректно выполненных расчетов, учитывающих особенности работы тонкостенных конструкций с поперечным гофрированием [2–6].

Область рационального применения арочного покрытия зависит от расчетных нагрузок, условий закрепления на опорах, геометрических соотношений H/L – высоты стрелы подъема арки H к пролету L (рис. 4), марки и толщины стали гнутого профиля [8].

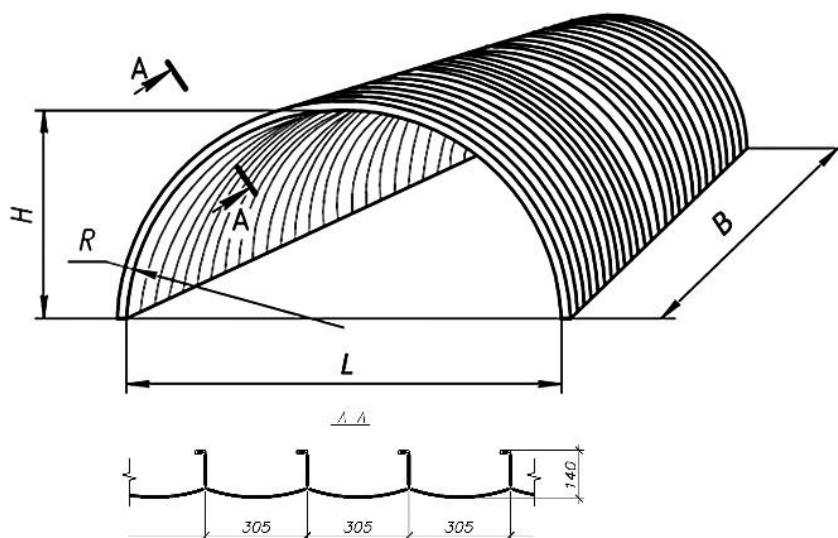


Рисунок 4. Типовая конструкция бескаркасного арочного покрытия

Fig. 4. Typical structure of a frameless arched roof

Расчет несущей способности бескаркасного арочного покрытия следует выполнять с учетом геометрической нелинейности – шаговым методом с постепенным увеличением нагрузки и определением напряжений и перемещений на каждом шаге. При расчете многослойных конструкций без объединения слоев, распределение усилий между слоя-

ми необходимо определять с учетом контактного взаимодействия в зависимости от схем нагружения.

Анализ причин аварии

В качестве наглядного примера на рисунке 5 приведена авария стальных конструкций покрытия бескаркасного арочного покрытия размерами $15 \times 80 \times 6$ м из тонкостенных холодногнутых профилей.



а)



б)

Рисунок 5. Обрушение бескаркасного здания: а – общий вид; б – вид на зону обрушения
 Fig. 5. Collapse of a frameless buildings: a – general view; b – view of the collapse area

Для изготовления гнутых профилей был использован прокат из горячеоцинкованной стали марки 220 по ГОСТ 14918² толщиной 0,8 мм без дополнительного лакокрасочного покрытия. Класс цинкового покрытия 140. Здание имело в плане размеры 15,0×80,0 м и высоту в середине пролета 6,0 м (см. рис. 5). В конструктивном отношении возведенное бескаркасное здание решено в виде однопролетного, однослойного, с шарнирным опиранием оболочки на монолитный железобетонный ростверк размерами 400×600 мм с буронабивными сваями диаметром 350 мм и длиной 1,8 м, расположенными с шагом 1,8 м. В данном решении усилия от распора арочного покрытия воспринимались монолитным железобетонным ростверком.

Бескаркасное арочное покрытие было выполнено из стальных оцинкованных тонкостенных холодногнутых профилей U-образного сечения, свальцованных по заданному радиусу $R = 7688$ м. Арочные профили длиной на весь пролет (без поперечных стыков) изготавливались на строительной площадке на мобильном профилегибочном стане и соединялись между собой по продольным краям с помощью одиночного фальцевого замка, объединяющего профили в пространственную конструкцию.

² ГОСТ 14918-2020 Прокат листовой горячеоцинкованный. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2020. 27 с.

Во время натурального осмотра бескаркасного здания было обнаружено обрушение арочных сводов в центральной части здания (см. рис. 5). Территория, прилегающая к объекту, не была очищена от снега, следов уборки снега не было как по периметру объекта, так и на расстоянии 50 м от границ пятна застройки. Уровень снега, лежавший в верхней части на неповрежденных участках покрытия, покрывал U-образное сечение полностью. В зоне обрушения на полу внутри здания был обнаружен снег, лежавший шапкой перед аварией на покрытии, имевший различное уплотнение по высоте слоя, в том числе обнаружен слой льда толщиной, достигавшей 22 мм, что свидетельствует об оттаивании и последующем замораживании ввиду изменения внешнего температурного режима. Максимальный вес снегового покрова при проведении снегомерных наблюдений на ближайшей метеорологической станции составлял 1,127 кПа, что не достигает значения нормативной снеговой нагрузки для III снегового района в соответствии с СП 20.13330³.

Для ответа на вопрос, соответствует ли здание с бескаркасным арочным покрытием из тонкостенных холодногнутых профилей нормативным требованиям в

³ СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями № 1-6). Москва: Стандартинформ, 2017. 73 с.

части прочности при снеговых и ветровых нагрузках, был выполнен поверочный расчет. По результатам расчета были определены фибровые напряжения в несущей арочной конструкции в разных стадиях нагружения. При снеговой нагрузке 75 % от максимального веса снегового покрова, зафиксированного ближайшей метеорологической станцией, перемещения свода достигли 138 мм. Далее с ростом нагрузки перемещения свода и напряжения в профилях быстро увеличивались и при нагрузке 80 % от максимального веса снегового покрова арочная конструкция потеряла несущую способность.

Анализируя результаты расчета, можно констатировать следующее: при действии снеговой нагрузки, зафиксированной на ближайшей метеостанции,

фибровые напряжения в сечениях элементов превышают предел текучести стального проката до трех раз (рис. 6). Следует отметить, что обрушение произошло при снеговой нагрузке, которая не достигла даже своего нормативного значения в соответствии с СП 20.13330.

Возможность эксплуатации конструкции арочного покрытия за пределами зоны обрушения может быть обеспечена за счет усиления. Техническое решение усиления требует отдельных расчетов и выполнения проектных решений. Таким образом, стальные конструкции покрытия бескаркасного арочного здания размерами 15×80×6 м из тонкостенных холодногнутых профилей не соответствуют требованиям нормативных документов по прочностным параметрам.

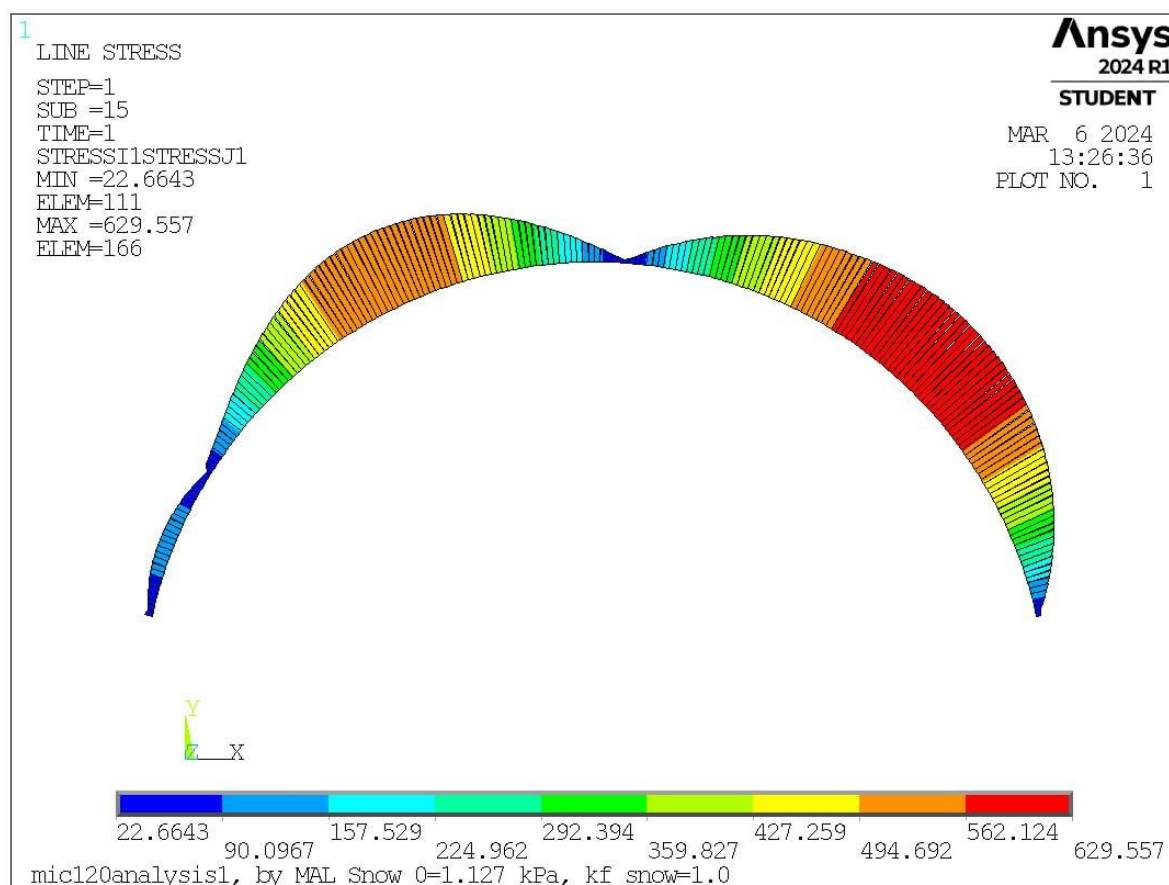


Рисунок 6. Результаты расчета бескаркасной арочной конструкции, фибровые напряжения, МПа, при снеговой нагрузке 1,127 кПа

Fig. 6. Calculation results of a frameless arched structure, fiber stresses, MPa, under a snow load of 1.127 kPa

Выводы и рекомендации

Для исключения возникновения аварийных ситуаций с бескаркасными арочными зданиями из тонкостенных холодногнутых профилей необходимо разработать и включить в федеральные нормативные документы по проектированию единую методику расчета тонкостенных холодногнутых профилей бескаркасных зданий, учитывающую тонкостенность и поперечное гофрирование.

В связи с тем что на рынке профилегибочного оборудования присутствуют различные производители прокатных станков для бескаркасных зданий, с помощью которых изготавливают профили с раз-

личными геометрическими параметрами, необходимо для каждого типа профиля разрабатывать собственные технические условия в обязательном порядке.

Ввиду отсутствия в настоящее время в федеральных нормативных документах методики расчета бескаркасных арочных конструкций из холодногнутых профилей проектировать, возводить и эксплуатировать такие здания следует по стандартам организаций, разработанным специализированными организациями и включенным в реестр добровольной регистрации стандартов организации в Федеральном информационном фонде стандартов ФГБУ «Институт стандартизации».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Айрумян Э. Л., Каменщиков Н. И., Липленко М. А. Эффективные стальные конструкции из холодногнутых оцинкованных профилей – перспективное направление развития металлостроительства в России // Наука и инновации в современном строительстве – 2012: Международный конгресс посвященный 180-летию СПбГАСУ. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2012. С. 48-52. EDN: OJWOCV.
2. Липленко М. А., Кунин Ю. С. Механические характеристики стали тонкостенных холодногнутых профилей бескаркасных зданий // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2016. Т. 82, № 4. С. 47-52. EDN: VVRVSL.
3. Напряженно-деформированное состояние бескаркасного сводчатого покрытия из стальных тонкостенных холодногнутых профилей с учетом конструктивных особенностей / М. А. Чайка, А. Н. Мионов, В. А. Мазур, Е. Н. Оленич // Металлические конструкции. 2023. Т. 29, № 4. С. 181-193. EDN: FEXOFW.
4. Коргин А. В., Ермаков В. А., Зейд Килани Л. З. Обеспечение несущей способности арочных покрытий из холодногнутых тонкостенных профилей // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17, № 8. С. 1008-1016. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1008-1016. EDN: ZGSLNV.
5. Зверев, В. В., Семенов А. С., Бобровских Д. А. Особенности бескаркасных арочных зданий из стальных тонкостенных профилей // Components of Scientific and Technological Progress. 2024. № 6(96). С. 6-10. EDN: OSNRXT.
6. Олейник А. И. Усиление большепролетных бескаркасных ангаров // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 8(716). С. 15-27. EDN: YSFVGX.

Статья поступила в редакцию 24.11.2024; одобрена после рецензирования 28.11.2024; принята к публикации 10.12.2024

Информация об авторах

КАМЕНЩИКОВ Николай Ильич – главный инженер проекта отдела легких стальных тонкостенных конструкций ООО «ЦНИИ ПроектСтальКонструкция», г. Москва. Область научных интересов – лёгкие стальные тонкостенные конструкции из холодногнутых профилей. Автор более 30 научных публикаций. E-mail: Kamenshchikovnikolay@gmail.com

ЛИПЛЕНКО Максим Александрович – кандидат технических наук, главный специалист ООО «ЦНИИ ПроектСтальКонструкция», г. Москва. Область научных интересов – математическое моделирование, исследование нагрузок на строительные конструкции, лёгкие

стальные тонкостенные конструкции из холодногнутох профилей. Автор 16 научных публикаций. E-mail: Liplenko@gmail.com

Вклад авторов:

Каменщиков Н. И. – концепция работы, интерпретация результатов, составление статьи;
Липленко М. А. – научное руководство, выполнение расчетов, корректировка статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 624.04

<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2024.4.54>

EDN: EFIYRQ

Frameless arch covering: practice of application

N. I. Kamenshchikov[✉], M. A. Liplenko

TsNII ProektStalKonstruktsiya, LLC (Moscow),

Kamenshchikovnikolay@gmail.com[✉]

Abstract

Introduction. The research examines frameless arched buildings made of cold-formed steel profiles, which have gained widespread popularity due to their simplicity of production and installation, low cost, and technological efficiency. The drawbacks encompass the absence of regulatory and technical documentation, as well as design flaws, which frequently result in failures.

The aim of research is to analyze the load-bearing capacity of frameless arched roofs and develop recommendations for their design, construction, and operation to prevent failures.

Materials and Methods. To determine the load-bearing capacity of a frameless arched roof, the arch was analysed by numerical modelling in a finite element software suite, employing shell finite elements that accommodate both geometric nonlinearity (large deformations, displacements, etc.) and physical nonlinearity. The profile geometry was modeled using shell finite elements, incorporating all characteristics of the cross-section, taking into account the transverse corrugations on the shelf and the wall, as well as the unevenness of their height (on the wall). The calculations were carried out in a geometrically and physically nonlinear formulation of the problem.

This paper outlines the structural characteristics of frameless arched edifices, encompassing the materials used, profile varieties, geometric specifications, and their respective applications. The limitations associated with the functioning of such structures are also delineated.

Research outcomes. The analysis of a failure case is provided: the failure of an arched structure under a snow load that was below the regulation threshold. Characteristic errors include inconsistencies between design models and actual operating conditions, neglect of geometric nonlinearity, and improper installation practices. The analysis showed that design and operation of frameless buildings, without consideration of their unique characteristics and the lack of an appropriate regulatory framework, may result in structural problems.

Conclusions. In order to prevent failures, it is proposed to develop a unified methodology for calculating structures, incorporate it into regulatory documents, and develop technical specifications for each profile type.

Keywords: frameless arched roofs, cold-formed profile, load-bearing capacity.

Funding. This study was not supported by any external sources of funding.

For citation: Kamenshchikov N. I., Liplenko M. A. Frameless arch covering: practice of application. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies.* 2025;(1): 54–62. (In Russian). <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.54>; EDN: EFIYRQ

REFERENCES

1. Airumyan E. L., Kamenshchikov N. I., Liplenko M. A. Efficient steel structures from cold-formed galvanized sections – a promising direction for the development of metal construction in Russia. *Science and Innovations in Modern Construction – 2012: International Congress dedicated to the 180th anniversary of SPbGASU*. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2012. P. 48-52. EDN: OJWOCV.
2. Liplenko M. A., Kunin Yu. S. Experimental study of the mechanical properties of cold-formed steel profiles of frameless buildings. *Industrial laboratory. Materials Diagnostics*. 2016;82(4):47-52. EDN VVRVSL.
3. Chaika M. A., Mironov A. N., Mazur V. A., Olenich E. N. Stress-strain state of a frameless vaulted coating made of thin-walled cold-bent steel profiles, taking into account design features. *Metal Constructions*. 2023;29(4):181-193. EDN: FEXOFW.
4. Korgin A. V., Ermakov V. A., Zeyd Kilani L. Z. The bearing capacity of arch cover structures made of thin-walled cold-formed profiles. *Vestnik MGSU*. 2022;17(8):1008-1016. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1008-1016. EDN: ZGSLNV.
5. Zverev V. V., Semenov A. S., Bobrovskikh D. A. Features of frameless arched buildings from thin-walled steel profiles. *Components of Scientific and Technological Progress*. 2024;(6):6-10. EDN: OSNRXT.
6. Oleinik A. I. Strengthening of large-span frameless hangars. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2018;(8):15-27. EDN: YSFVGX.

The manuscript was submitted on 24.11.2024; reviewed on 28.11.2024;
adopted for publication on 10.12.2024

Information about the authors

KAMENSHCHIKOV Nikolai Ilich – Chief Project Engineer, Light Gage Steel Structures Department, TsNII ProektStalKonstruktsiya, LLC, Moscow. Research interests – cold-formed steel structures. Author of more than 30 publications. E-mail: Kamenshchikovnikolay@gmail.com

LIPILENKO Maksim Aleksandrovich – Candidate of Engineering Sciences, Chief Specialist, Light Gage Steel Structures Department, TsNII ProektStalKonstruktsiya, LLC, Moscow. Research interests – mathematical modeling, load analysis of building structures, and cold-formed steel structures. Author of 16 publications. E-mail: Liplenko@gmail.com

Contribution of the authors:

Kamenshchikov N. I. – conceptualization of the study, interpretation of results, and drafting of the paper;
Liplenko M. A. – Scientific supervision, calculations, and paper editing.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

The authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Научная статья

УДК 69.07

<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2024.4.63>

EDN: AVNOST

Численное моделирование напряженно-деформированного состояния балок с жесткой композитной арматурой

В. И. Римшин^{1,2✉}, С. В. Усанов^{2,3}, А. Е. Воробьев⁴, Е. С. Савельев⁴

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (г. Москва)

²Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (г. Москва)

³Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар)

⁴Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) (г. Новосибирск)
v.rimshin@niisf.ru✉

Аннотация

Введение. Одним из ключевых этапов разработки ВМ-модели является её расчет на восприятие нагрузок и воздействий различного рода. Модель для выполнения таких расчетов выгружается в специализированные программные комплексы. Метод конечных элементов – один из самых распространенных численных методов расчёта конструкций. Его преимущества – возможности расчета конструкций со сложной геометрией путем аппроксимации поверхностей с требуемой степенью точности, учета в составе конструкции материалов с разными свойствами и ряд других. Наиболее существенным недостатком метода является необходимость проведения большого количества вычислений. Современные вычислительные мощности компьютеров позволяют выполнять расчеты довольно быстро, хотя сложность вычислений и требования к расчетам также возрастают.

К одним из перспективных материалов в строительной отрасли относят пултрузионные полимерные профили (ППП). Конструкции с армированием из PPP стали применяться в строительстве недавно; экспериментальные данные, соответственно, представлены в ограниченном количестве. Как и в случае с конструкциями, армированными композитной полимерной арматурой, при использовании PPP в зарубежных расчетных методиках проводят аналогию со стальной жесткой арматурой с поправкой на свойства PPP. Отечественные нормативные документы для конструкций с жесткой композитной арматурой в настоящее время еще не разработаны, чем и обусловлена актуальность данного исследования.

Целью исследования являются создание конечно-элементной модели для расчетов несущей способности изгибаемых элементов с жесткой композитной полимерной арматурой и анализ полученных результатов.

Методика испытания. В настоящей работе численная реализация модели выполнена в программном комплексе SIMULIA Abaqus, отличающемся рядом преимуществ. Комплекс дает возможность создавать как статическое, так и динамическое нагружение, подробно визуализировать результаты расчета, имеет специальные опции для получения решений с учетом нелинейных эффектов (пластичность, ползучесть, изменение жесткости) и другие. Задача решена в пространственной постановке с учетом нелинейных свойств бетона и арматуры.

Результаты. Численная модель может быть использована для дальнейших исследований поведения под нагрузкой конструкций с жесткой композитной арматурой. Предложенная модель дает возможность подобрать оптимальные параметры конструирования изгибаемых элементов с армированием из PPP, использующих прочностные свойства композитного профиля в полной мере. Модель основана на законах деформации бетона и арматуры различных типов, которые имеют опытные подтверждения.

Заключение. Новые возможности прогнозирования прочности и деформативности перспективных материалов и конструкций в программных комплексах, интегрированных с ВМ-моделями, дадут современные и востребованные технические решения. Это отвечает принятым в нашей стране стратегическим подходам к цифровой трансформации в строительстве.

Ключевые слова: численное моделирование; напряженно-деформированное состояние; балка; жесткая композитная полимерная арматура; несущая способность; изгибаемые элементы.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Для цитирования: Численное моделирование напряженно-деформированного состояния балок с жесткой композитной арматурой / В. И. Римшин, С. В. Усанов, А. Е. Воробьев, Е. С. Савельев // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2025. № 1 (33). С. 63–73. <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.63>; EDN: AVNOST

Введение

Первое упоминание термина Building Information Model (BIM) относят к 1992 году. В настоящее время процесс проектирования в строительной отрасли уже тесно связан с созданием информационных моделей зданий и сооружений. Одним из ключевых этапов разработки BIM-модели является её расчет на восприятие нагрузок и воздействий различного рода. Модель для выполнения таких расчетов выгружается в специализированные программные комплексы.

Метод конечных элементов (МКЭ), позволяющий решать широкий круг научных и инженерных задач и являющийся, наверное, самым распространенным в мире численным методом расчёта конструкций, приобрел популярность благодаря своим преимуществам. К ним относят возможность расчета конструкций со сложной геометрией путем аппроксимации поверхностей с требуемой степенью точности, возможность учета в составе конструкции материалов с разными свойствами и ряд других.

Из недостатков МКЭ наиболее существенным является необходимость проведения большого количества вычислений. Современные вычислительные мощности компьютеров позволяют выполнять расчеты довольно быстро, хотя сложность вычислений и требования к расчетам также возрастают.

Из широко распространенных программных комплексов, основанных на МКЭ, выделим такие известные, как

ABAQUS, ANSYS и некоторые другие. Они обладают возможностью импорта данных из BIM-моделей, используя соответствующие API [1–7].

К одним из перспективных материалов, внимание к которым в строительной отрасли нарастает, относят пултрузионные полимерные профили (ППП). Их популярность прослеживается по числу публикаций о конструкциях с этими материалами. В августе текущего года вышла в свет первая редакция свода правил РФ, который в скором будущем позволит проектировщикам конструировать из PPP здания и сооружения различного назначения.

Применение пултрузионных полимерных профилей оказывается оправданным в тех случаях, когда их преимущества используются в полном объеме. К основным достоинствам PPP следует отнести высокую прочность при растяжении и стойкость к воздействию коррозии, небольшой удельный вес, немагнитность и радиопрозрачность. Недостатками композитных материалов являются низкий модуль упругости и отсутствие площадки текучести. По мере накопления положительного опыта применения PPP затраты на производство должны снижаться, что повысит экономическую целесообразность их использования.

Конструкции с армированием из PPP стали применяться в строительстве недавно; экспериментальные данные, соответственно, представлены в ограниченном количестве. Как и в случае с конструкци-

ями, армированными композитной полимерной арматурой, при использовании ППП в зарубежных расчетных методиках проводят аналогию со стальной жесткой арматурой с поправкой на свойства ППП. Отечественные нормативные документы для конструкций с жесткой композитной арматурой в настоящее время еще не разработаны.

Целью исследования являются создание конечно-элементной модели для расчетов несущей способности изгибаемых элементов с жесткой композитной полимерной арматурой и анализ полученных результатов. Выборка, составленная на основе экспериментальных данных нескольких авторов [8–10], приведена в таблице 1.

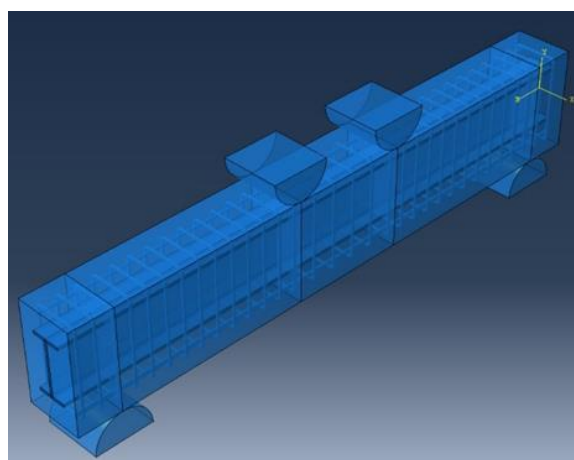
Таблица 1. Характеристики балок

Table 1. Beam characteristics

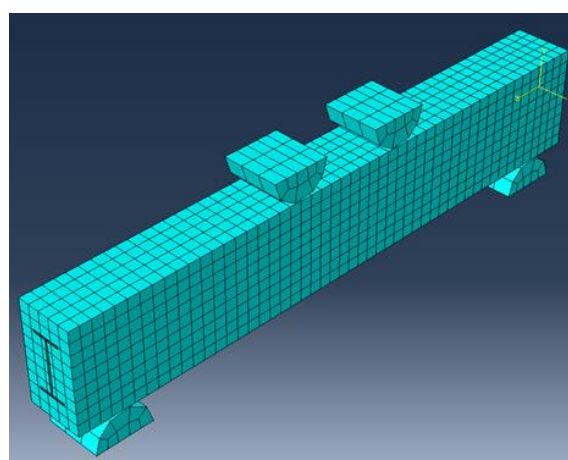
№ п/п	Автор	Шифр балки	b , мм	h_0 , мм	R_b , МПа	R_s , МПа	$R_{жс}$, МПа	μ_s , %	$\mu_{жс}$, %	μ'_s , %	E_s , МПа	$E_{жс}$, МПа	e	M_{ult} , кНм
1	M. N.S. Hadi, et al. [6]	S0.57M	200	312	39,75	584,00	368,00	0,64	6,09	0,25	199200	35838	0	138,36
2		S0.57B	200	312	39,75	584,00	368,00	0,64	6,09	0,25	199200	35838	0,096	134,00
3		F0.46M	200	312	39,75	503,00	368,00	0,54	6,09	0,25	25600	35838	0	119,60
4		F0.46B	200	312	39,75	503,00	368,00	0,54	6,09	0,25	25600	35838	0,096	113,57
5	T.H. Ibrahim, et al. [7]	CG	200	270	29,29	520,70	347,50	0,74	6,11	0,29	200000	27100	0	185,10
6	E.M. Mahmood, et al. [8]	EG	200	270	67,25	520,00	347,50	0,74	6,11	0,29	200000	27100	0	218,68

Все образцы содержали в качестве жесткой арматуры стеклокомпозитные ППП и разрушились по нормальному сечению. Для каждой балки приведены следующие параметры: ширина сечения b , рабочая высота h_0 , призмная прочность бетона R_b , предел текучести стальной арматуры R_s , предел прочности при растяжении композитного профиля $R_{жс}$, процент стального продольного армирования

растянутой зоны μ_s , процент армирования жесткой композитной арматурой $\mu_{жс}$, процент стального продольного армирования сжатой зоны μ'_s , модуль упругости стальной арматуры E_s , модуль упругости композитного профиля $E_{жс}$, эксцентриситет продольной оси композитного профиля относительно нейтральной оси балки e и величина разрушающего изгибающего момента M_{ult} .



а)



б)

Рисунок 1. Общий вид (а) и конечно-элементная модель (б) балки

Fig. 1. General view (a) and finite element model (b) of the beam

Создание конечно-элементной (КЭ) модели выполнено на примере образца 1 из таблицы 1. Численный анализ позволит оценить прогибы изгибаемого элемента, разрушающую нагрузку, напряжения в стальной арматуре и ППП и ряд других параметров. Физико-механические свойства материалов приведены в статье. Общий вид балки и её конечно-элементную модель иллюстрирует рисунок 1.

Методика испытания

Наряду с отечественным программным обеспечением пользуются популярностью для создания КЭ-моделей и зарубежные комплексы для прочностных расчетов. В настоящей работе численная реализация модели выполнена в программном комплексе SIMULIA Abaqus, отличающемся рядом преимуществ. Комплекс дает возможность создавать как статическое, так и динамическое нагружение, подробно визуализировать результаты расчета, имеет специальные опции для получения решений с учетом нелинейных эффектов (пластичность, ползучесть, изменение жесткости) и другие [11].

Задача решена в пространственной постановке с учетом нелинейных свойств бетона и арматуры. Моделирование бетона выполнено пространственными сплошными 8-узловыми элементами типа C3D8R. Работа бетона описывалась моделью пластичного разрушения с повреждениями (в зарубежной терминологии – Concrete Damaged Plasticity (CDP).

Модель CDP использует принцип изотропной упругой поврежденности в совокупности с изотропной пластичностью для моделирования нелинейного поведения бетона и подходит в том числе для нагружения с плавно возрастающей нагрузкой. В качестве основных механизмов разрушения модель CDP предусматривает растрескивание при действии растягивающих напряжений и раздробление при сжатии бетонного элемента [12–27].

В соответствии с рекомендациями жесткий композитный профиль собран из четырехузловых оболочечных элементов типа S4R. Разрушение профиля и деградация его свойств описываются критерием прочности Хашина, включающего критерии прочности волокон при растяжении и сжатии в направлении волокон, критерии прочности матрицы при растяжении и сжатии в поперечном направлении, критерии расслоения при растяжении и сжатии. Напряженно-деформированное состояние профиля оценивается по эквивалентным напряжениям Мизеса.

Для создания стальных стержней продольного и поперечного армирования применили трехмерные двухузловые ферменные элементы типа T3D2, в которых возникают осевые усилия. Конечно-элементная модель учитывает как упругие, так и пластичные свойства материала.

Результаты испытания

Полученные графики прогибов по результатам численных и экспериментальных исследований приведены на рисунке 2.

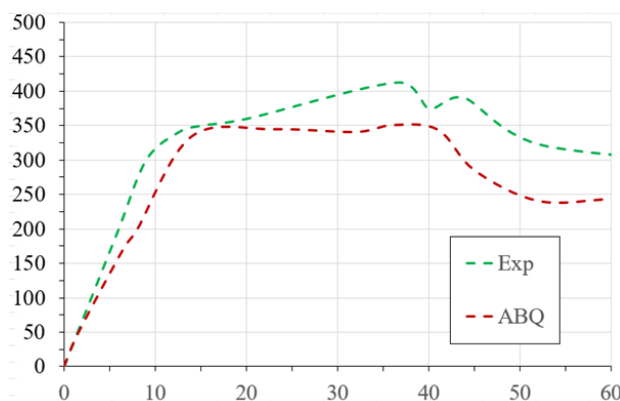


Рисунок 2. Опытные (Exp) и расчетные (ABQ) диаграммы деформирования балки
Fig. 2. Experimental (Exp) and calculated (ABQ) beam deformation diagrams

В момент разрушения образца опытный и осреднённый расчетный прогибы оказываются очень близкими – 36,6 и 36,4 мм соответственно.

Как видно, расчетная кривая по форме и значениям повторяет опытные данные, но лежит несколько ниже (см. рис. 2). Форма разрушения, полученная численным моделированием, соответствует экспериментальной: напряжения

в растянутой стальной арматуре достигают предела прочности (рис. 3) и наступает исчерпание несущей способности балки.

Напряжения в жесткой арматуре при этом своего предела прочности не достигают (рис. 4). Их значения соответствуют примерно 50 % от предельных величин, более эффективно включается в работу растянутая часть профиля.

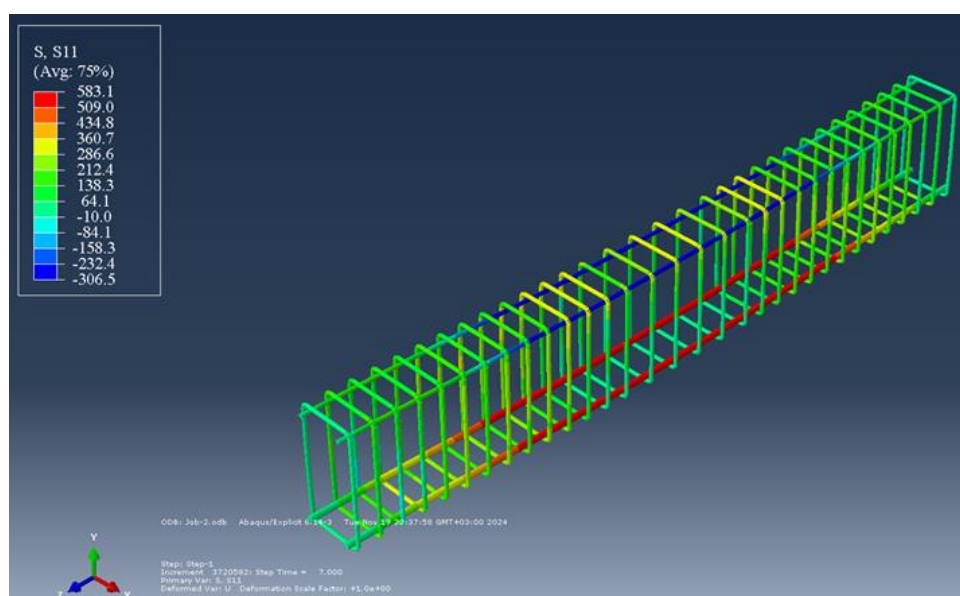


Рисунок 3. Распределение напряжений в стальном арматурном каркасе при разрушении образца
Fig. 3. Distribution of stresses in the steel reinforcement cage during specimen failure

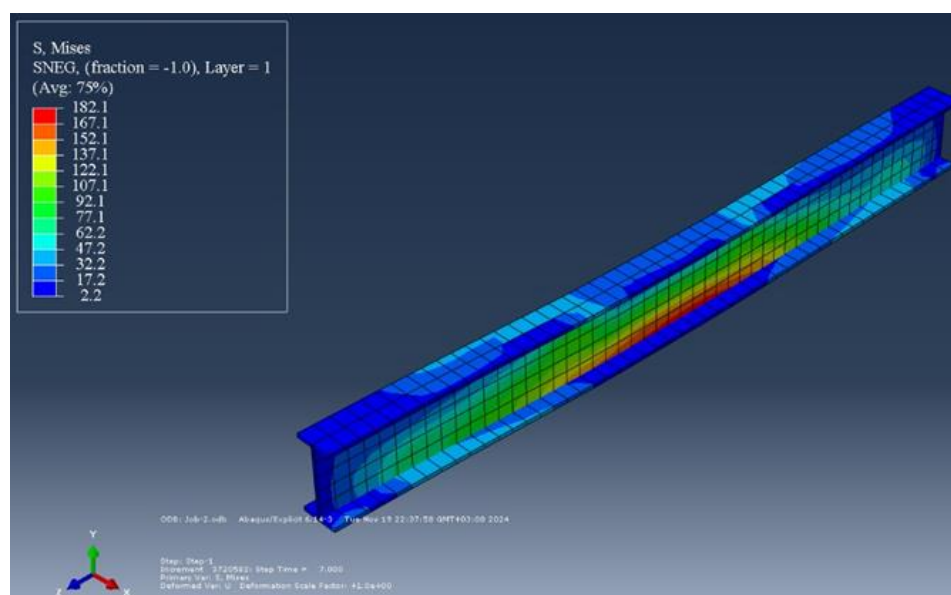


Рисунок 4. Распределение эквивалентных напряжений в жесткой композитной арматуре
Fig. 4. Distribution of equivalent stresses in rigid composite reinforcement

Разработанная конечно-элементная модель дает представление о напряженно-деформированном состоянии изгибаемого элемента на всех этапах загрузки, позволяя в том числе оценить предельные величины нагрузок. Сходимость значений расчетных и опытных предельных нагрузок является удовлетворительной, их соотношение составляет 0,85.

Отметим, что жесткая композитная арматура вносит существенный вклад в повышение несущей способности балки, а гибкая стальная арматура оказывает значительное влияние на повышение пластичности разрушения.

Численное моделирование, выполненное в рамках данной работы, подтвердило применимость выбранного подхода для прогнозирования напряженно-деформированного состояния балок с жесткой композитной арматурой. Результаты расчета прогибов, предельных нагрузок и напряжений в арматуре, полученные с использованием конечно-элементной модели, близки к экспериментальным данным. Улучшение сходимостей опытных и расчетных значений возможно при наличии большего количества исходных величин, описывающих физико-механические характеристики материалов.

Таким образом, в целом предложенная модель может быть использована для дальнейших исследований поведения под нагрузкой конструкций с жесткой композитной арматурой. Численная модель дает возможность подобрать оптимальные параметры конструирования изгибаемых

элементов с армированием из ППП, использующих прочностные свойства композитного профиля в полной мере. Модель основана на законах деформации бетона и арматуры различных типов, которые имеют опытные подтверждения. Использование средств визуализации программного комплекса для анализа результатов расчётов обеспечивает наглядность распределения усилий, деформаций и напряжений в элементах.

Заключение

Наблюдаемый рост интереса к пултрузионным профилям и их использованию для армирования бетонных элементов потребует в скором времени соответствующего объема исследований в области механических свойств таких профилей и их совместной работы с бетоном. Необходимо проведение численных и экспериментальных исследований для ППП с разным типом волокон. Это будет отвечать задачам оптимального проектирования бетонных конструкций с ППП, повышать экономическую эффективность таких решений.

Новые возможности прогнозирования прочности и деформативности перспективных материалов и конструкций в программных комплексах, интегрированных с ВМ-моделями, дадут современные и востребованные технические решения. Это отвечает принятым в нашей стране стратегическим подходам к цифровой трансформации в строительстве, отмеченным в том числе на соответствующих сессиях Российской академии архитектуры и строительных наук.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Батрак В. Е. Применение композитных материалов для промышленных сооружений // Вестник НИЦ Строительство. 2020. № 2(25). С. 5-11. DOI: 10.37538/2224-9494-2020-2(25)-5-11. EDN: JMETGT.
2. Нейросетевое прогнозирование физико-механических характеристик композитных материалов используемых для усиления строительных конструкций / В. И. Римшин, А. К. Соловьев, Л. А. Сулейманова, П. А. Амелин // Эксперт: теория и практика. 2023. № 4(23). С. 101-107. DOI: 10.51608/26867818_2023_4_101. EDN: QMDTVU.
3. Римшин, В. И., Анпилов С. М., Усанов С. В. Применение когнитивных технологий для прогнозирования прочности тонких стенок двутавровых балок // Эксперт: теория и практика. 2024. № 1(24). С. 42-52. DOI 10.51608/26867818_2024_1_42. EDN: DEIRZB.

4. Тарасов И. В. Индустрия 4.0: понятие, концепции, тенденции развития // Стратегии бизнеса. 2018. № 6(50). С. 43-49. DOI: 10.17747/2311-7184-2018-5-43-49. EDN: UWAXCR.
5. Комплексный подход к контролю качества высокопрочного бетона в период эксплуатации / В. И. Римшин, П. С. Трунтов, Е. С. Кецко, А. С. Нагуманова // Строительные материалы. 2020. № 6. С. 4-7. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-781-6-4-7. EDN: WUQXKF.
6. Результаты расчета усиления строительных конструкций здания методом конечных элементов / В. И. Римшин, Е. С. Кецко, П. С. Трунтов [и др.] // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. 2020. № 4(10). С. 67-78. EDN: PRUWHF.
7. Автоматизация жизненного цикла зданий при реконструкции и капитальном ремонте / В. И. Римшин, И. Л. Шубин, В. Т. Ерофеев, А. А. Аветисян // Жилищное строительство. 2022. № 7. С. 6-12. DOI: 10.31659/0044-4472-2022-7-6-12. EDN: LIMAVP.
8. Усиление конструкций здания текстильной промышленности внешним армированием из композитных материалов / В. И. Римшин, В. Л. Курбатов, Е. С. Кецко, П. С. Трунтов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 6(396). С. 242-249. DOI: 10.47367/0021-3497_2021_6_242. EDN: ABPOAY.
9. Кришан, А. Л., Римшин В. И., Астафьева М. А. Сжатые трубобетонные элементы. Теория и практика. Москва: АСВ, 2020. 322 с. ISBN: 978-5-4323-0352-3. EDN: ROLLKN.
10. Научные основы искусственного интеллекта в строительстве / В. И. Римшин, И. С. Кузина, А. А. Никитин, А. Е. Молчанова // Русский инженер. 2023. № 4(81). С. 41-45. EDN: FEYVPY.
11. Нейросетевое прогнозирование физико-механических характеристик композитных материалов используемых для усиления строительных конструкций / В. И. Римшин, А. К. Соловьев, Л. А. Сулейманова, П. А. Амелин // Эксперт: теория и практика. 2023. № 4(23). С. 101-107. DOI: 10.51608/26867818_2023_4_101. EDN: QMDTVU.
12. Римшин В. И., Кецко Е. С., Трунтов П. С. Большой строительный словарь. Москва: АСВ, 2022. Том 1. 572 с. EDN: AERTFJ.
13. Римшин В. И., Амелин П. А., Сулейманова Л. А. Нейросетевое прогнозирование несущей способности железобетонных элементов на различных стадиях жизненного цикла // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2024. № 11. С. 42-55. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-11-42-55. EDN: NQAETI.
14. Prediction of the ultimate strength of reinforced concrete beams FRP-strengthened in shear using neural networks / R. Perera, M. Barchin, A. Arteaga, A. De Diego // Composites Part B: Engineering. 2010. Vol. 41, no 4. Pp. 287-298. DOI: 10.1016/j.compositesb.2010.03.003.
15. Peng F., Xue W., Xue W. Database Evaluation of Shear Strength of Slender Fiber-Reinforced Polymer-Reinforced Concrete Members // ACI Structural Journal. 2020. Vol. 117, no 3. Pp. 273-282. DOI: 10.14359/51723504.
16. Estep D. D. Bending and Shear Behavior of Pultruded Glass Fiber Reinforced Polymer Composite Beams with Closed and Open Sections. Graduate Theses, Dissertations, and Problem Reports. 2014. 545. DOI: 10.33915/etd.545.
17. Lagaros N. D. Artificial Neural Networks Applied in Civil Engineering // Applied Sciences. 2023. Vol. 13, no 2. P. 1131. DOI: 10.3390/app13021131.
18. Hadi M. N. S., Yuan J. S. Experimental investigation of composite beams reinforced with GFRP I-beam and steel bars // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 144. P. 462-474. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.03.217.
19. Ibrahim T. H., Allawi A. A., El-Zohairy A. Impact Behavior of Composite Reinforced Concrete Beams with Pultruded I-GFRP Beam // Materials. 2022. Vol. 15, no 2. p. 441. DOI: 10.3390/ma15020441.
20. Mahmood E. M., Allawi A. A., El-Zohairy A. Flexural Performance of Encased Pultruded GFRP I-Beam with High Strength Concrete under Static Loading // Materials. 2022. Vol. 15, no 13. Pp. 4519. DOI: 10.3390/ma15134519.
21. Model of Stress-Strain State of Three-Layered Reinforced Concrete Structure by the Finite Element Methods / V. D. Tho, E. A. Korol, V. I. Rimshin, P. T. Anh // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. Vol. 18, no. 2. Pp. 62-73. DOI: 10.22337/2587-9618-2022-18-2-62-73. EDN: SLZMQX.
22. Compressed Reinforced Concrete Elements Bearing Capacity of Various Flexibility / A. L. Krishan, M. A. Astafeva, V. I. Rimshin [et al.] // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. Vol. 182. Pp. 283-291. DOI: 10.1007/978-3-030-85236-8_26. EDN: JPNURD.
23. Eryshev V. A., Karpenko N. I., Rimshin V. I. The Parameters Ratio in the Strength of Bent Elements Calculations by the Deformation Model and the Ultimate Limit State Method // IOP Conference Series:

Materials Science and Engineering: International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". 2020. Vol. 753. P. 022076. DOI: 10.1088/1757-899X/753/2/022076. EDN: WQBSNL.

24. Deformation Models of Concrete Strength Calculation in the Edition of Russian and Foreign Norms / N. I. Karpenko, V. I. Rimshin, V. A. Eryshev, L. I. Shubin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". 2020. Vol. 753. P. 052043. DOI: 10.1088/1757-899X/753/5/052043. EDN: TYMKCF.

25. Rimshin V. I., Suleymanova L. A., Amelin P. A. Strength of Normal Sections of Flexural Reinforced Concrete Elements Damaged by Corrosion and Strengthened with External Composite Reinforcement // Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. 2024. Vol. 20, no. 4. Pp. 331-341. DOI: 10.22363/1815-5235-2024-20-4-331-341. EDN: TZOMCJ.

26. Telichenko V., Rimshin V., Ketsko E. Digital robotic systems for non-destructive reinforced concrete structures testing // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 533. P. 02045. DOI: 10.1051/e3sconf/202453302045. EDN: SRSXHS.

27. Telichenko V., Rimshin V., Ketsko E. Promising directions for the artificial intelligence development in the housing and utilities sector // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 535. P. 05001. DOI: 10.1051/e3sconf/202453505001. EDN: OFARFI.

Статья поступила в редакцию 29.01.2025; одобрена после рецензирования 12.02.2025;
принята к публикации 10.03.2025

Информация об авторах

РИМШИН Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры жилищно-коммунального комплекса, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), член-корреспондент РААСН, г. Москва. Область научных интересов – теоретические основы силового сопротивления строительных конструкций зданий и сооружений, подверженных деградационным повреждениям. Расчет и конструирование энергоэффективных конструкций в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве. Автор более 784 научных публикаций, в том числе 112 работ в системах WOS и SCOPUS, 58 учебников и учебных пособий с грифом Минобрнауки, 36 патентов РФ и авторских свидетельств. E-mail: v.rimshin@niisf.ru

УСАНОВ Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Кубанского государственного технологического университета, г. Краснодар. Область научных интересов – техническое обследование зданий и сооружений, проектирование и непосредственное выполнение работ по реконструкции и ремонту зданий и сооружений, техническая эксплуатация зданий. Автор более 50 научных публикаций. E-mail: svusanov@gmail.com

ВОРОБЬЕВ Александр Евгеньевич – студент Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета Сибстрин, г. Новосибирск. Область научных интересов – техническое обследование зданий и сооружений, проектирование и непосредственное выполнение работ по реконструкции и ремонту зданий и сооружений, техническая эксплуатация зданий. E-mail: a.vorobyev@sibstrin.ru

САВЕЛЬЕВ Егор Сергеевич – студент Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета Сибстрин, г. Новосибирск. Область научных интересов – техническое обследование зданий и сооружений, проектирование и непосредственное выполнение работ по реконструкции и ремонту зданий и сооружений, техническая эксплуатация зданий. E-mail: e.savelyev@sibstrin.ru

Вклад авторов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 69.07

<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2024.4.63>

EDN: AVNOST

Numerical simulation of the stress-strain state of beams with rigid composite reinforcement**V. I. Rimshin^{1,2✉}, S. V. Usanov^{2,3}, A. E. Vorobev⁴, E. S. Savelev⁴**¹National Research Moscow State University of Civil Engineering (Moscow)²Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (Moscow)³Kuban State Technological University (Krasnodar)⁴Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering Sibstrin (Novosibirsk)
v.rimshin@niisf.ru✉**Abstract**

Introduction. One of the key stages of the BIM-model development is the assessment of loads and impacts. The framework for executing such calculations is integrated into specialised software applications. The finite element method, a prevalent numerical technique for addressing diverse scientific and engineering challenges, is arguably the most often used method for structural calculations globally, having acquired prominence due to its advantages. This method encompasses the ability to calculate structures with complex geometry by approximating surfaces to the necessary precision, the ability to take into account materials with different properties in the structure and so on. The primary downside of this method is the necessity of doing numerous calculations. The contemporary computational capabilities of IT equipment enable rapid calculations, yet the complexity and demands of these calculations are also increasing.

One of the promising materials gaining increasing interest in the building industry is the pultruded polymer profile. Structures reinforced with such profiles have only recently come to use in construction; hence, experimental data are available in restricted amount. In instances involving structures reinforced with composite polymer reinforcement, the application of pultruded polymer profiles in external calculation methodologies draws a parallel to rigid steel reinforcement, with modifications made to account for the features of these profiles. Regulatory papers for domestic constructions using rigid composite reinforcement have yet to be developed.

The aim of research is to develop a finite element model for assessing the bearing capacity of bending elements reinforced with rigid composite polymers and to evaluate the resulting data.

Materials and Methods. This study details the numerical implementation of the model using the SIMULIA Abaqus software package, which has several advantages. The application enables the simulation of both static and dynamic loading, provides detailed visualisation of results, and includes specialised tools for getting solutions that account for nonlinear factors such as plasticity, creep, and variations in rigidity. The problem is solved by a spatial formulation that considers the nonlinear characteristics of concrete and reinforcement.

Research outcomes. The numerical model can be used for further studies into the performance of structures with stiff composite reinforcement subjected to load. The proposed model enables the selection of ideal parameters for designing bending elements with pultruded polymer profile reinforcement, hence maximising the strength attributes of the composite profile. The model is based on the principle of deformation of concrete and reinforcement of various types, substantiated by experimental evidence.

Conclusions. New opportunities for predicting the strength and deformability of promising materials and structures in software packages integrated with BIM-models can provide modern and popular technical solutions. This corresponds to the strategic approaches to digital transformation in construction adopted in our country.

Keywords: numerical modeling; stress-strain state; beam; rigid composite polymer reinforcement; bearing capacity; bendable elements.

Funding. This study was not supported by any external sources of funding.

For citation: Rimshin V. I., Usanov S. V., Vorobev A. E., Savelev E. S. Numerical simulation of the stress-strain state of beams with rigid composite reinforcement. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies.* 2025;(1):63–73. (In Russian). <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.63>; EDN: AVNOST

REFERENCES

1. Batrak V. E. Application of composite materials for industrial structures. *Bulletin of the Scientific Research Center Construction*. 2020;(2):5-11. DOI: 10.37538 / 2224-9494-2020-2 (25) -5-11. EDN: JMETGT. (In Russ.).
2. Rimshin V. I., Soloviev A. K., Suleymanova L. A., Amelin P. A. Neural network prediction of physical-mechanical characteristics of composite materials used for strengthening building structures. *Expert: theory and practice*. 2023;(4):101-107. DOI: 10.51608 / 26867818_2023_4_101. EDN: QMDTVU. (In Russ.).
3. Rimshin, V. I., Anpilov S. M., Usanov S. V. Application of cognitive technologies for forecasting the strength of thin-walled I-beams. *Expert: theory and practice*. 2024;(1):42-52. DOI: 10.51608/26867818_2024_1_42. EDN: DEIRZB. (In Russ.).
4. Tarasov I. V. Industry 4.0: concept & development. *Business strategies*. 2018;(6):43-49. DOI: 10.17747/2311-7184-2018-5-43-49. EDN: UWAXCR. (In Russ.).
5. Rimshin V. I., Truntov P. S., Ketsko E. S., Nagumanova A. S. Comprehensive approach to quality control of high-strength concrete during operation. *Construction materials*. 2020;(6):4-7. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-781-6-4-7. EDN: WUQXKF. (In Russ.).
6. Rimshin V. I., Ketsko E. S., Truntov P. S. et al. Results of calculation of building constructions strengthening using finite element method. *Bulletin of Vologda State University. Series: Technical Sciences*. 2020;(4):67-78. EDN: PRUWHF. (In Russ.).
7. Rimshin V. I., Shubin I. L., Erofeev V. T., Avetisyan A. A. Automation of the life cycle of buildings during reconstruction and major repairs. *Housing construction*. 2022;7:6-12. DOI: 10.31659/0044-4472-2022-7-6-12. EDN: LIMAVP. (In Russ.).
8. Rimshin V. I., Kurbatov V. L., Ketsko E. S., Truntov P. S. Extile industry building strengthening with external reinforcement with composite materials. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology*. 2021;(6):242-249. DOI: 10.47367/0021-3497_2021_6_242. EDN: ABPOAY. (In Russ.).
9. Krishan, A. L., Rimshin, V. I., Astafieva, M. A. Compressed concrete pipe elements. Theory and practice. Moscow: ASV Publishing House, 2020. 322 p. ISBN: 978-5-4323-0352-3. EDN: ROLLKN. (In Russ.).
10. Rimshin V. I., Kuzina I. S., Nikitin A. A., Molchanova A. E. Scientific foundations of artificial intelligence in construction. *Russian engineer*. 2023;(4):41-45. EDN: FEYPVY. (In Russ.).
11. Rimshin V. I., Soloviev A. K., Suleymanova L. A., Amelin P. A. Neural network prediction of physical-mechanical characteristics of composite materials used for strengthening building structures. *Expert: theory and practice*. 2023;(4):101-107. DOI: 10.51608/26867818_2023_4_101. EDN: QMDTVU. (In Russ.).
12. Rimshin V. I., Ketsko E. S., Truntov P. S. Big construction dictionary. Moscow: Publishing house ASV, 2022. Vol. 1. 572 p. EDN: AERTFJ. (In Russ.).
13. Rimshin V. I., Amelin P. A., Suleymanova L. A. Neural network forecasting of the bearing capacity of damaged reinforced concrete elements at various stages of the life cycle. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after. V. G. Shukhov*. 2024;(11):42-55. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-11-42-55. EDN: NQAETI. (In Russ.).
14. Perera R., Barchín M., Arteaga A., De Diego A. Prediction of the ultimate strength of reinforced concrete beams FRP-strengthened in shear using neural networks. *Composites Part B: Engineering*. 2010;41(4):287-298. DOI: 10.1016/j.compositesb.2010.03.003.
15. Peng F., Xue W., Xue W. Database Evaluation of Shear Strength of Slender Fiber-Reinforced Polymer-Reinforced Concrete Members. *ACI Structural Journal*. 2020;117(3):273-282. DOI: 10.14359/51723504.
16. Estep D. D. Bending and Shear Behavior of Pultruded Glass Fiber Reinforced Polymer Composite Beams with Closed and Open Sections. *Graduate Theses, Dissertations, and Problem Reports*. 2014;545. DOI: 10.33915/etd.545.
17. Lagaros N. D. Artificial Neural Networks Applied in Civil Engineering. *Applied Sciences*. 2023;13(2):1131. DOI: 10.3390/app13021131.
18. Hadi M. N. S., Yuan J. S. Experimental investigation of composite beams reinforced with GFRP I-beam and steel bars. *Construction and Building Materials*. 2017;144:462-474. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.03.217.
19. Ibrahim T. H., Allawi A. A., El-Zohairy A. Impact Behavior of Composite Reinforced Concrete Beams with Pultruded I-GFRP Beam. *Materials*. 2022;15(2):441. DOI: 10.3390/ma15020441.
20. Mahmood E. M., Allawi A. A., El-Zohairy A. Flexural Performance of Encased Pultruded GFRP I-Beam with High Strength Concrete under Static Loading. *Materials*. 2022;15(13):4519. DOI: 10.3390/ma15134519.
21. Tho V. D., Korol E. A., Rimshin V. I., Anh P. T. Model of Stress-Strain State of Three-Layered Reinforced Concrete Structure by the Finite Element Methods. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2022;18(2):62-73. DOI: 10.22337/2587-9618-2022-18-2-62-73. EDN: SLZMQX.

22. Krishan A. L., Astafeva M. A., Rimshin V. I. et al. Compressed Reinforced Concrete Elements Bearing Capacity of Various Flexibility. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022;182:283-291. DOI: 10.1007/978-3-030-85236-8_26. EDN: JPNURD.

23. Eryshev V. A., Karpenko N. I., Rimshin V. I. The Parameters Ratio in the Strength of Bent Elements Calculations by the Deformation Model and the Ultimate Limit State Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019"*. 2020;753:022076. DOI: 10.1088/1757-899X/753/2/022076. EDN: WQBSNL.

24. Karpenko N. I., Rimshin V. I., Eryshev V. A., Shubin L. I. Deformation Models of Concrete Strength Calculation in the Edition of Russian and Foreign Norms. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019"*. 2020;753:052043. DOI: 10.1088/1757-899X/753/5/052043. EDN: TYMKCF.

25. Rimshin V. I., Suleymanova L. A., Amelin P. A. Strength of Normal Sections of Flexural Reinforced Concrete Elements Damaged by Corrosion and Strengthened with External Composite Reinforcement. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2024;20(4):331-341. DOI: 10.22363/1815-5235-2024-20-4-331-341. EDN: TZOMCJ.

26. Telichenko V., Rimshin V., Ketsko E. Digital robotic systems for non-destructive reinforced concrete structures testing. *E3S Web of Conferences*. 2024;533:02045. DOI: 10.1051/e3sconf/202453302045. EDN: SRSXHS.

27. Telichenko V., Rimshin V., Ketsko E. Promising directions for the artificial intelligence development in the housing and utilities sector. *E3S Web of Conferences*. 2024;535:05001. DOI: 10.1051/e3sconf/202453505001. EDN: OFARFI.

The manuscript was submitted on 29.01.2025; reviewed on 12.02.2025;
adopted for publication on 10.03.2025

Information about the authors

RIMSHIN Vladimir Ivanovich – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Housing and Communal Complex of the National Research Moscow State University of Civil Engineering, Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN), Corresponding Member of the RAASN, Moscow. Research interests – theoretical foundations of force resistance in building constructions subject to degradation damage. Calculation and design of energy-efficient structures in housing and communal services and construction. Author of more than 784 publications, including 112 works indexed in WoS and SCOPUS, 58 student manuals approved by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, 36 patents for inventions of the Russian Federation. E-mail: v.rimshin@niisf.ru

USANOV Sergei Vladimirovich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Building Structures of the Kuban State Technological University, Krasnodar. Research interests – technical inspection of buildings and structures, design and direct execution of works on reconstruction and repair of buildings and structures, and technical operation of buildings. Author of more than 50 publications. E-mail: svusanov@gmail.com

VOROBEEV Aleksandr Evgenievich – student of Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering Sibstrin (Novosibirsk). Research interests – technical inspection of buildings and structures, design and direct execution of works on reconstruction and repair of buildings and structures, and technical operation of buildings. E-mail: a.vorobyev@sibstrin.ru

SAVELEV Egor Sergeevich – student of Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering Sibstrin (Novosibirsk). Research interests – technical inspection of buildings and structures, design and direct execution of works on reconstruction and repair of buildings and structures, and technical operation of buildings. E-mail: e.savelyev@sibstrin.ru

Contribution of the authors. The authors contributed equally to this paper.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

The authors reviewed and approved the final version of the manuscript.

ТЕХНОЛОГИИ

Научная статья

УДК 674.061

<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.74>

EDN: BMIGSD

Совершенствование технологии поперечного раскря пиловочной части ствола дерева с ядровой гнилью

В. Е. Бызов^{1✉}, В. И. Мелехов², А. С. Торопов³

¹Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия им. А. Л. Штиглица (г. Санкт-Петербург)

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова (г. Архангельск)

³Поволжский государственный технологический университет (г. Йошкар-Ола)

marana@inbox.ru✉

Аннотация

Введение. Важнейшей задачей переработки круглых лесоматериалов является эффективное использование заготавливаемой древесины. Одно из направлений повышения эффективности использования древесины – получение пиловочного сырья, из которого можно выработать пилопродукцию с высокой потребительской стоимостью. В настоящее время ведется разработка методов распознавания качественных зон круглых лесоматериалов для целевого использования сырья. Заготовка древесины с учетом качественных зон позволит получить значительный экономический эффект за счет более полного использования древесины.

Однако часто стволы деревьев поражаются напенной гнилью. При переработке заготовленной древесины комлевая часть стволов деревьев, пораженная деструктивной напенной гнилью, полностью удаляется. В то же время это наиболее ценная часть ствола дерева, в которой находится прямослойная, обладающая высокими прочностными характеристиками древесина. Повышение ресурса древесины может обеспечиваться вовлечением круглых лесоматериалов с присутствием деструктивной напенной гнили в процесс выработки высококачественной пилопродукции.

Цель исследования – совершенствование технологии поперечного раскря пиловочной части ствола дерева с ядровой гнилью для повышения объемного выхода пиловочных сортиментов.

Материалы и методы. Применена математическая модель описания образующей пиловочной части древесного ствола. Получены аллометрические зависимости изменения образующей по длине пиловочной части и размеров гнили в стволе. Выполнены оптимизационный раскрой и прогнозирование выхода пиловочных сортиментов методом исчерпывающих решений.

Результаты исследования. Разработана рациональная технология раскря пиловочной части ствола дерева с выработкой из комлевой части пиловочных сортиментов с частичным наличием деструктивной гнили. Установлено, что в результате применения традиционного метода поперечного раскря пиловочной части ствола дерева выход пиловочных сортиментов составляет 23-53 %. Применение рационального метода поперечного раскря пиловочной части ствола дерева с частичной выработкой сортиментов с деструктивной гнилью позволяет достичь 78-80 %.

Выводы. Выработка из пиловочной части ствола дерева сортиментов с присутствием деструктивной гнили повышает объемный выход пиловочника для производства высококачественной пилопродукции.

Ключевые слова: круглые лесоматериалы; пиловочная часть ствола дерева; аллометрические зависимости образующей по длине ствола; поперечный раскрой; пиловочные сортаменты; объемный выход пилопродукции; ядровая деструктивная гниль.

Финансирование. авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Для цитирования: Бызов В. Е., Мелехов В. И., Торопов А. С. Совершенствование технологии поперечного раскроя пиловочной части ствола дерева с ядровой гнилью // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2025. № 1 (33). С. 74–86. <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.74>; EDN: BMIGSD

Введение

Древесина хвойных пород является наиболее востребованным видом материала, которая используется при выработке пилопродукции, применяемой во многих отраслях промышленности. Древесина относится к биологическим материалам. Ей присущи биологические признаки, которые в ряде случаев являются деструктивными пороками, снижающими ее качество. Древесные стволы в этом случае являются полуфабрикатами, из которых получают древесину различного назначения. От качества стволов зависит качество изготавливаемых из них сортаментов [1]. Наиболее объективной оценкой качества древостоев является объемный выход лесопроductии [2]. Однако для практики проведения лесозаготовок главным критерием должен являться объем пилопродукции конкретного назначения, получаемой из древесных стволов.

Для определения качества древостоев применяют методы количественной оценки качества продукции – квалиметрии. Применяют разработанный О. И. Полубояриновым комплексный показатель, рассчитываемый на основании относительных показателей качества древостоев и параметров их весомости [2]. Метод оценки качества древостоев комплексным показателем позволяет оценить качество древесины с учетом представленных номенклатурных характеристик и их весомости. Результаты исследований указывают на то, что наиболее весомым показателем качества пиловочника и балансов является отсутствие/наличие гнили

[3]. Отклонение от стандартизированных норм исключает использование древесного сырья в качестве пиловочника или балансов.

Ствол дерева можно условно разделить на пиловочную и балансовую части (рис. 1). Границей пиловочной и балансовой частей принимается сечение ствола дерева диаметром 13 см. В пиловочной части часто присутствует ядровая гниль.

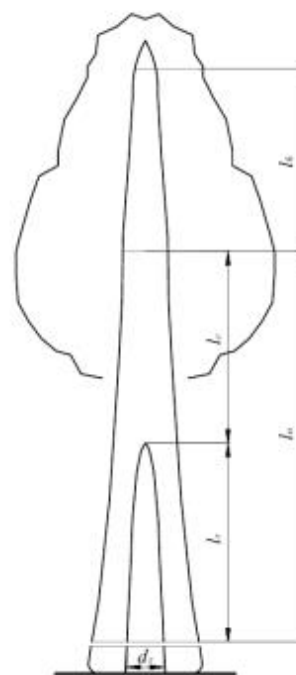


Рисунок 1. Схема ствола дерева: l_r – длина гнили, м; l_n – длина пиловочной части ствола, м; l_b – длина балансовой части ствола, м; d_r – диаметр гнили в комле ствола, м

Fig. 1. Tree trunk diagram: l_r – length of the rot, m; l_n – length of the trunk without rot, m; l_b – length of the sawing part of the trunk, m; l_b – length of the balance part of the trunk, m; d_r – diameter of the rot in the trunk, m

Балансовая часть ствола дерева перерабатывается на технологическую щепу для целлюлозно-бумажной промышленности. Из пиловочной части ствола дерева получают пиловочник, который затем раскраивается на пилопродукцию. В целях оптимального получения пиловочника необходимого качества прежде всего необходимо определить размеры и расположение гнили в пиловочной части ствола дерева. Кроме того, важными показателями свойств древесины, влияющими на процессы дальнейшего раскря ствола дерева, являются плотность и другие показатели прочностных характеристик древесины.

Одним из перспективных методов исследования свойств, строения и внутреннего состояния древесины является квазинеразрушающий метод, основанный на измерении сопротивления сверлению древесины тонкими буровыми сверлами [4]. Определение диаметров гнили в растущем дереве проводится путем последовательного сверления по высоте ствола. Применение этого метода для оценки распространения гнили в растущем дереве позволяет спрогнозировать способы раскря ствола с максимальным выходом из него пилопродукции.

Создание ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих максимальный выход конечной продукции из пиловочной части дерева, является главным фактором стратегического планирования развития лесозаготовок на современном этапе. Новые информационные технологии должны базироваться на индивидуальном подходе к предмету труда, что, в свою очередь, требует математического описания параметров пиловочной части дерева, пораженной ядровой напеной гнилью [5, 6].

Целью исследования является совершенствование технологии поперечного раскря пиловочной части ствола дерева с целью повышения объемного выхода пиловочных сортиментов.

Основные идеи исследования

Для определения параметров пиловочной части дерева использовали математическую модель, в основе которой заложен закон естественного роста ствола дерева [6–8]. Оптимальный раскрой и прогнозирование выхода пилопродукции из пиловочной части дерева осуществили, применив метод исчерпывающих решений [9]. При поиске оптимального решения учитывали ограничения по длине пиловочной части ствола дерева, длине распространения напеной гнили и т.д. Для ограничения числа решений применили метод ветвей и границ «дерева цели».

Согласно исследованиям [8], пиловочная зона ствола дерева может быть представлена в виде

$$d_{п.ч} = d_0 + al_{п.ч}^b,$$

где $d_{п.ч}$, $l_{п.ч}$ – переменные параметры, соответственно диаметр и длина пиловочной части ствола дерева, м; d_0 – диаметр ствола дерева на границе, условно разделяющей пиловочную и балансовую зоны ствола дерева, м; a – константа начального состояния, согласно закону естественного роста дерева; b – константа равновесия, передающая темп изменения диаметра относительно длины естественного роста дерева.

Как уже отмечалось ранее, пиловочная часть дерева часто поражается напеной гнилью, что ведет к резкому снижению полезного выхода получаемой пилопродукции. Распространение гнили в пиловочной части ствола дерева подчиняется закону естественного роста и может быть представлена в виде

$$d_{г} = d_{г0} + al_{г}^b,$$

где $d_{г}$, $l_{г}$ – переменные параметры, соответственно диаметр и длина распространения гнили, м; $d_{г0}$ – диаметр гнили на торцевой комлевой поверхности пиловочной части ствола дерева, м; a и b – соответственно константы начального состояния и равновесия.

Объемы пиловочной части ствола дерева $V_{п.ч}$ и объем гнили $V_{г}$ в пиловочной части определили по формулам

$$V_{п.ч} = \frac{\pi}{4} \int_0^{l_{п.ч}} (d_0 + al_{п.ч}^b)^2 dl_{п.ч};$$

$$V_{г} = \frac{\pi}{4} \int_0^{l_{г}} (d_{г0} + al_{г}^b)^2 dl_{г}.$$

Материалы и методы исследования

Решать задачу нахождения максимального полезного выхода пилопродукции из пиловочной части ствола дерева начали с математического описания образующей пиловочной части древесного ствола. Математическую модель образующей получили с применением программы METHODS, разработанной в Поволжском государственном технологическом университете (г. Йошкар-Ола).

Выполнили обработку замеров диаметров пиловочной части ствола и диаметров напенной гнили на трех хлыстах (образцах). Геометрические размеры образцов пиловочных частей ствола дерева следующие: диаметры на границе пиловочной и балансовой частей 140, 144 и 137 мм, длина образцов 19, 23 и 15 м. Замерили диаметры пиловочной части ствола дерева без учета коры и диаметры напенной гнили. Замеры диаметров пиловочной части провели на границе с балансовой частью ствола дерева и далее через каждые два метра по длине пиловочной части. Замеры напенной гнили провели на уровне торцевой комлевой поверхности пиловочной части ствола дерева и далее вверх по стволу через каждый метр. Точность измерений составляла 0,001 м.

В результате обработки получили аллометрические зависимости изменения диаметра образующей по длине пиловочной части ствола в частном виде, в первом $d_{п.ч.1}$, втором $d_{п.ч.2}$ и третьем $d_{п.ч.3}$ образцах соответственно:

$$d_{п.ч.1} = 0,140 + 0,002906l_{п.ч.1}^{1,361374};$$

$$d_{п.ч.2} = 0,144 + 0,003274l_{п.ч.2}^{1,455397};$$

$$d_{п.ч.3} = 0,137 + 0,002733l_{п.ч.3}^{1,53596},$$

где $l_{п.ч.1}$, $l_{п.ч.2}$, $l_{п.ч.3}$ — длина пиловочной части первого, второго и третьего образцов соответственно.

Также получили аллометрические зависимости размеров гнили в частном виде, соответственно в первом $d_{г.1}$, втором $d_{г.2}$ и третьем $d_{г.3}$ образцах:

$$d_{г.1} = 0,170 + 0,016000l_{г.1}^{1,906921};$$

$$d_{г.2} = 0,240 + 0,074531l_{г.2}^{0,80259};$$

$$d_{г.3} = 0,200 + 0,082182l_{г.1}^{0,66162},$$

где $l_{г.1}$, $l_{г.2}$, $l_{г.3}$ — длина гнили в первом, втором, третьем образцах соответственно.

Проверили адекватность полученных математических моделей аллометрических зависимостей по критерию Фишера [10]. Результаты проверки показали, что аллометрические зависимости адекватно описывают распределение значений диаметров по длине пиловочной части ствола дерева и размеров гнили.

Определили объемы пиловочной части древесного ствола и напенной гнили. Аналитический способ определения объема пиловочной части ствола дерева основан на существовании функциональной связи между площадью поперечного сечения и высотой ствола дерева. Зная форму образующей ствола дерева, выраженную математической формулой, можно определить объем пиловочной части ствола дерева по формуле

$$V_{п.ч.} = \frac{\pi}{4} \int_0^L (d_0 \pm al_{п.ч.}^b)^2 dl_{п.ч.} \quad (1)$$

После интегрирования уравнения (1) получили выражение

$$V_{п.ч.} = \frac{\pi}{4} \left(d_0^2 l_{п.ч.} + 2 \frac{ad_0}{b+1} l_{п.ч.}^{b+1} + \frac{a^2}{2b+1} l_{п.ч.}^{2b+1} \right), \quad (2)$$

где d_0 – диаметр ствола дерева на границе, условно разделяющей пиловочную и балансовую зоны ствола дерева, м; $l_{п.ч.}$ – переменный параметр длины пиловочной части ствола дерева, м; a – константа начального состояния, согласно закону естественного роста дерева; b – константа равновесия, передающая темп изменения диаметра относительно длины естественного роста дерева.

Определили объем гнили в пиловочной части ствола дерева по формуле

$$V_{г.} = \frac{\pi}{4} \int_0^{l_{г.}} (d_0 \pm al_{г.}^b)^2 dl_{г.} \quad (3)$$

Проинтегрировали уравнение (3):

$$V_{г.} = \frac{\pi}{4} \left(d_{г.0}^2 l_{г.} + 2 \frac{ad_{г.0}}{b+1} l_{г.}^{b+1} + \frac{a^2}{2b+1} l_{г.}^{2b+1} \right), \quad (4)$$

где $d_{г.0}$ – диаметр гнили на торцевой комлевой поверхности пиловочной части ствола дерева, м; $l_{г.}$ – переменный параметр длины распространения гнили, м; a и b – константы начального состояния и равновесия соответственно.

Результаты исследования

Расчетные объемы пиловочной части ствола дерева первого, второго и третьего образцов приведены в таблице 1, расчетные объемы гнили в образцах – в таблице 2.

Таблица 1. Объемы пиловочной части ствола дерева

Table 1. Volumes of the sawn part of the tree trunk

Номер образца	Длина пиловочной части, м	Коэффициенты		Диаметры пиловочной части, м		Объем пиловочной части, м ³
		a	b	в вершине	в комле	
1	19	0,002906	1,361374	0,140	0,300	0,678
2	23	0,003274	1,455397	0,144	0,458	1,495
3	15	0,002733	1,453596	0,137	0,277	0,464

Таблица 2. Объемы гнили в пиловочной части ствола дерева

Table 2. The volume of rot in the sawn part of the tree trunk

Номер образца	Длина гнили, м	Коэффициенты		Диаметры гнили, м		Объем гнили, м ³
		a	b	в вершине	в комле	
1	4	-0,016000	1,906921	0,016	0,170	0,026
2	10	-0,074531	0,802590	0,065	0,240	0,440
3	4	-0,082182	0,661620	0,052	0,200	0,025

Объем здоровой древесины рассчитали по формуле

$$V_{з.д.} = V_{п.ч.} - V_{г.},$$

где $V_{п.ч.}$ – объем пиловочной части ствола дерева, м³; $V_{г.}$ – объем гнили, м³.

Объемы здоровой древесины в образцах 1, 2 и 3 составляют соответственно 0,652, 1,055 и 0,439 м³, или 96,2; 70,6 и 94,6 % от объема пиловочной части.

При поперечном раскрое пиловочной части ствола дерева необходимо стремиться к получению пиловочных сортиментов необходимой длины с наиболее высокими

диаметрами для производства пиломатериалов. При поперечном раскрое также следует получать бревна длиной равной высоте качественных зон, что способствует увеличению качественного и ценностного выхода пилопродукции при их распиловке. В данном случае критерием оптимального поперечного раскроя является максимальный цилиндрический объем пиловочных сортиментов, полученных из пиловочной части ствола дерева.

Цилиндрический объем сортиментов из пиловочной зоны ствола дерева определяли по формуле

$$V_c = \frac{\sum V_{ci}}{V_{п.ч.}} \cdot 100 \%,$$

где V_{ci} – цилиндрический объем i -го сортимента, м^3 ; $V_{п.ч.}$ – объем пиловочной части ствола дерева, м^3 .

$$V_{ci} = \frac{\pi d_i^2}{4} \cdot l_i,$$

где d_i – диаметр в вершине i -го сортимента, м; l_i – длина i -го сортимента, м.

При традиционной технологии поперечного раскря последовательно, начиная с комля, отпиливают короткие отрезки длиной 1–2 м, добиваясь того, чтобы гниль в первом сортименте не превышала допустимых размеров для 2-го сорта по ГОСТ 9463-2016 «Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические усло-

вия». Рассмотрели традиционный способ поперечного раскря пиловочной части ствола дерева для первого, второго и третьего образцов. Варианты раскря пиловочной части образцов приведены на рисунках 2, 3, и 4. Результаты расчетов цилиндрического объема отрезков для удаления гнили и пиловочных сортиментов из пиловочной части ствола дерева первого, второго и третьего образцов приведены в таблицах 3, 4 и 5.

Раскря проводили с учетом выработки пиловочных сортиментов номинальной длиной 4,0, 5,5 и 6,0 м. Эти длины сортиментов наиболее целесообразны для удобства их перевозки автомобильным и железнодорожным транспортом. Из комлевой части стволов деревьев вырабатывали сортименты наибольшей длины.

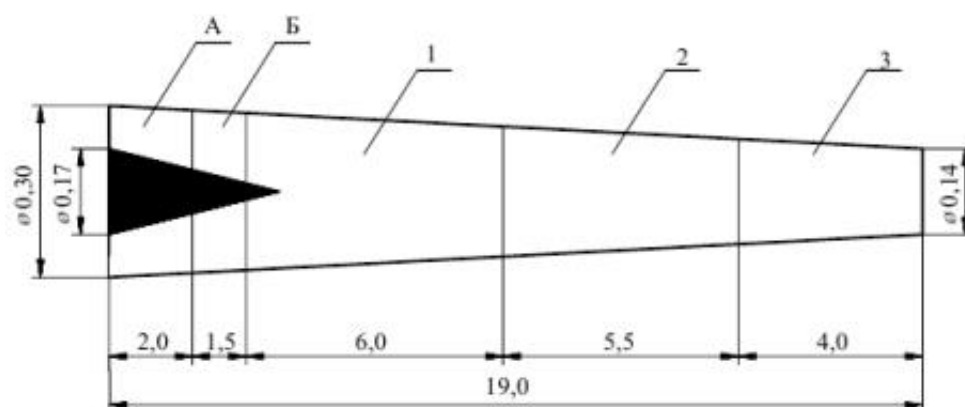


Рисунок 2. Схема традиционного способа поперечного раскря пиловочной части ствола дерева первого образца: А, Б – отрезки для удаления гнили; 1, 2, 3 – пиловочные сортименты

Fig 2. The scheme of the traditional method of cross-cutting the sawn part of the tree trunk of the first sample: A, B – cuts for removing rot; 1, 2, 3 – sawn sorts

Таблица 3. Цилиндрические объемы отрезков для удаления гнили и пиловочных сортиментов из пиловочной части ствола дерева первого образца

Table 3. Cylindrical volumes of sections for removing rot and sawn grades from the sawn part of the tree trunk of the first sample

Обозначение	Длина, м	Диаметр, м		Цилиндрический объем, м^3	Объем пиловочных сортиментов, м^3	Объем отрезков, м^3
		в вершине	в комле			
А	2	0,278	0,300	0,121336	0,362882	0,201548
Б	1,5	0,261	0,278	0,080212		
1	6,0	0,202	0,261	0,192187		
2	5,5	0,159	0,202	0,109151		
3	4,0	0,140	0,159	0,061544		

Цилиндрический объем пиловочных сортиментов составляет 53,52 %, объем отрезов – 29,73 % от общего объема пиловочной части ствола дерева первого образца.

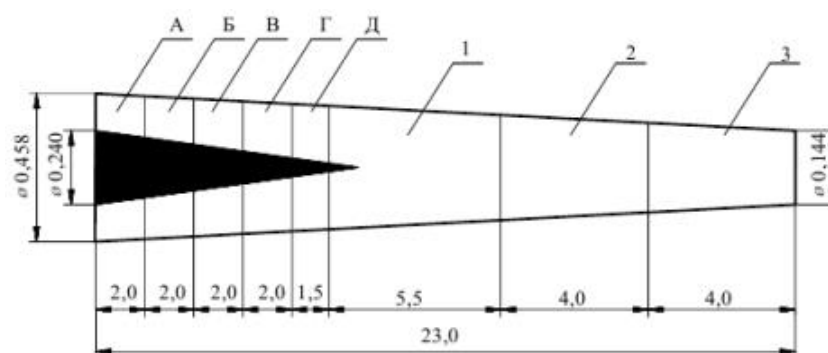


Рисунок 3. Схема традиционного способа поперечного раскроя пиловочной части ствола дерева второго образца: А, Б, В, Г, Д – отрезки для удаления гнили; 1, 2, 3 – пиловочные сортименты
Fig. 3. The scheme of the traditional method of cross-cutting the sawn part of the tree trunk of the second sample: A, B, C, D, E – cuts for removing rot; 1, 2, 3 – sawn sorting

Таблица 4. Цилиндрические объемы отрезков для удаления гнили и пиловочных сортиментов из пиловочной части ствола дерева второго образца

Fig. 4. Cylindrical volumes of sections for removing rot and sawn grades from the sawn part of the trunk of the second sample tree

Обозначение	Длина, м	Диаметр, м		Цилиндрический объем, м ³	Объем пиловочных сортиментов, м ³	Объем отрезков, м ³
		в вершине	в комле			
А	2,0	0,419	0,458	0,275631	0,348839	0,944843
Б	2,0	0,382	0,419	0,229101		
В	2,0	0,346	0,382	0,187954		
Г	2,0	0,313	0,346	0,153811		
Д	1,5	0,289	0,313	0,098346		
1	5,5	0,212	0,289	0,194046		
2	4,0	0,169	0,212	0,089682		
3	4,0	0,144	0,169	0,065111		

Цилиндрический объем пиловочных сортиментов составляет 23,33 % от общего объема пиловочной части ствола дерева второго образца, объем отрезков – 63,20 %.

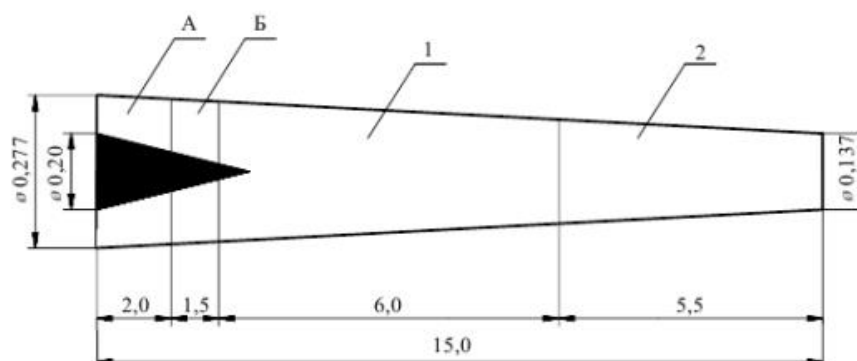


Рисунок 4. Схема традиционного способа поперечного раскроя пиловочной части ствола дерева третьего образца: А, Б – отрезки для удаления гнили; 1, 2 – пиловочные сортименты

Fig. 4. The scheme of the traditional method of cross-cutting the sawn part of the tree trunk of the third sample: A, B – cuts for removing rot; 1, 2 – sawn sorts

Таблица 5. Цилиндрические объемы отрезков для удаления гнили и пиловочных сортиментов из пиловочной части ствола дерева третьего образца

Fig. 5. Cylindrical volumes of sections for removing rot and sawn grades from the sawn part of the tree trunk of the third sample

Обозначение	Длина, м	Диаметр, м		Цилиндрический объем, м ³	Объем пиловочных сортиментов, м ³	Объем отрезков, м ³
		в вершине	в комле			
А	2,0	0,251	0,277	0,098912	0,217154	0,162230
Б	1,5	0,232	0,251	0,063378		
1	6,0	0,170	0,232	0,136119		
2	5,5	0,137	0,170	0,081035		

Цилиндрический объем пиловочных сортиментов составляет 46,80 % от общего объема пиловочной части ствола дерева третьего образца, объем отрезков – 34,98 %.

В целях увеличения выхода пилопродукции из пиловочной части ствола дере-

ва, пораженной напенной гнилью, предлагается проведение поперечного раскря с получением сортиментов, в которых присутствует гниль. Вариант рационального способа раскря пиловочной части первого образца приведен на рисунке 5.

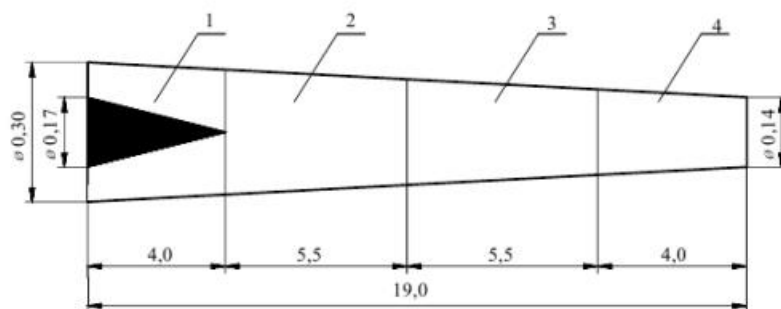


Рисунок 5. Схема рационального способа поперечного раскря пиловочной части ствола дерева первого образца: 1 – пиловочный сортимент с наличием гнили; 2, 3, 4 – пиловочные сортименты без гнили

Fig. 5. The scheme of the rational method of cross-cutting the sawn part of the tree trunk of the first sample: 1 – sawn sorting with the presence of rot; 2, 3, 4 – sawn sorting without rot

Раскря выполнен таким образом, чтобы гниль полностью оказалась в первом от комля пиловочном сортименте. При традиционной схеме поперечного раскря эта часть пиловочной части ствола дерева почти полностью удаляется. Таким образом, происходит увеличе-

ние объема сортиментов для получения пиломатериалов. Гниль, находящаяся в сортименте, в дальнейшем удаляется при выработке пилопродукции. Результаты расчетов цилиндрического объема пиловочных сортиментов приведены в таблице 6.

Таблица 6. Цилиндрические объемы пиловочных сортиментов, выработанных рациональным способом раскря пиловочной части ствола дерева первого образца

Fig. 6. Cylindrical volumes of sawn grades developed by a rational method of cutting the sawn part of the tree trunk of the first sample

Обозначение	Длина, м	Диаметр, м		Цилиндрический объем, м ³	Объем пиловочных сортиментов, м ³
		в вершине	в комле		
1	4,0	0,256	0,300	0,205783	0,547444
2	5,5	0,202	0,256	0,176171	
3	5,5	0,159	0,202	0,109151	
4	4,0	0,140	0,159	0,061544	

Цилиндрический объем пиловочных сортиментов, в том числе с наличием гнили составляет 80,74 % от общего объема пиловочной части ствола дерева первого образца.

Вариант рационального способа раскря пиловочной части второго образца показан на рисунке 6. Результаты расчетов цилиндрического объема пиловочных сортиментов приведены в таблице 7.

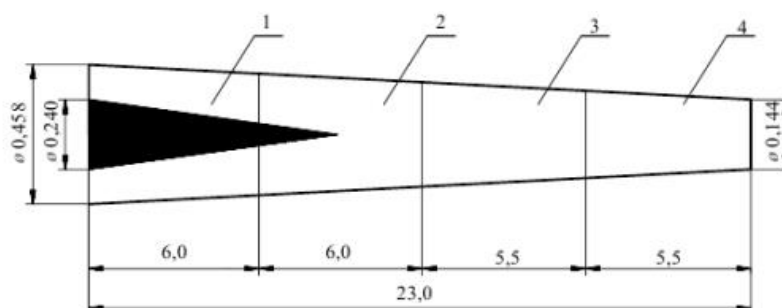


Рисунок 6. Схема рационального способа поперечного раскря пиловочной части ствола дерева второго образца: 1, 2 – пиловочные сортименты с наличием гнили; 3, 4 – пиловочные сортименты без гнили

Fig. 6. The scheme of a rational method of cross-cutting the sawn part of the trunk of a tree of the second sample: 1, 2 – sawn sorts with the presence of rot; 3, 4 – sawn sorts without rot

Таблица 7. Цилиндрические объемы пиловочных сортиментов, выработанных рациональным способом раскря пиловочной части ствола дерева второго образца

Table 7. Cylindrical volumes of sawn grades developed by a rational method of cutting the sawn part of the trunk of the second sample tree

Обозначение	Длина, м	Диаметр, м		Цилиндрический объем, м ³	Объем пиловочных сортиментов, м ³
		в вершине	в комле		
1	6,0	0,346	0,458	0,563862	1,094714
2	6,0	0,251	0,346	0,296735	
3	5,5	0,183	0,251	0,144589	
4	5,5	0,144	0,183	0,089528	

Цилиндрический объем пиловочных сортиментов, в том числе с наличием гнили, составляет 73,23 % от общего объема пиловочной части ствола дерева второго образца.

Вариант рационального способа раскря пиловочной части третьего образца представлен на рисунке 7. Результаты расчетов цилиндрического объема пиловочных сортиментов приведены в таблице 8.

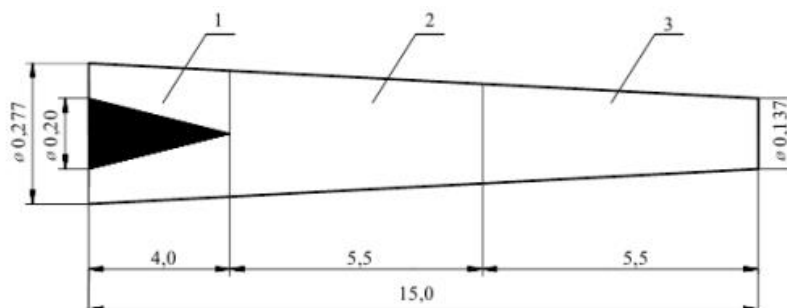


Рисунок 7. Схема рационального способа поперечного раскря пиловочной части ствола дерева третьего образца: 1 – пиловочный сортимент с наличием гнили; 2, 3 – пиловочные сортименты без гнили

Fig. 7. The scheme of the rational method of cross-cutting the sawn part of the tree trunk of the third sample: 1 – sawn sorting with the presence of rot; 2, 3 – sawn sorting without rot

Таблица 8. Цилиндрические объемы пиловочных сортиментов, выработанных рациональным способом раскря пиловочной части ствола дерева третьего образца

Table 8. Cylindrical volumes of sawn grades developed by a rational method of cutting the sawn part of the tree trunk of the third sample

Обозначение	Длина, м	Диаметр, м		Цилиндрический объем, м ³	Объем пиловочных сортиментов, м ³
		в вершине	в комле		
1	4,0	0,226	0,277	0,160379	0,364726
2	5,5	0,169	0,226	0,123312	
3	5,5	0,137	0,169	0,081035	

Цилиндрический объем пиловочных сортиментов, в том числе с наличием гнили, составляет 78,60 % от общего объема пиловочной части ствола дерева третьего образца.

Анализ результатов условного поперечного раскря пиловочных частей стволов показал следующее. В результате раскря пиловочной части ствола дерева первого образца длиной 19 м, диаметрами в вершине 0,140 м и в комле 0,300 м на сортименты и отрезки для удаления гнили цилиндрический объем сортиментов составил 53,52 %; дерева второго образца длиной 23 м, диаметрами в вершине 0,144 м и в комле 0,458 м – 23,33 %; дерева третьего образца длиной 15 м, диаметрами в вершине 0,137 м и в комле 0,277 м – 46,80 %.

Выводы

1. При традиционном способе поперечного раскря пиловочных частей ствола дерева выход сортиментов из первого образца составил 53,52 %, второго образ-

ца – 23,33 % и третьего образца – 46,8 %. В результате условного рационального поперечного раскря пиловочных частей ствола дерева первого, второго и третьего образцов на сортименты, в том числе с наличием гнили, цилиндрический объем сортиментов составил 80,74; 73,23 и 78,60 % соответственно.

2. Совершенствование технологии поперечного раскря пиловочной части ствола дерева с ядровой гнилью состоит в получении наряду с пиловочными сортиментами без гнили сортиментов с наличием ядровой гнили, которая удаляется при дальнейшем продольном раскрье. Объемный выход пиломатериалов увеличивается на 7–10 %.

3. Новая технология поперечного раскря может применяться, когда продольный раскрой и выработка пиломатериалов производится в лесопильных цехах лесозаготовительных предприятий, расположенных недалеко от мест заготовки древесины.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рябokonь А. П. Исследование качества древостоев // Лесной журнал. 2001. № 1. С. 36-46. EDN: ICGLCF.
2. Полубояринов О. И. Оценка качества древесины насаждений на основе комплексного показателя // Лесное хозяйство, лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность. 1976. Вып. 4. С. 39-41.
3. Комплексная оценка качества древесины сосны в лесных культурах разных условий местопроизрастания / В. И. Мелехов, Н. А. Бабич, С. А. Корчагов, Р. В. Щекалев // Лесоведение. 2021. № 2. С. 208-216. DOI: 10.31857/S0024114821020054. EDN: NLNMDJ.
4. Чернов В. Ю., Шарапов Е. С., Торопов А. С. Определение плотности древесины методом измерения сопротивления сверлению: монография. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2019. 200 с.
5. Торопов А. С. Интенсификация производственных процессов поперечной распиловки лесоматериалов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Санкт-Петербург, 1993. 31 с.
6. Торопов А. С., Микрюкова Е. В., Краснова В. Ф. Прогнозирование выхода продукции деревообрабатывающих производств. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2012. 147 с.

7. Микрюкова Е. В., Торопов А. С. Исследование выхода пилопродукции из комбинированного пиловочника с напенной гнилью // Вестник института: преступление, наказание, исправление. 2015. № 1(29). С. 75-78. EDN: TMVBHT.

8. Торопов А. С. Аллометрический метод исследований // Труды МарГТУ: материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава, докторантов, аспирантов, сотрудников. Йошкар-Ола: МарГТУ, 1996. Ч. 2. С. 116-117.

9. Торопов А. С., Домрачев А. П. Оптимальный раскрой и прогнозирование выхода продукции деревообрабатывающих производств. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. 110 с.

10. Пижурин А. А. Современные методы исследований технологических процессов в деревообработке. Москва: Лесная промышленность, 1972. 248 с.

Статья поступила в редакцию 01.02.2025; одобрена после рецензирования 10.02.2025;
принята к публикации 26.02.2025

Информация об авторах

БЫЗОВ Виктор Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры интерьера и оборудования, Санкт-Петербургская художественно-промышленная академия им. А. Л. Штиглица, г. Санкт-Петербург. Область научных интересов – ресурсосберегающие технологии переработки древесины, научно-методологические основы производства конструкционных пиломатериалов с заданными эксплуатационными характеристиками. Автор более 70 научных публикаций. E-mail: mapana@inbox.ru

МЕЛЕХОВ Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры лесопромышленных производств и обработки материалов Высшей инженерной школы, Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, г. Архангельск. Основное направление научных интересов – древесиноведение, технология и оборудование процессов гидротермической и механической обработки древесины. По результатам исследований опубликовано более 230 научных работ. E-mail: hseng@narfu.ru

ТОРОПОВ Александр Степанович – доктор технических наук, профессор, руководитель научной школы, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола. Основные направления профессиональной научной деятельности – ресурсосберегающие и энергосберегающие технологии лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств. Автор более 140 научных работ. E-mail: Toropov_A_S@mail.ru

Вклад авторов:

Бызов В. Е. – обработка и анализ экспериментальных данных, интерпретация полученных результатов, составление статьи;

Мелехов В. И. – научное руководство, разработка методологии, корректировка статьи;

Торопов А. С. – концепция работы, интерпретация результатов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 674.061

<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.74>

EDN: BMIGSD

Improving the technology of cross-cutting the sawn part of a tree trunk with core rot

V. E. Byzov^{1✉}, V. I. Melekhov², A. S. Toropov³

¹Saint Petersburg Stieglitz State Academy of Art and Design (St. Petersburg)

²Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov (Arkhangelsk)

³Volga State University of Technology (Yoshkar-Ola)

mapana@inbox.ru✉

Abstract

Introduction. The primary objective of roundwood processing is the effective application of the harvested timber. One method to enhance the efficiency of timber use is to obtain sawn raw

materials capable of yielding high-value sawn products. Currently, the methods are being developed to identify high-quality zones of round timber for the targeted use of raw materials. Harvesting wood, taking into account high-quality areas will allow for significant economic benefits due to more efficient use of wood. However, tree trunks are often affected by soil rot. When processing harvested wood, the lumpy part of tree trunks affected by soil rot is completely removed. At the same time, it represents the most valuable section of the tree trunk, comprising straight, layered wood with superior strength properties. The enhancement of wood resources can be achieved by the use of roundwood, notwithstanding the presence of deleterious soil rot, in the production of high-quality sawn products.

The aim of research is to improve the technology of cross-cutting the sawn section of tree trunks in order to increase the volumetric yield of sawn grades.

Materials and methods. A mathematical model is utilised to describe the formation of the sawn section of a tree trunk. The allometric relationships between the variation in saw blade length and the dimensions of the trunk rot have been established. Optimisation of cutting and forecasting the output of sawn grades was conducted using the method of exhaustive solutions.

Research outcomes. An efficient technology has been developed for cutting the sawn section of a tree trunk, facilitating the manufacture of sawn segments from the bulk portion, despite the partial existence of destructive rot. It was found that as a result of using the traditional method of cross-cutting the sawn part of the tree trunk, the yield of sawn grades is 23-53 %. The application of a systematic approach to cross-cutting the sawn section of the tree trunk, along with the selective removal of grades exhibiting destructive decay, enables the attainment of 78-80% efficiency.

Conclusions. The production of sorts from the sawn part of the tree trunk with the presence of destructive rot increases the volume yield of the sawmill for the production of high-quality saw products.

Keywords: round timber; sawn part of the tree trunk; allometric dependences of the formative along the length of the trunk; cross-cutting; sawn grades; volumetric yield of saw products; sound destructive rot.

Funding. This study was not supported by any external sources of funding.

For citation: Byzov V. E., Melekhov V. I., Toropov A. S. Improving the technology of cross-cutting the sawn part of a tree trunk with core rot. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies.* 2025;(1):74–86. (In Russian). <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.74>; EDN: BMIGSD

REFERENCES

1. Ryabokon A. P. Investigating the stands quality. *Russian Forestry Journal.* 2001;(1):36-46. EDN: ICGLCF. (In Russ.).
2. Poluboyarinov O. I. Evaluation of the quality of wood plantations based on a complex indicator. *Forestry, forestry, woodworking and pulp and paper industry.* 1976;(4):39-41. (In Russ.).
3. Melekhov V. I., Babich N. A., Korchagov S. A., Shchekalev R. V. A complex assessment of the pine wood quality in forest cultures under different growing conditions. *Russian Journal of Forest Science.* 2021;(2):208-216. DOI: 10.31857/S0024114821020054. EDN: NLNMDJ. (In Russ.).
4. Chernov V. Yu., Sharapov E. S., Toropov A. S. Determination of wood density by measuring drilling resistance: monograph. Yoshkar-Ola: Volga State University of Technology, 2019. 200 p. (In Russ.).
5. Toropov A. S. Intensification of production processes of cross-cutting of timber: abstract dis. ... doctor of technical sciences. St. Petersburg, 1993. 31 p. (In Russ.).
6. Toropov A. S., Mikryukova E. V., Krasnova V. F. Forecasting the output of woodworking industries: a tutorial. Yoshkar-Ola: Volga State University of Technology, 2012. 147 p. (In Russ.).
7. Mikryukova E. V., Toropov A. S. Research of saw goods make from composite sawlog with stump rot. *Bulletin of the Institute: Crime, Punishment, Correction.* 2015;(1):75-78. EDN: TMVBHT. (In Russ.).
8. Toropov A. S. Allometric research method. *Proceedings of MarSTU: materials of the scientific conference of the faculty, doctoral students, postgraduate students, employees.* Yoshkar-Ola: MarSTU, 1996. Part 2. Pp. 116-117. (In Russ.).

9. Toropov A. S., Domrachev A. P. Optimal cutting and forecasting of output of woodworking industries: a tutorial. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2001. 110 p. (In Russ.).

10. Pizhurin A. A. Modern methods of research of technological processes in woodworking. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1972. 248 p. (In Russ.).

The manuscript was submitted on 01.02.2025; reviewed on 10.02.2025;
adopted for publication on 26.02.2025

Information about the authors

BYZOV Viktor Evgenevich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Interior and Equipment, St. Petersburg Stieglitz Academy of Art and Industry, St. Petersburg. Research interests – resource-saving technologies for wood processing, scientific and methodological foundations for the production of structural lumber with specified performance characteristics. Author of more than 70 publications. E-mail: mapana@inbox.ru

MELEKHOV Vladimir Ivanovich – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Forestry and Materials Processing at the Higher School of Engineering, Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk. Research interests – wood science, technology and equipment for hydrothermal and mechanical processing of wood. Author of more than 230 publications. E-mail: hseng@narfu.ru

TOROPOV Aleksandr Stepanovich – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Research School, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Research interests – resource-saving and energy-saving technologies of logging and woodworking industries. Author of more than 140 publications. E-mail: Toropov_A_S@mail.ru

Contribution of the authors:

Byzov V. E. – processing and analysis of experimental data, interpretation of the obtained results, compilation of the article;

Melekhov V. I. – research supervision, methodology development, paper proofreading;

Toropov A. S. – the concept of work, interpretation of results.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

The authors reviewed and approved the final version of the manuscript.

Научная статья

УДК 674.055

<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.87>

EDN: CEJPGJ

Оптимизация технологии изготовления дисковых пил

**О. Н. Стародубцева, С. Я. Алибеков[✉], И. С. Патерюхин,
О. И. Разинская, Н. П. Сюттов**

Поволжский государственный технологический университет (г. Йошкар-Ола)

AlibekovSY@volgatech.net[✉]

Аннотация

Введение. В статье описан технологический процесс изготовления твёрдосплавных дисковых пил. Рассмотрены виды пиления, в том числе самые распространённые из них. В отличие от резания обычными инструментами пиление является сложным процессом. Для изготовления корпусов дисковых пил используются конструкционные пружинно-рессорные и инструментальные стали. Для придания требуемых физико-механических свойств выбирают стали, легированные хромом, ванадием, вольфрамом, молибденом и марганцем. Данные элементы повышают жаростойкость, жаропрочность и прочность дисковых пил. Для снятия напряжений и отвода тепла при работе на корпусах дисковых пил предусмотрены компенсаторы различных форм.

Цель исследования – описать процесс оптимизации технологии изготовления дисковых пил в ООО ПКФ «Махагони».

Результаты исследования. Производственно-коммерческая фирма «Махагони» является одним из ведущих предприятий по производству твёрдосплавных дисковых пил. Раньше здесь изготавливали как монолитные, так и комбинированные дисковые пилы. Начиная с 2000 годов стали выпускать только твёрдосплавные дисковые пилы с внешними диаметрами от 160 до 630 мм и внутренними диаметрами 30, 32 и 50 мм с твёрдосплавными пластинками из сталей марок ВК6, ВК8 и ВК15. Фирма также производит дисковые пилы с подчистными ножами из твёрдых сплавов.

Твёрдосплавные пластины на предприятии припаивают к корпусу двумя способами: зубья – электроконтактной пайкой, а подчистные пластины – индукционной пайкой с применением флюса прокалённой буры и припоя Л63. Используют два типа припоя – в виде ленты и проволоки. Для изготовления корпусов дисковых пил выбрана марка стали 65Г, сочетающая в себе как жёсткость, так и пластические свойства. Данная марка стали для корпусов дисковых пил, флюс прокалённой буры и припой Л63 обеспечивают изделиям высокие физико-механические свойства в сочетании с низкой стоимостью.

Выводы. Использование припоя Л63 с содержанием цинка более 20 % повышает смачиваемость поверхности, температура пайки понижается, а прочность паяного соединения увеличивается.

Ключевые слова: дисковые пилы; твёрдосплавные пластины; припой Л63; электроконтактная пайка; напряжения при пайке; стали для изготовления корпусов дисковых пил.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Для цитирования: Оптимизация технологии изготовления дисковых пил / О. Н. Стародубцева, С. Я. Алибеков, И. С. Патерюхин, О. И. Разинская, Н. П. Сюттов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2025. № 1 (33). С. 87–95. <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.87>; EDN: CEJPGJ

Введение

В настоящее время наиболее распространенным способом механической обработки древесины является пиление. В отличие от резания элементарным резцом пиление является более сложным процессом, потому что в нём участвует несколько режущих кромок. Кроме того, пиление происходит в закрытом пространстве, т.е. в пропилах.

В зависимости от направления плоскости пропила по отношению к волокнам древесины различают три вида пиления древесных материалов: поперечное, продольное и под углом к волокнам древесины. При продольном пилении плоскость пропила параллельна волокнам древесины. При поперечном пилении плоскость пропила перпендикулярна направлению волокон. Пиление под углом к волокнам древесины чаще используют в столярном производстве.

Из представленных видов механической обработки древесины наибольшее распространение получило поперечное и продольное пиление, которое чаще выполняется круглыми дисковыми пилами.

Одной из главных задач производителей мебели является сохранение высокой скорости процесса производства и улучшение качества конечной продукции, а это, в свою очередь, ведёт к развитию новейших технологий, внедрению современного оборудования и инструмента. Это особенно касается инструмента – дисковых пил, широко применяющихся в деревообработке и в производстве дверей и мебели [1, 7, 8].

Дисковые пилы используются для распиловки древесины и других материалов. Пильный диск представляет из себя монолитную пластинку из различных марок сталей, как пружинно-рессорных, так и инструментальных. С целью повышения прочностных свойств пластины для дисковых пил легируют хромом, ванадием, вольфрамом, молибденом и марганцем. Легирующие элементы повышают не

только прочность и твёрдость сталей, но и упругие свойства дисковых пил. Это необходимо, так как при работе они подвергаются различным видам деформации. На кромке дисковых пил расположены зубья, их число различают в зависимости от назначения пилы.

На некоторых дисковых пилах можно увидеть подчистные ножи, расположенные на разном расстоянии от посадочного отверстия и температурные компенсаторы шириной 2 мм и длиной до 20 мм различных форм с полукругами на концах. Такие компенсаторы помогают защитить корпус пилы от перегрева, который является основной причиной деформации дисковых пил.

Каждая конфигурация дисковых пил призвана обеспечить оптимальный рез того или иного материала, причём в случае распиловки древесины большое значение имеет направление реза.

В настоящее время дисковые пилы различных видов и размеров выпускает огромное количество фирм как в России (Авангард, РОКИТ, Термет, ЗУБР, СПЕЦ и др.), так и зарубежом (BOSH, Makita, Bort, DEKO, DeWALT, Golden Eagle, Mafell). Среди дисковых пил можно выделить два основных вида: пильные диски с твёрдосплавными пластинами и монолитные пильные диски. Последние выпускаются реже из-за низкого качества пиления, чем твёрдосплавные, и из-за необходимости производить часто развод зубьев и заточку. Но они обладают большой прочностью, простотой обслуживания и низкой стоимостью.

Твёрдосплавные дисковые пилы имеют высокое качество распиловки, большие скорости пиления, более продолжительный ресурс заточки твёрдосплавных пластин. Следует отметить, что наряду с высокими параметрами работы твёрдосплавные дисковые пилы имеют и недостаток – высокую стоимость. Кроме того, заточка требует специальных навыков и соответствующего оборудования.

Цель работы – описать процесс оптимизации технологии изготовления дисковых пил на примере предприятия ООО ПКФ «Махагони».

Задачи, направленные на достижение цели: рассмотреть технические возможности ООО ПКФ «Махагони»; описать правила выбора дисковых пил; описать процесс модернизации пайки дисковых пил за счёт применения электродной и индукционной пайки.

Результаты исследования

Анализ технических возможностей предприятия. ООО ПКФ «Махагони» является одним из ведущих российских производителей дисковых пил. Серия дисковых пил «Махагони» является идеальным сочетанием высочайшего качества передовых технологий и доступности. Каждая пила разработана с учётом требований работы 24/7, обеспечивающих постоянную производительность и бесперебойную работу в самых требовательных условиях. Продукция ООО ПКФ «Махагони» востребована во всех деревообрабатывающих отраслях нашей страны благодаря своей надёжности и высокому качеству. На протяжении 35 лет «Махагони» стремиться к совершенству, постоянному развитию и улучшению продукции с учётом требований производителей промышленных предприятий. Фирма не только производит дисковые пилы, но и занимается реставрацией изношенных и заменой поломанных твёрдосплавных пластин.

Миссией «Махагони» является стремление стать востребованным образцовым производителем и поставщиком дисковых пил для деревообрабатывающей промышленности, предлагая высококачественные инструменты, которые обеспечивают эффективность, долговечность, безопасность и ремонтпригодность в производстве.

Ценности, которыми руководствуется «Махагони», – это качество (проверенные материалы, тщательный контроль каждого этапа), инновации (исследования и внед-

рение новых технологий), долгосрочные партнёрские отношения с компаниями на основе доверия, понимания и поддержки, безопасность (все инструменты разрабатываются и производятся с использованием высоких стандартов безопасности для клиентов), клиентоориентированность, удовлетворяющая потребность заказчиков с учётом их требований и взаимного сотрудничества.

Данное предприятие специализируется на выпуске плоских дисковых пил с твёрдосплавными пластинками, предназначенных для распиловки древесных материалов ДСтП, ДВП, МДФ, OSB, композиционной древесины, цельной древесины, волокнистых плит и металлических материалов.

Для изготовления дисковых пил на предприятии используют только высококачественные сорта инструментальных сталей 9ХФ, 9Х5ВФ, 9ХС, Х12М по ГОСТ 5950-2000¹ и др., но в последнее время стали применять пружиннорессорные стали, сочетающие в себе высокую твёрдость и пластичность.

Ассортимент дисковых пил ООО ПКФ «Махагони» самый разнообразный. Так, выпускаются заточки пил У30М, М54М, У27М с внешними диаметрами от 160 до 630 мм и внутренними диаметрами 30, 32 и 50 мм с твёрдосплавными пластинами из ВК4, ВК6, ВК8 и ВК15.

Толщина корпуса дисковых пил составляет 3,2 мм.

По количеству зубьев дисковые пилы условно разделяют на три группы:

- диски с малым количеством зубьев (10–40 зубьев);
- диски со средним количеством зубьев (40–80 зубьев);
- диски с большим количеством зубьев (от 80 и более).

На ООО ПКФ «Махагони» выпускают пилы У03М с количеством зубьев от 12 до

¹ ГОСТ 5950-2000. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия.

128; М54М – от 48 до 72; У27М – от 50 до 128. Этот параметр напрямую влияет на качество реза: чем больше количество зубьев, тем более чистым и аккуратным будет распил. Но с увеличением количества зубьев снижается и допустимая скорость распиловки, что снижает производительность труда.

Подбор дисковых пил. Подобрать дисковую пилу на все случаи жизни и на любой тип оборудования практически невозможно. Однако, зная характеристики дисковых пил, всегда можно выбрать пилу под конкретные задачи. В этом случае, во-первых, дисковые пилы подбирают в зависимости от используемого оборудования, а во-вторых, нужно учитывать материал, который будет обрабатываться. Исходя из опыта работы, для обработки ДСтП, МДФ и ДВП рекомендуется использовать твёрдосплавные пилы с переменными зубьями² в количестве от 24 до 60 [6, 7].

Для обработки ламината, алюминия, пластиков и цветных металлов хорошо подходят дисковые пилы с трапецевидной формой зубьев, имеющих отрицательный угол заточки.

При работе с древесными материалами дисковые пилы являются наиболее подходящими, но при этом необязательно учитывать направление распиловки (продольное или поперечное). От вида распиловки зависят размер дисковой пилы, количество зубьев и угол наклона.

В последнее время для изготовления корпусов дисковых пил в основном используют сталь 65Г по ГОСТ 14959-2016³. Эта специальная конструкционная низколегированная высокоуглеродистая сталь, которая относится к семейству рессорно-пружинных. Марганец в данной марке стали позволяет повысить важнейшие для

данного сплава характеристики: твёрдость, упругость, вязкость, а также улучшить прокаливаемость. Данная сталь придает корпусу дисковой пилы отличную жесткость и стабильность в процессе работы [2]. Перед нарезанием зубьев листы стали подвергаются обязательному жёсткому входящему контролю [3–5]. Твёрдость корпуса дисковых пил по диаметру соответствует 38–40 по HRC.

Технологии изготовления дисковых пил. Раскрой листа происходит на лазерной установке или гидроабразивной установке. Эти два способа позволяют получать корпус без остаточных напряжений, деформаций на кромке, чем при штамповке или резании.

Кроме того, применение этих способов позволяет свободно и гибко проектировать дизайн самих корпусов дисковых пил, а также снизить шум и вибрации при работе. Для придания окончательных размеров корпуса дисковых пил подвергают шлифованию. После тщательной очистки корпусов дисковых пил приступают к подготовке твёрдосплавных пластин, подбирая их по форме, размерам и по режущим кромкам, чтобы исключить сколы, завалы, раковины и микротрещины.

Пайка проводится двумя способами: электроконтактным и индукционным с применением флюса прокаленной буры. Для повышения смачиваемости припоем паянных поверхностей иногда в бурю добавляют борную кислоту. Пайку проводят на модернизированных установках электроконтактной пайки. Температура пайки составляет 950–970 °С, так как температура ликвидуса припоя Л63 составляет 905 °С. Для полного проплавления и повышения жидкотекучести припоя температуру пайки увеличивают на 50–70 °С. Температуру пайки определяют бесконтактным способом с помощью пирометра.

При пайке твёрдосплавных пластин на торце дисковых пил возникают термические напряжения, которые отрицатель-

² ГОСТ 980-80. Пилы круглые плоские для распиловки древесины. Технические условия.

³ ГОСТ 14959-2016. Металлопродукция из рессорно-пружинной нелегированной и легированной стали. Технические условия.

но влияют на срок службы инструмента. Для уменьшения напряжений на производстве обращают внимание на конструктивные особенности основного материала дисковых пил и твёрдосплавных пластин.

Для уменьшения напряжений в твёрдосплавных пластинках, зависящих от соотношения толщины стали корпуса пилы и твёрдого сплава, изменили конструкцию инструмента путём увеличения толщины стального корпуса. Также при пайке стали использовали твёрдосплавные пластинки меньшей толщины.

Величины остаточных напряжений, на наш взгляд, мало зависят от марок применяемых припоев. На ООО ПКФ «Махагони» использовали несколько видов припоев: АНМц0,6-4-2, МНмц68-1-2, Л63 и ПСр 45. Хотя у последнего припоя лучшие показатели по растеканию, смачиваемости, прочности и антикоррозионности, от него отказались из-за высокой стоимости. Выбор был сделан в пользу припоя Л63. При пайке припоем Л63, имеющим более низкую температуру плавления, напряжения в паяных соединениях значительно меньше. Длительные напряжения стального корпуса инструмента в месте пайки вызывают структурные превращения, происходящие в стали при охлаждении паяного соединения.

Проведённые исследования показали, что при использовании припоя Л63 пайка идёт хорошо, так как содержание цинка составляет 36–37 %. Когда массовая доля цинка более 20 %, оксид на поверхности в основном состоит из ZnO . Оксид цинка при нагреве легко разрушается и не препятствует растеканию припоя в паяном соединении. Известно, что при содержании цинка менее 15 % поверхностный оксид состоит из Cu_2O , который включает небольшие частицы ZnO , и для удаления плёнки температуру приходится повышать, а это экономически нецелесообразно.

Преимущества дисковых пил с твёрдосплавными пластинками по сравнению с другими монолитными инструментами следующие:

1) *экономия средств*. Изношенный, поврежденный и деформированный инструмент не требует полной замены – достаточно припаять новую сменную твёрдосплавную пластину (СМП);

2) *высокий эксплуатационный ресурс*. Использование твёрдых легированных пластин гарантирует длительную работу инструмента. Изделие сохраняет функциональные свойства в условиях продолжительного механического воздействия и высокой влажности;

3) *быстрая реставрация*. Продуманная система фиксации позволяет оперативно менять пластинки;

4) *богатый ассортимент*. На рынке представлен широкий спектр продукции;

5) *унификация*. Сменные твёрдосплавные пластины и корпуса инструментов изготавливаются согласно стандарту ISO. Они взаимозаменяемы, независимо от производителя. Твёрдосплавные пластинки представлены цельнометаллическими изделиями установленной формы. Геометрия инструмента определяет количество режущих кромок, специфику выполняемых операций и особенности установки.

Крепление твёрдосплавных пластин осуществляется пятью способами. На ООО ПКФ «Махагони» крепление производят в основном прихватом сверху. Основным способом соединения является электроконтактная пайка. Данный способ более экономичный, доступный и позволяет получать паяные соединения с высокой прочностью. После пайки дисковые пилы подвергают пескоструйной очистке одновременно с двух сторон во избежание дополнительных напряжений.

Проведённые исследования показали, что с повышением содержания кобальта улучшаются условия пайки и уменьшаются усилия отрыва твёрдосплавных пластин.

С целью повышения прочности паяного соединения на корпусах дисковых пил предусмотрены уширения от 0,3 до 1,1 мм в зависимости от распиливаемого материала. Заточку и доводку зубьев выполняют на специальном станке с абразивными кругами одновременно с двух сторон с соблюдением углов $\alpha = 6^\circ$ по задней грани корпуса пилы и чистовой заточки по твёрдосплавной пластине под углом $\alpha = 2^\circ$. Использование алмазной заточки и доводки в 1,5–2 раза повышает износостойкость инструмента и снижает расход твёрдосплавных пластин.

Выводы

Проведенные исследования по технологии изготовления дисковых пил на ООО ПКФ «Махагони» показывают, что дисковые пилы, изготовленные из стали 65Г, обладают высокой жёсткостью, упругостью, износостойкостью и высоким ресурсом работы.

Установлено, что при пайке ВК4, ВК6, ВК8 и ВК15 с увеличением процентного содержания кобальта повышаются прочность паяного соединения и смачиваемость поверхности пластин припоем.

Использование припоя Л63 с содержанием цинка более 20 % позволяет повысить смачиваемость поверхности и понизить температуру пайки, так как в этом случае на поверхности образуется больше оксидных плёнок цинка, который легче разлагается в процессе пайки.

Двухсторонняя алмазная заточка с соблюдением угла $\alpha = 6^\circ$ по задней грани корпуса пилы и чистовая заточка по твёрдосплавной пластине под углом $\alpha = 2^\circ$ повышают ресурс работы дисковых пил.

Использование лазерной технологии при изготовлении корпусов и нарезании зубьев дисковых пил уменьшает напряжения в корпусе пилы, повышая его механические свойства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Технология изготовления дисковых пил на ООО ПКФ «Махагони» / С. С. Филимонов, А. В. Медведев, С. Я. Алибеков [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 3. С. 245-247. EDN: RXMGJR.
2. Амалицкий В. В., Амалицкий Вит. В. Оборудование отрасли: учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности 260200 (250403) Технология деревообработки. Москва: Изд-во Моск. гос. ун-та леса, 2005. 583 с.
3. Грубе А. Э. Дереворежущие инструменты: учебник для лесотехн. специальностей вузов. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Лесная промышленность, 1971. 344 с.
4. Особенности технологии изготовления дисковых пил на ООО «Махагони» / А. В. Медведев, С. С. Филимонов, С. Я. Алибеков [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18, № 3. С. 205-207. EDN: TJUMEF.
5. Балла О. М. Влияние эксплуатационных и конструктивных параметров инструмента на расход вольфрамсодержащих элементов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2006. № 4(28). С. 57-62. EDN: QCEKMZ.
6. Трусова Л. П., Трусов В. А. Подготовка и эксплуатация деревообрабатывающего инструмента. Москва: Лесная промышленность, 1979. 174 с.
7. Падерин В. Особенности эксплуатации твёрдосплавных дисковых пил // ЛесПромИнформ. 2011. № 4(78).
8. Металлообрабатывающий твёрдосплавный инструмент: справочник / В. С. Самойлов и др. Москва: Машиностроение, 1988. 367 с.

Статья поступила в редакцию 13.12.2024; одобрена после рецензирования 23.12.2024; принята к публикации 27.01.2025

Информация об авторах

СТАРОДУБЦЕВА Ольга Николаевна – аспирант кафедры машиностроения и материаловедения Поволжского государственного технологического университета, г. Йошкар-Ола.

Область научных интересов – механические свойства металлов и сплавов, их строение, состав, технология обработки. Автор 25 публикаций. E-mail: StarodubcevaON@volgatech.net

АЛИБЕКОВ Сергей Якубович – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения и материаловедения Поволжского государственного технологического университета, г. Йошкар-Ола. Область научных интересов – механические свойства металлов и сплавов, структура, состав, технология обработки. Автор 340 публикаций. E-mail: AlibekovSY@volgatech.net

ПАТЕРЮХИН Иван Сергеевич – аспирант кафедры машиностроения и материаловедения Поволжского государственного технологического университета, г. Йошкар-Ола. Область научных интересов – машиностроение, механическая обработка материалов. Автор 20 публикаций. E-mail: vana_pater@mail.ru

РАЗИНСКАЯ Ольга Игоревна – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения и материаловедения Поволжского государственного технологического университета, г. Йошкар-Ола. Область научных интересов – материаловедение, машиностроение, технологические процессы, термообработка, порошковые материалы, цветные сплавы. Автор 20 публикаций. E-mail: RazinskayaOI@volgatech.net

СЮТОВ Николай Павлович – кандидат технических наук, директор института механики и машиностроения Поволжского государственного технологического университета, г. Йошкар-Ола. Область научных интересов – технология машиностроения, разработка и усовершенствование двигателей внутреннего сгорания, обработка материалов резанием, конструирование аппаратов для очистки сточных вод. Автор 20 публикаций. E-mail: SyutovNP@volgatech.net

Вклад авторов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 674.055

<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.87>

EDN: CEJPGJ

Optimization of the manufacturing technology of circular saws

O. N. Starodubtseva, S. Ia. Alibekov[✉], I. S. Pateriukhin, O. I. Razinskaya, N. P. Siutov

Volga State University of Technology (Yoshkar-Ola)

AlibekovSY@volgatech.net[✉]

Abstract

Introduction. The paper examines the technological process for producing carbide circular saws. Unlike cutting with conventional tools, sawing is a complex process. The paper indicates the most common types of sawing. Structural spring and tool steels are used in the production of circular saw bodies. Steels alloyed with chromium, vanadium, tungsten, molybdenum and manganese are selected to achieve the necessary physical and mechanical qualities. These elements increase heat resistance, heat resistance and strength of circular saws. Additionally, to alleviate tension and dissipate heat during operation, compensators of diverse configurations are incorporated into the bodies of circular saws.

The aim of research is to describe the process of optimizing the technology for manufacturing circular saws exemplified by LLC PCC «Mahagoni» enterprise.

Research outcomes. The company LLC PCC «Mahagoni» is one of the leading enterprises in the manufacture of carbide circular saws. The company previously produced both monolithic and composite circular saws. Since 2000, the company has been producing only carbide circular saws

with external diameters from 160 to 630 mm and internal diameters of 30, 32 and 50 mm with carbide plates made of steel grades VK6, VK8 and VK15. The company manufactures circular saws equipped with cleaning knives composed of carbide alloys. The company attaches the carbide plates to the body using two methods: the teeth are affixed using electrocontact soldering, while the cleaning plates are bonded via induction soldering employing calcined borax flux and L63 solder. Two types of solder are used - tape and wire-shaped. Steel grade 65G, which combines both rigidity and plastic properties, was chosen for the manufacture of circular saw bodies. This steel grade for circular saw bodies, calcined borax flux, and L63 solder yields products with superior physical and mechanical attributes at a moderate cost.

Conclusions. L63 solder containing over 20 % zinc enhances surface wettability, reduces soldering temperature, and increases the strength of the soldered joint.

Keywords: circular saws; carbide plates; solder L63; electric contact soldering; soldering voltages; steels for the manufacture of circular saw housings.

Funding. This study was not supported by any external sources of funding.

For citation: Starodubtseva O. N., Alibekov S. Ia., Pateriukhin I. S., Razinskaia O. I., Siutov N. P. Optimization of the manufacturing technology of circular saws. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies.* 2025;(1):87–95. (In Russian). <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.87>; EDN: CEJPGJ

REFERENCES

1. Filimonov S. S., Medvedev A. V., Alibekov S. Ya. [et al.] Manufacturing technology of circular saws at ООО PKF "Makagoni". *Bulletin of Kazan Technological University.* 2014;17(3):245-247. EDN: RXMGJR. (In Russ.).
2. Amalitsky V. V., Amalitsky Vit. V. Equipment of the industry: textbook. for university students studying in the specialty 260200 (250403) Woodworking technology. Moscow: Publishing house of Moscow state University of Forestry, 2005. 583 p. (In Russ.).
3. Grube A. E. Wood-cutting tools: textbook for forestry specialties of universities. 3rd ed., revised. and add. Moscow: Lesnaya prom-st, 1971. 344 p. (In Russ.).
4. Medvedev A. V., Filimonov S. S., Alibekov S. Ya. [et al.] Features of the manufacturing technology of circular saws at ООО "Makagoni". *Bulletin of the Kazan Technological University.* 2015;18(3):205-207. EDN: TJUMEF. (In Russ.).
5. Balla O. M. Influence of operational and design parameters of the tool on the consumption of tungsten-containing elements. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University.* 2006;(4):57-62. EDN: QCEKMZ. (In Russ.).
6. Trusova L. P., Trusov V. A. Preparation and operation of woodworking tools. Moscow: Lesnaya prom-st, 1979. 174 p. (In Russ.).
7. Paderin V. Features of operation of carbide circular saws. *LesPromInform.* 2011;(4). (In Russ.).
8. Samoilov V. S., et al. Metalworking carbide tool: reference book. Moscow: Mashinostroenie, 1988. 367 p. (In Russ.).

The manuscript was submitted on 13.12.2024; reviewed on 23.12.2024;
adopted for publication on 27.01.2025

Information about the authors

STARODUBTSEVA Olga Nikolaevna – postgraduate student of the Department of Mechanical Engineering and Materials Science, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Research interests – mechanical properties of metals and alloys, structure, composition, processing technology. Author of more than 25 publications. E-mail: StarodubcevaON@volgatech.net

ALIBEKOV Sergei Yakubovich – Doctor of Engineering Sciences, Professor of Mechanical Engineering and Materials Science Department, Volga State University of Technology, Yoshkar-

Ola. Research interests – mechanical properties of metals and alloys, structure, composition, processing technology. Author of more than 340 publications. E-mail: AlibekovSY@volgatech.net

PATERIUKHIN Ivan Sergeevich – graduate student of the Department of Mechanical Engineering and Materials Science, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Research interests – mechanical engineering, mechanical processing of materials. Author of more than 20 publications. E-mail: vana_pater@mail.ru

RAZINSKAIA Olga Igorevna – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Mechanical Engineering and Materials Science Department, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Research interests – material science, mechanical engineering, technological processes, heat treatment, powder materials, non-ferrous alloys. Author of more than 20 publications. E-mail: RazinskayaOI@volgatech.net

SIUTOV Nikolai Pavlovich – Candidate of Engineering Sciences, Director of the Institute of Mechanics and Mechanical Engineering of Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Research interests – mechanical engineering technology, development and improvement of internal combustion engines, material processing by cutting, design of wastewater treatment devices. Author of more than 20 publications. E-mail: SyutovNP@volgatech.net

Contribution of the authors. The authors contributed equally to this paper.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

The authors reviewed and approved the final version of the manuscript.

СОБЫТИЯ

Международная научная конференция «Актуальные вопросы строительства. Надежность строительных конструкций. Энергосбережение. Экологическая безопасность. Искусственный интеллект»

1-3 июля 2025 года состоится Международная научная конференция – XVI Академические чтения «Актуальные вопросы строительства. Надежность строительных конструкций. Энергосбережение. Экологическая безопасность. Искусственный интеллект», посвященные 100-летию академика РААСН В. М. Бондаренко и 96-летию академика РААСН Г. Л. Осипова.



Бондаренко

Виталий Михайлович

Российский ученый в области строительных наук, академик РААСН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, основатель Российской научной школы по железобетону, подготовивший многочисленную плеяду докторов и кандидатов технических наук



Осипов

Георгий Львович

Ученый в области строительных наук, основоположник направления «Строительная физика» в СССР и РФ, лауреат Государственной премии РФ, заслуженный деятель науки и техники СССР, академик РААСН, профессор, доктор технических наук

Ежегодный научный форум организуется при поддержке Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации и Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук.

Тематика данного мероприятия традиционна и направлена на решение актуальных проблем, дающих человеку возможность жить и работать в комфортных условиях.

На конференции планируется работа по следующим направлениям:

- Надежность и прочность строительных конструкций зданий и сооружений;
- Энергосбережение в строительстве;
- Строительная теплофизика;
- Строительная и архитектурная акустика;
- Строительная светотехника;
- Моделирование процессов;
- Проблемы технического регулирования в строительстве;
- Водоснабжение и водоотведение;
- Высотное строительство;
- Научная школа для молодежи;
- Цифровое обеспечение строительства;
- Машинное обучение и искусственный интеллект в управлении инвестиционно-строительными проектами.

В рамках конференции будет проводиться КОНКУРС, на котором молодые ученые, аспиранты и студенты смогут представить свои проекты и разработки:

- 1) на лучший дипломный проект по направлению «Строительные конструкции».

- 2) на лучший дипломный проект, включающий раздел «Строительная физика»;
- 3) на лучшую работу по направлению «Строительная и архитектурная акустика»;
- 4) на лучший доклад в рамках научной школы для молодежи «Строительная физика, энергосбережение и экологическая безопасность»;
- 5) на лучший дипломный проект, включающий раздел по водоснабжению и водоотведению.

Победителям вручаются премии имени академика РААСН Г. Л. Осипова, памятные призы и подарки.

Для участия в конференции и конкурсе необходимо в срок до 1 июня 2025 года отправить заявки и материалы (конкурсная работа, заявка на участие в конкурсе) по адресу org.com@niisf.ru

Формы заявок можно посмотреть на сайте www.niisf.ru.

Конференция состоится в очном формате. Предусмотрена возможность дистанционного участия в конференции по видеосвязи.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Тел.: +7 (499) 488-70-05 Факс: +7 (495) 482-40-60

E-mail: org.com@niisf.ru Сайт: www.niisf.ru

Адрес: 127238, Москва, Локомотивный проезд, д.21, Светотехнический корпус, НИИСФ РААСН

Поздравляем юбиляров

Имена тех, кого мы сегодня с удовольствием поздравляем с юбилейными датами, в строительной отрасли и сфере высшего образования хорошо известны. Высокие награды, которыми отмечен их труд, говорят сами за себя. Их большие заслуги перечислены в многочисленных справочниках. Их молодые коллеги и ученики трудятся сегодня на самых разных и ответственных участках строительного производства.



75 лет ЧЕРКАСОВУ Василию Дмитриевичу

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной механики Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва. Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, заслуженный деятель науки Республики Мордовия, член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук.

Черкасов Василий Дмитриевич родился 20 февраля 1950 года. В 1973 году окончил строительный факультет Мордовского университета. Кандидат технических наук (1981), доктор технических наук (1995). Доцент (1987), профессор (1998). Проректор по научной работе (с 1997 по 2010 г.), заведующий кафедрой прикладной механики (с 1996 г. по настоящее время).

Область научных интересов В. Д. Черкасова – строительное материаловедение, строительные биотехнологии (разработка вибропоглощающих материалов, создание биотехнологических процессов для производства строительных материалов, разработка искусственных нанодисперсных систем для модификации цемента и полимеров).

Василий Дмитриевич является автором более 300 научных и учебно-методических работ, в том числе 10 монографий, 3 учебников и 6 учебных пособий, обладателем более 50 патентов на изобретения, авторских свидетельств и свидетельств о регистрации программы для ЭВМ.

За многолетнюю научную и научно-педагогическую деятельность В. Д. Черкасов награжден медалью РААСН, медалью ВВЦ, почетным знаком «За личный вклад в развитие Республики Мордовия», почетными грамотами Министерства образования и науки РФ, Государственного Собрания Республики Мордовия, Правительства Республики Мордовия, Мордовского государственного университета.



50 лет КОРОЛЕВУ Евгению Валерьевичу

Доктор технических наук, профессор, проректор по научной деятельности, заведующий кафедрой технологии строительных материалов и метрологии Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, научный руководитель научно-образовательного центра «Наноматериалы и нанотехнологии». Почётный строитель Российской Федерации, почётный работник сферы образования Российской Федерации, действительный член Российской инженерной академии.

Родился 24 февраля 1975 г. В 1997 г. с отличием закончил технологический факультет Пензенской государственной архитектурно-строительной академии, затем очную аспирантуру кафедры «Строительные материалы». С 2000 по 2004 г. – ассистент, старший преподаватель, доцент, профессор кафедры стройматериалов. С 2004 по 2008 г. – декан технологического факультета, с 2008 по 2010 г. – проректор по научной работе и инновациям ПГУАС. С сентября 2020 года является проректором по учебно-методической работе, а с 2021 – проректором по научной работе и профессором кафедры технологии строительных материалов и метрологии СПбГАСУ.

Основные направления научной деятельности Е. В. Королева – теоретические основы строительного материаловедения, технологии новых полифункциональных композитов строительного назначения.

Под научным руководством Евгения Валерьевича защищены докторская и 15 кандидатских диссертаций. Автор более 600 научных и учебно-методических работ, из них 27 монографий, 275 статей в журналах, включенных в перечень ВАК, 95 – в журналах, входящих в Web of Science и Scopus, 75 патентов на изобретение и свидетельств на государственную регистрацию программ для ЭВМ, 34 учебно-методических работ.

Является экспертом Национального аккредитационного агентства в сфере образования, Гильдии экспертов в области профессионального образования, экспертом Республиканского исследовательского научно-консультационного центра экспертизы.

Награды: премия Губернатора Пензенской области (2002), гранты Президента РФ для поддержки молодых российских учёных – докторов наук (2006, 2009, 2012), медали РААСН, «Лауреат ВВЦ», «50 лет начала строительства Байкало-Амурской магистрали», почётные знаки «За заслуги в области специального строительства», «За вклад в развитие атомной отрасли». Лауреат премии Правительства РФ в области образования за 2018 год, премии Российской инженерной академии им. И. А. Гришманова. Отмечен Благодарностью мэра Москвы, Администрации Адмиралтейского района Санкт-Петербурга.

Редакционная коллегия журнала, поздравляя юбиляров от имени всех читателей нашего «Вестника...», желает им здоровья, благополучия, творчества и оптимизма, дальнейших успехов в собственном научном поиске и подготовке высококвалифицированных кадров для строительной отрасли. Надеемся на новые встречи на страницах нашего журнала.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция журнала «Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии» принимает к публикации рукописи, соответствующие профилю издания по следующим научным специальностям: 2.1.1. **Строительные конструкции, здания и сооружения** (технические науки), 2.1.4. **Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов** (технические науки), 2.1.5. **Строительные материалы и изделия** (технические науки), 2.1.6. **Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология** (технические науки), 2.1.7. **Технология и организация строительства** (технические науки), 2.1.10. **Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства** (технические науки), 2.5.5. **Технология и оборудование механической и физико-технической обработки** (технические науки), 2.5.9. **Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды** (технические науки), 2.5.21. **Машины, агрегаты и технологические процессы** (технические науки), 4.3.4. **Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины** (технические науки).

Основные разделы журнала – «Материалы», «Конструкции», «Технологии», «Экология»; дополнительные – «Новинки техники и технологий», «Обзоры и рецензии», «Конференции», «Важные даты».

Рукопись должна содержать только оригинальный материал, отражающий результаты завершённых исследований автора, объёмом 7–15 страниц, включая рисунки. К печати принимаются материалы, которые не опубликованы и не переданы в другие редакции. Рукописи проходят обязательное рецензирование. В журнале печатаются только статьи, получившие положительную рецензию.

Требования к оригиналам предоставляемых работ

Рекомендуемая структура научной работы (названия рубрик в тексте выделить жирным шрифтом):

1. Аннотация (резюме) – 200–250 слов.
2. Ключевые слова или словосочетания (отделяются друг от друга точкой с запятой).
3. Введение (оценка состояния вопроса, основанная на обзоре литературы с мотивацией актуальности; выявленное противоречие, позволяющее сформулировать проблемную ситуацию).
4. Цель работы, направленная на преодоление проблемной ситуации (1–2 предложения).
5. Решаемые задачи, направленные на достижение цели.
6. Математическое, аналитическое или иное моделирование.
7. Техника эксперимента и методика обработки или изложение иных полученных результатов.
8. Интерпретация результатов или их анализ.
9. Выводы, отражающие новизну полученных результатов, показывающих, что цель, поставленная в работе, достигнута.

Название статьи, сведения об авторах, аннотация и ключевые слова приводятся также на английском языке.

Требования к оформлению рукописи

Рукопись должна быть представлена в электронном виде на бумаге формата А4. Шрифт Times New Roman, размер шрифта 12 пт, межстрочный интервал 1. Поля: левое, правое – 2,5 см, верхнее, нижнее – 3 см, абзацный отступ первой строки на 0,75 см.

На первой странице рукописи слева печатается УДК (размер шрифта 10 пт, прямой, светлый) без отступа. Название работы размещается по центру (размер шрифта 14 пт, прямой, полужирный, строчной). Ниже по центру приводятся инициалы, фамилия автора (размер шрифта 12 пт, курсив, полужирный). После фамилий авторов указываются места работы: первая строка – название организации, вторая строка – почтовый адрес (размер шрифта 10 пт, курсив); после адресов – электронный адрес автора, отвечающего за переписку. Далее располагается аннотация (выравнивание по ширине, размер шрифта 10 пт, отступ слева и справа 1 см). Аналогично оформляются ключевые слова.

Аннотация (резюме) представляется на русском и английском языках. Резюме должно быть понятным без обращения к самой публикации. В нём необходимо излагать существенные факты работы. Структура аннотации должна повторять структуру статьи и включать введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы). Результаты работы описываются предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдаётся предпочтение новым результатам и данным долгосрочного значения, важным открытиям, выводам, которые опровергают существующие теории, а также данным, которые, по мнению автора, имеют практическое значение. Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье. Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте резюме.

Необходимо избегать лишних вводных фраз (например, "автор статьи рассматривает..."). Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в резюме не приводятся.

В тексте резюме употребляются синтаксические конструкции, свойственные языку научных и технических документов, используются значимые слова из текста статьи.

Текст должен быть лаконичен и чётко, свободен от второстепенной информации, лишних вводных слов, общих и незначащих формулировок; положения должны логично вытекать одно из другого. Сокращения и условные обозначения, кроме общеупотребительных, применяют в исключительных случаях. При необходимости даются их расшифровка и определение при первом употреблении.

В резюме не делаются ссылки на номер публикации в списке литературы к статье.

Можно использовать техническую (специальную) терминологию вашей дисциплины, чётко излагая своё мнение и имея также в виду, что вы пишете для международной аудитории.

Текст должен быть связным с использованием слов «следовательно», «более того», «например», «в результате» и т.д. («consequently», «moreover», «for example», «the benefits of this study», «as a result» etc.), либо разрозненные излагаемые положения должны логично вытекать один из другого.

Необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т.е. "The study tested", но не "It was tested in this study".

Формулы и отдельные символы набираются с использованием редакторов формул Microsoft Equation или Math Type (не вставлять формулы из пакетов MathCad и MathLab, а также не следует использовать стандартную вставку математических формул или построение собственных формул с помощью библиотеки математических символов).

Иллюстрации. Схемы, графики, диаграммы и т. п. принимаются только в векторных форматах (Word, Excel, Visio, CorelDraw, Adobe Illustrator и др.). Графический материал должен быть чётким и не требовать перерисовки. Графики могут выделяться линиями разного стиля, отмечаться цифрами либо различными цветами. Фотографии и скриншоты должны выполняться в растровых форматах (tiff, bmp, png и др.) достаточного расширения (300 dpi) и чёткости.

Таблицы и рисунки должны быть вставлены в текст после абзацев, содержащих ссылку на них.

Размеры иллюстраций не должны превышать размеров текстового поля (не более 15 см).

Список источников оформляется согласно порядку ссылок в тексте (указываются в квадратных скобках) в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. При оформлении References рекомендуется придерживаться формата Vancouver Citation Style. Указание DOI (при наличии) в выходных данных обязательно. Ответственность за достоверность и точность цитируемых источников несут авторы статей.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Рукопись должна быть подписана автором (авторами). После подписи автора и даты указываются его фамилия, имя, отчество (полностью), место работы, ученая степень, должность, область научных интересов, количество опубликованных работ, телефон, e-mail, домашний адрес.

К материалам прилагаются следующие документы: авторское заявление на имя главного редактора с указанием рубрики журнала; экспертное заключение о возможности опубликования.

Материалы, не соответствующие вышеуказанным требованиям, не рассматриваются.

Контакты: 424000, РМЭ, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3, ПГТУ,
редакция журнала «Вестник ПГТУ.
Серия: Материалы. Конструкции. Технологии»

Ответственный секретарь – *Смирнов Александр Олегович*
(E-mail: SmirnovAO@volgatech.net)
Тел. редакции 8 (8362) 68-28-26
E-mail: vestnik-mkt@volgatech.net

Подробнее на сайте ПГТУ: [https:// www.volgatech.net /](https://www.volgatech.net/)