

ISSN ONLINE 2782-1919

**УМНЫЕ КОМПОЗИТЫ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**
SMART COMPOSITE IN CONSTRUCTION



**Том 4
выпуск**

**2
2023**

**VOL. 4
ISSUE 2**

ИЗДАНИЕ
ЯРОСЛАВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

УМНЫЕ КОМПОЗИТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 2020 года, выходит 4 раза в год

Включен в апреле 2023 года в Перечень ВАК РФ

**Том 4
Выпуск 2**

Ярославль 2023

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «УМНЫЕ КОМПОЗИТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Главный редактор: *С.В. ФЕДОСОВ (акад. РААСН, д.т.н., проф., Москва)*
Заместители главного редактора: *А.А. ИГНАТЬЕВ (к.т.н., доц., Ярославль)*
П.Б. РАЗГОВОРОВ (д.т.н., проф., Ярославль)
Ответственный секретарь: *М.А. КАНАКОТИНА*

МЕЖДУНАРОДНАЯ РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А.А. АБДЫКАЛЫКОВ (д.т.н., проф., Кыргызстан, Бишкек), П.А. АКИМОВ (акад. РААСН, д.т.н., проф., Москва), В.В. БЕЛОВ (советник РААСН, д.т.н., проф., Тверь), А.М. БЕЛОСТОЦКИЙ (акад. РААСН, д.т.н., проф., Москва), Н.И. ВАТИН (советник РААСН, д.т.н., проф., Санкт-Петербург), В.М. ГОТОВЦЕВ (д.т.н., проф., Ярославль), А.В. ЗАХАРОВ (советник РААСН, к. архитектуры, проф., Иваново), А.Б. КАПРАНОВА (д.ф.-м.н., проф., Ярославль), В.И. КОЛЧУНОВ (академик РААСН, д.т.н., проф., Курск), В.Г. КОТЛОВ (советник РААСН, д.т.н., проф., Йошкар-Ола), Н.Н. КУДРЯШОВ (к. архитектуры, проф., Ярославль), А.Е. ЛЕБЕДЕВ (д.т.н., доц., Ярославль), С.Н. ЛЕОНОВИЧ (иностраннный акад. РААСН, д.т.н., проф., Республика Беларусь, Минск), В.Л. МОНДРУС (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Москва), А.И. МОХОВ (акад. РАЕН, д.т.н., проф., Москва), П.И. ПОСПЕЛОВ (д.т.н., проф., Москва), Ю.В. ПУХАРЕНКО (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Санкт-Петербург), С.П. РУДОВАШТА (д.т.н., проф., Москва), В.Е. РУМЯНЦЕВА (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Иваново), В.П. СЕЛЯЕВ (акад. РААСН, д.т.н., проф., Саранск), М.Ю. ТАРШИС (д.т.н., доц., Ярославль), В.И. ТРАВУШ (вице-президент РААСН, акад. РААСН, д.т.н., проф., Москва), А.А. ТРЕЩЕВ (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Тула), В.Н. ФЕДОСЕЕВ (советник РААСН, д.т.н., проф., Иваново), Г.А. ФОМЕНКО (акад. РАЕН, д.геогр.н., проф., Ярославль), RADIVOJE MITROVIĆ (PhD по техн. н., проф., Республика Сербия, Белград)

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет»
Адрес редакции: 150023, Россия, г. Ярославль, Московский проспект, 88,
Телефон: +7 (4852) 44-12-70
E-mail: razgovorovpb@ystu.ru
Электронный адрес: <http://comincon.ru>
Журнал издается при содействии Российской Академии архитектуры и строительных наук

Редакторы: *В.Б. Доронина, М.А. Канакотина, О.С. Полагина*
Англ. перевод: *Л.А. Тюкина*
Компьютерная верстка: *А.С. Фролов (к.х.н., Ярославль)*
Корректор: *О.А. Юрасова*

Зарегистрирован: 27 ноября 2020 (Свидетельство ЭЛ № ФС 77 - 79733)
Периодичность: 4 раза в год
Подписка и распространение: Свободный доступ

PUBLISHED BY YAROSLAVL STATE TECHNICAL UNIVERSITY

SMART COMPOSITE IN CONSTRUCTION

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Established in November 2020, published quarterly

Included in April 2023 in the List of the Higher Attestation Commission
of the Russian Federation

Volume 4

Issue 2

Yaroslavl 2023

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

SMART COMPOSITE IN CONSTRUCTION

EDITORIAL BOARD

| | |
|--------------------------|--|
| Editor-in-Chief: | S.V. FEDOSOV (acad. RAACS, doc.eng.sc., prof., Moscow) |
| Deputy Editors-in-Chief: | A.A. IGNATYEV (cand.eng.sc., doc., Yaroslavl) P.B. RAZGOVOROV (doc.eng.sc., prof., Yaroslavl) |
| Executive secretary: | M.A. KANAKOTINA |

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

A.A. ABDYKALYKOV (doc.eng.sc., prof., Kyrgyzstan, Bishkek), P.A. AKIMOV (acad. RAACS, doc.eng.sc., prof., Moscow), V.V. BELOV (adv. RAACS, doc.eng.sc., prof., Tver), A.M. BELOSTOTSKIY (acad. RAACS, doc.eng.sc., prof., Moscow), N.I. VATIN (adv. RAACS, doc.eng.sc., prof., Saint-Petersburg), V.M. GOTOVTSEV (doc.eng.sc., prof., Yaroslavl), A.V. ZAKHAROV (adv. RAACS, cand. arch., prof., Ivanovo), A.B. KAPRANOVA (doc. phys. and math. sc., prof., Yaroslavl), V.I. KOLCHUNOV (acad. RAACS, doc.eng.sc., prof., Kursk), V.G. KOTLOV (adv. RAACS, doc.eng.sc., prof., Yoshkar-Ola), N.N. KUDRYASHOV (cand. arch., prof., Yaroslavl), A.E. LEBEDEV (doc.eng.sc., doc., Yaroslavl), S.N. LEONOVICH (for. acad. RAACS, doc.eng.sc., prof., Belarus, Minsk), V.L. MONDRUS (corr. memb. RAACS, doc.eng.sc., prof., Moscow), A.I. MOKHOV (acad. RANS, doc.eng.sc., prof., Moscow), P.I. POSPELOV (doc.eng.sc., prof., Moscow), Yu.V. PUKHARENKO (corr. memb. RAACS, doc.eng.sc., prof., Saint-Petersburg), S.P. RUDOBASHTA (doc.eng.sc., prof., Moscow), V.E. RUMYANTSEVA (corr. memb. RAACS, doc.eng.sc., prof., Ivanovo), V.P. SELYAEV (acad. RAACS, doc.eng.sc., prof., Saransk), M.Yu. TARSHIS (doc.eng.sc., doc., Yaroslavl), V.I. TRAVUSH (Vice Pres. RAACS, acad. RAACS, doc.eng.sc., prof., Moscow), A.A. TRESHCHEV (corr. memb. RAACS, doc.eng.sc., prof., Tula), V.N. FEDOSEEV (adv. RAACS, doc.eng.sc., prof., Ivanovo), G.A. FOMENKO (acad. RANS, doc.geogr.sc., prof., Yaroslavl), RADIVOJE MITROVIĆ (PhD eng.sc., prof., Serbia, Belgrade)

| | |
|--------------------------|---|
| Founder: | Yaroslavl State Technical University |
| Editorial office address | 88, Moskovsky Prosp., Yaroslavl, 150023, Russia |
| Telephone | +7 (4852) 44-12-70 |
| E-mail | razgovorovpb@ystu.ru |
| Website | http://comincon.ru |

Published with the assistance of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences

| | |
|-------------------------------|--|
| Editors: | V.B. Doronina, M.A. Kanakotina, O.S. Polagina |
| English translator: | L.A. Tyukina |
| Layout designer: | A.S. Frolov (cand.chem.sc., Yaroslavl) |
| Proofreader: | O.A. Yurasova |
| Registration | 27 November 2020 (Certificate EL No FS 77 - 79733) |
| Frequency: | Quarterly |
| Subscription and distribution | Open Access |

СОДЕРЖАНИЕ / TABLE OF CONTENTS

Строительные конструкции, здания и сооружения

- 8 *А.А. Титунин, А.В. Подъячев, С.В. Цыбакин, Ю.Ю. Дубровина*
Влияние древесиноведческих и технологических факторов
на прочность зубчатого соединения в клееных конструкциях
- А.А. Titunin, A.V. Podyachev, S.V. Tsybakin, Y.Y. Dubrovina*
Influence of wood and technological factors on the strength of the finger joint
in laminated constructions
- 18 *С.В. Федосов, В.Н. Федосеев, И.С. Зайцев, И.А. Зайцева*
Особенности использования отечественного и зарубежного
инструментария имитационного моделирования строительных
конструкций зданий и сооружений
- S.V. Fedosov, V.N. Fedoseev, I.S. Zaitsev, I.A. Zaitseva*
Features of domestic and foreign simulation tools use for structural modeling
of civil engineering buildings and constructions

Строительные материалы и изделия

- 32 *Р.В. Разговоров*
Production of a modified sodium liquid glass binder for construction work
- П.Б. Разговоров*
Получение модифицированного связующего материала из натриевого
жидкого стекла для строительных работ
- 43 *Т.А. Низина, В.В. Володин, Н.И. Макридин, О.В. Тараканов*
Вязкость разрушения мелкозернистых бетонов, модифицированных
минеральными добавками на основе термоактивированных глинистых
и карбонатных пород
- T.A. Nizina, V.V. Volodin, N.I. Makridin, O.V. Tarakanov*
Fracture toughness of fine-grained concretes modified with mineral additives
based on thermally activated clay and carbonate rocks

- S.A. Loginova*
Assessment of biological aggressive environment effects on the strength
properties and structural-phase composition of concrete
55
С.А. Логинова
Оценка влияния биологически агрессивной среды на прочностные
характеристики и структурно-фазовый состав бетона

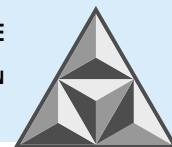
Проектирование и строительство дорог, метрополитенов

- Ш.Н. Валиев, А.Н. Каменских, А.В. Кочетков*
Особенности применения напыляемой гидроизоляции мостовых
сооружений при пониженных температурах
64
S.N. Valiev, A.N. Kamenskikh, A.V. Kochetkov
Features of application of sprayed waterproofing of bridge structures
at low temperatures

Архитектура зданий и сооружений.

Творческие концепции архитектурной деятельности

- Д.А. Личак, Н.А. Личак*
Усадебная культура Ярославской области: к вопросу
77 о реновации памятников
D.A. Lichak, N.A. Lichak
Manor culture of the Yaroslavl region: on the renovation of monuments
87 Информация для авторов



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 674:691.11:694.14

Влияние древесиноведческих и технологических факторов на прочность зубчатого соединения в клееных конструкциях

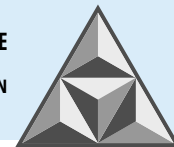
А.А. Титунин¹, А.В. Подъячев², С.В. Цыбакин¹, Ю.Ю. Дубровина¹

Андрей Александрович Титунин, Сергей Валерьевич Цыбакин, Юлия Юрьевна Дубровина

¹Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Кострома, Российская Федерация
titunin62@mail.ru; sv44kostroma@yandex.ru; dubrovinayy@mail.ru

Алексей Викторович Подъячев

²Костромской государственный университет, Кострома, Российская Федерация
alvip@yandex.ru



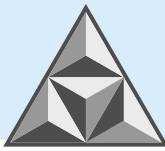
Представлены результаты оценки качества зубчатого клеевого соединения при статическом изгибе заготовок в производстве деревянных клееных конструкций. В ходе исследований образцов, отобранных случайным образом в производственных условиях при изготовлении деревянных клееных конструкций из древесины хвойных пород, определено напряжение при изгибе с приложением нагрузки в третях пролета на пластъ. Применение такой схемы нагружения позволило создать в расчетной зоне деформацию чистого изгиба. 53.3% образцов имели максимальные напряжения при изгибе, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 20850–2014. «Конструкции деревянные клееные несущие. Общие технические условия». Среднее значение разрушающего напряжения при изгибе в зубчатом клеевом соединении составило 19.8 МПа, а коэффициент вариации – 8.9%. По результатам исследований установлено, что на прочность зубчатого клеевого соединения существенное влияние оказывают равномерность нанесения клея на поверхность шипов и наличие пороков в месте нарезки шипов и вблизи их. С учетом этих факторов, по мнению авторов статьи и других российских ученых, можно также прогнозировать малую прочность при статическом изгибе. Устранение указанных недостатков достигается путем замены клеенаносящих гребенок, регулирования частоты контрольных мероприятий в ходе технологического процесса изготовления деревянных клееных конструкций.

Ключевые слова: деревянные клееные конструкции, деревянное домостроение, зубчатое клеевое соединение, прочность при статическом изгибе

Для цитирования:

Титунин А.А., Подъячев А.В., Цыбакин С.В., Дубровина Ю.Ю. Влияние древесиноведческих и технологических факторов на прочность зубчатого соединения в клееных конструкциях // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 2. С. 8-17.

URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023



SCIENTIFIC ARTICLE

Influence of wood and technological factors on the strength of the finger joint in laminated constructions

A.A. Titunin¹, A.V. Podyachev², S.V. Tsybakin¹, Yu.Yu. Dubrovina¹

Andrey A. Titunin, Sergey V. Tsybakin, Yulia Yu. Dubrovina

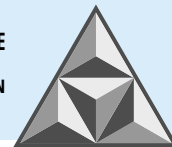
¹Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma, Russia

titunin62@mail.ru; sv44kostroma@yandex.ru; dubrovinayy@mail.ru

Alexey V. Podyachev

²Kostroma State University, Kostroma, Russia

alvip@yandex.ru

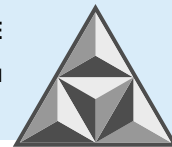


The paper presents the results of finger joint quality assessment at the static bending in the production of wooden laminated structures. We selected the softwood samples randomly. This study concerns with detecting of bending stress with load application in thirds of the plate span. This loading scheme allows us to make pure bending deformation for the area under study. 53.3% of the selected samples had the values of maximum bending stress satisfying the regulatory requirements. The average value of the destructive bending stress in the finger joint was 19.8 MPa, the coefficient of variation - 8.9%. According to the study results, surface defects and the glue application uniformity on surface of the joint significantly affected the strength of finger joints. This explains the insufficient adhesive strength in the place of finger joint and, as a consequence, low strength at static bending. Therefore, it is necessary to replace glue-bearing applicators, and control the technological process of wooden laminated structures manufacturing regularly.

Keywords: wooden laminated constructions, wooden housing construction, finger joint, static bending strength

For citation:

Titunin, A.A., Podyachev, A.V., Tsybakin, S.V. & Dubrovina, Yu.Yu. (2023) Influence of wood and technological factors on the strength of the finger joint in laminated constructions, *Smart Composite in Construction*, 4(2), pp. 8-17 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023



ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития строительного комплекса характеризуется широким применением деревянных клееных конструкций (ДКК) при возведении различных зданий и сооружений, а также объектов деревянного домостроения. При сохранении положительных природных свойств древесины в клееных конструкциях отсутствует ряд дефектов, снижающих прочностные показатели готовых деталей. Важно, что ДКК получают путем склеивания сухой древесины (влажность не превышает 10-12%), поэтому в процессе эксплуатации готовый материал обладает формоустойчивостью.

Деревянные клееные конструкции начали применяться в строительстве зданий и сооружений в 30-40-х годах XX столетия. За прошедшие 80 лет накоплен большой опыт проектирования, производства, монтажа и эксплуатации ДКК. Отдельно следует отметить научные исследования и вклад в разработку нормативных документов, рабочих чертежей конструкций и проектов уникальных зданий с применением ДКК, выполненных в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, ЦНИИ-Промзданий, ЦНИИЭПсельстрой, ЦНИИМОД, ЦНИИЭП им. Б.С. Мезенцева, МГСУ, СПбГАСУ и других научных и профильных образовательных организациях.

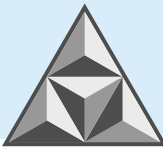
В настоящее время на протяжении нескольких лет, по словам директора по региональному развитию и PR Ассоциации деревянного домостроения Максима Молчанова, наблюдается устойчивый тренд развития деревянного домостроения [1]. С 2016 г. зафиксирован рост ввода в эксплуатацию малоэтажных домов. В 2021 г., впервые с 2009 г., строительство таких домов заняло лидирующие позиции по объемам и доле в общем жилищном строительстве России. В марте 2022 г. доля деревянного домостроения в общем объеме малоэтажного строительства вплотную приблизилась к отметке 40%. Это связано с использованием каркасных, каркасно-панельных и панельных технологий, где роль ДКК трудно переоценить [1].

Широкое применение ДКК в строительстве во многом объясняется с позиции постоянного совершенствования технологии изготовления и обеспечения требований нормативной документации. При этом, как отмечают многие специалисты, для различных вариантов технологии производства ДКК характерна общность: при их изготовлении нет необходимости использовать исключительно высококачественное сырье [2]. Получение многослойных клееных конструкций возможно при использовании пиловочного сырья средних диаметров, что весьма актуально ввиду значительного сокращения качественных крупно-размерных пиловочных бревен в промышленно-освоенных районах [2-7]. Накопленный отечественный и зарубежный опыт применения ДКК показал, что по сравнению с традиционными решениями они имеют значительные преимущества: металлоемкость зданий снижается втрое, масса – в 2-3 раза, трудоемкость монтажа – до 2.5 раз [8].

Для сохранения существующих позиций и увеличения темпов развития деревянного домостроения в России важным направлением является обеспечение качества конструкций на основе древесины. Решение этой задачи будет способствовать ускоренному росту как деревянного домостроения, так и лесопромышленного комплекса страны.

Основными документами, регламентирующими требования к технологическому процессу изготовления, контролю качества и приемке элементов несущих и ограждающих деревянных клееных конструкций, используемых в промышленном, гражданском и сельском строительстве, являются:

- «Руководство по изготовлению и контролю качества деревянных клееных конструкций», разработанное в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко в 1982 г. [9];
- ГОСТ 20850–2014. Конструкции деревянные клееные несущие. Общие технические условия;
- ГОСТ 19414-90. Древесина клееная массивная. Общие требования к зубчатым клеевым соединениям.



Соблюдение требований, указанных в этих документах, позволяет производителям ДКК поставлять на строительную площадку качественную продукцию, что во многом определяет безопасную эксплуатацию объекта в течение срока службы.

Одним из требований нормативных документов, в частности ГОСТ 20850–2014, является регулярность контроля качества клеевых зубчатых соединений в ламелях многослойных клееных конструкций. Если для большепролетных конструкций требуется проводить испытания зубчатых соединений на изгиб не менее пяти образцов в смену и не менее двух образцов на один элемент ДКК, то для элементов перекрытий пролетом до 7.5 м и временных построек можно отбирать для испытаний не менее пяти образцов в течение недели. Данное требование отчасти обусловлено влиянием на прочность зубчатого клеевого соединения особенностей макростроения склеиваемой древесины и ряда технологических факторов, таких как шероховатость поверхности древесины в зоне нарезки шипов, количество, качество и равномерность нанесения клея, давление и продолжительность прессования при склеивании, время выдержки склеенных ламелей. Вследствие вариабельности в параметрах макростроения древесины, наличия пороков, а также технологических особенностей производства одних и тех же ДКК на различных производственных площадках качество клеевых зубчатых соединений при прочих равных условиях может отличаться. Целью настоящего исследования явилось установление влияния на качество клеевых зубчатых соединений равномерности нанесения клея при сращивании заготовок и наличия пороков, в частности – сучков.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В ходе экспериментальных исследований в лаборатории сопротивления материалов Костромского государственного университета проведены исследования качества зубчатого клеевого соединения при статическом изгибе. Образцы для испытаний были выпилены в Костромской области из ламелей, подготовленных для склеивания по пласти с зубчатым клеевым соединением посередине длины. Их характеристики: размер – 45×195×1000 мм, порода древесины – сосна, влажность – (10.0±2.0)%, длина шипа – 20 мм. Для склеивания использовался меламино-мочевиноформальдегидный клей при норме расхода 240 г·м⁻² (двустороннее нанесение); количество образцов для испытаний – 15 шт. Испытания проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 33120-2014 «Конструкции деревянные клееные. Методы определения прочности клеевых соединений (EN 302-1:2013, NEQ)» реализованы на машине AmslerZBD 30, которая была проверена с помощью образцового динамометра системы Токаря, что обеспечивает точность измерений.

Испытания проводили по схеме, указанной на рис. 1, с приложением нагрузки в третях пролета на пласт. Применение такой схемы нагружения позволило создать в расчетной зоне деформацию чистого изгиба.

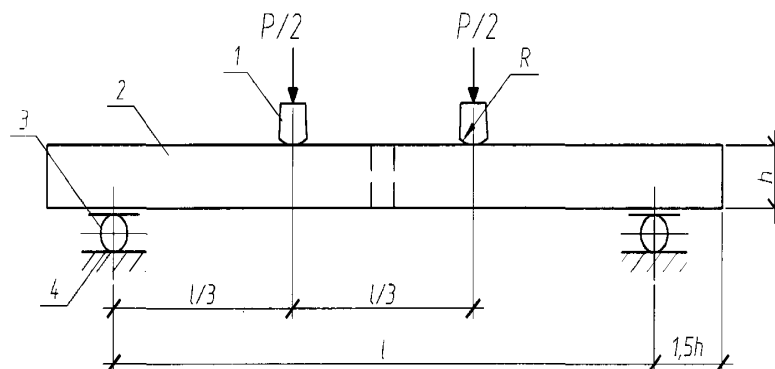
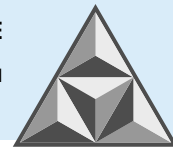


Рис. 1. Схема испытания зубчатых клеевых соединений при изгибе:

1 – нагружающие ножи, 2 – образец, 3 – цилиндрический шарнир, 4 – опора

Fig. 1. Scheme of finger joint at bending: 1 – loading blades, 2 – sample, 3 – cylindrical joint, 4 – bearing



Образец нагружали равномерно с постоянной скоростью, при которой образец разрушался через 3-5 мин после приложения нагружения.

Значение разрушающего напряжения в зубчатом клеевом соединении определяли:

$$\sigma = \frac{Pl}{bh^2},$$

где P – разрушающая нагрузка, Н; l – величина пролета испытываемого образца, $l = 600$ мм; b – ширина образца, мм; h – толщина образца, мм.

После регистрации значений разрушающей нагрузки проводился визуальный осмотр образцов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При испытаниях 15 образцов были получены результаты (табл. 1), из которых видно, что минимальное значение напряжения при статическом изгибе составило 10.6 МПа, а максимальное значение – 22.9 МПа. В тех случаях, когда разрушение происходило по древесине, значение разрушающего напряжения в зубчатом клеевом соединении колебалось в диапазоне 17.3-22.9 МПа. При этом среднее значение разрушающего напряжения составило 19.8 МПа, среднее квадратическое отклонение – 1.77, дисперсия выборки – 3.15; коэффициент вариации – 8.9%.

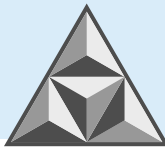
Таблица 1. Результаты лабораторных испытаний по определению прочности зубчатого клеевого соединения при статическом изгибе

Table 1. Results of laboratory tests on the finger joint strength at static bending

| Номер образца | Размеры поперечного сечения образца | | Разрушающая нагрузка P , Н | Максимальное напряжение σ , МПа | Характер разрушения |
|---------------|-------------------------------------|------------------|------------------------------|--|---------------------------------|
| | Ширина b , мм | Толщина h , мм | | | |
| 1 | 45.5 | 193.0 | 15250 | 22.90 | По древесине |
| 2 | 45.6 | 194.5 | 11750 | 17.43 | По древесине |
| 3 | 45.8 | 195.0 | 9500 | 13.94 | Наличие сучка в рабочей зоне |
| 4 | 45.7 | 195.0 | 11750 | 17.31 | По древесине |
| 5 | 45.8 | 194.6 | 14000 | 20.58 | По древесине |
| 6 | 45.7 | 194.5 | 9500 | 14.03 | Мало клея, сучок в рабочей зоне |
| 7 | 45.5 | 194.4 | 13500 | 20.13 | По древесине |
| 8 | 45.6 | 195.0 | 12400 | 18.35 | По древесине |
| 9 | 45.3 | 194.7 | 14250 | 21.40 | По древесине |
| 10 | 45.3 | 194.0 | 12800 | 19.29 | По древесине |
| 11 | 45.8 | 194.3 | 7200 | 10.60 | Нет клея на 1/3 ширины образца |
| 12 | 45.5 | 194.6 | 9100 | 13.55 | Мало клея |
| 13 | 45.6 | 193.2 | 14500 | 21.66 | По древесине |
| 14 | 45.7 | 194.5 | 13250 | 19.57 | По древесине |
| 15 | 45.2 | 194.8 | 12500 | 18.84 | По древесине |

Лишь 53.3% образцов имели значения максимального напряжения при изгибе, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 20850–2014. При этом 20% образцов соответствовали классу прочности С14, 26.6% – классу С16, 6.7 % – классу С18. Наиболее вероятной причиной неравномерного нанесения клея на шипы по ширине образца является частичный износ гребенки для нанесения клея.

В качестве примера, иллюстрирующего значимость соблюдения требований нормативных документов, на рис. 2-4 показан внешний вид образцов после испытаний. Видно, что низкое значение разрушающего напряжения при изгибе имеет место для образцов, в нагруженной зоне которых присутствуют недопустимые сучки (см. рис. 2, образцы № 3 и № 6).



В некоторых образцах клей на шипы был нанесен неравномерно или даже не наносился на часть шипов (рис. 3, образцы № 11 и № 12). При равномерном нанесении клея на шипы по всей ширине заготовок наблюдаемый характер разрушения представлен на рис. 4.



Рис. 2. Разрушение при недопустимом расположении сучков в рабочей зоне

Fig. 2. Failure due to unacceptable knots in the working area



Рис. 3. Разрушение при неполном нанесении клея на поверхность шипов

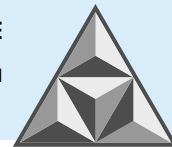
Fig. 3. Failure due to incomplete glue application to the finger joints surface



Рис. 4. Характерное разрушение в зоне зубчатого соединения при отсутствии дефектов и качественном нанесении клея

Fig. 4. Characteristic failure in the location of the finger joints at the absence of defects and proper application of glue

Снижение прочности клееной древесины в зоне зубчатого соединения можно объяснить наличием кососрезанных волокон в местах нарезки шипов, как это отмечается в [7]. Другой причиной является искривление древесных волокон вблизи сучков, если они достаточно крупные и расположены вблизи места нарезки шипов [10, 11]. В результате уширения годичных слоев в искривленной зоне повышается впитываемость клея в раннюю зону годичного слоя и наблюдается «голодный» клеевой шов – тонкая клеевая прослойка, не обеспечивающая требуемую адгезионную прочность в месте соединения. Важным фактором для прочного клеевого соединения, по мнению исследователей [12], является обеспечение в ходе технологического процесса изготовления ДКК тонкого, однородного и сплошного клеевого слоя, в котором сведены к минимуму внутренние напряжения. Если клей по сечению заготовок нанесен неравномерно, между ним и древесиной образуются пустоты и микрополости, уменьшается площадь адгезионного взаимодействия. Эти участки также служат концентраторами напряжений, ослабляющих прочность соединения. Установлено, что толщина клеевого слоя не оказывает существенного влияния на прочность клеевого соединения древесины. Прочность клеевого соединения преимущественно зависит от площади контакта связующего с древесиной, природы клея и глубины его проникновения в древесину [7, 10-13]. В этой связи особенно важно, чтобы в условиях производства использовался качественный клей определенной вязкости, соблюдались требуемые технологические режимы открытой и закрытой выдержки.



ВЫВОДЫ

Качество зубчатых клеевых соединений заготовок при производстве деревянных клееных конструкций обеспечивается при соблюдении требований нормативно-технической документации к параметрам клея, равномерности его нанесения на шипы и отсутствии крупных сучков вблизи шипового соединения. В этом случае прочность при изгибе ламелей, сращенных на зубчатый шип, будет выше 18 МПа, что отвечает требованиям ГОСТ 20850-2014.

Для обеспечения равномерности нанесения клея в местах зубчатого соединения необходимо своевременно заменять гребенки, чаще проводить контрольные мероприятия в ходе технологического процесса. При подготовке заготовок к склеиванию на операции вырезки дефектных мест важно соблюдать требования ГОСТ 19414-90 и не допускать присутствие сучков диаметром более 5 мм в месте нарезки шипов.

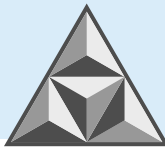
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Деревянное строительство как драйвер ЛПК // *Леспромформ.* 2022. № 3(165). С. 24–25.
2. **Рыкунин С.Н., Кривошеков Н.В.** Влияние изменения параметров сосновых пиломатериалов на формирование качества стенового клееного бруса // *Лесной вестник.* 2017. Т. 21, № 6. С. 50–53.
3. **Кирюгина С.Е.** Совершенствование технологии и повышение эксплуатационной надежности деревянных стеновых конструкций из клееного бруса : автореф. Дис. ... канд. техн. наук. С.-Петербург, 2017.
4. **Леонович О.К., Судникович С.П.** Исследование прочностных и теплофизических свойств деревянных строительных конструкций // *Труды БГТУ.* 2013. № 2(158). С. 135–137.
5. **Мелехов В.И., Рудная Н.С.** Влияние микрорельефа сопрягаемых поверхностей древесины на прочность склеивания // *Лесной журнал.* 2014. № 6(342). С. 89–100.
6. **Титунин А.А., Зайцева К.В.** Древесиноведческие и технологические проблемы производства клееных материалов для деревянного домостроения // *Жилищное строительство.* 2016. № 11. С. 44–47.
7. **Серов Е.Н., Лабудин Б.В.** Клееные деревянные конструкции: состояние и проблемы развития // *Лесной журнал.* 2013. № 2. С. 137–147.
8. **Лебедева, М.А.** Место клееных деревянных конструкций в современном строительстве и архитектуре // *Молодой ученый.* 2018. № 50(236). С. 46–48. URL: <https://moluch.ru/archive/236/54810/> (дата обращения: 12.02.2023).
9. Руководство по изготовлению и контролю качества деревянных клееных конструкций / Центр. науч.-исслед. ин-т строит. конструкций им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1982.
10. **Русаков Д.С., Варанкина Г.С., Чубинский А.Н., Степанищева М.В.** Влияние строения и структуры древесины различных пород на расход клея при производстве фанеры // *Системы. Методы. Технологии.* 2019. № 4(44). С. 112–117. DOI:10.18324/2077-5415-2019-4-112-117.
11. **Коваленко И.В., Чубинский М.А., Русаков Д.С., Варанкина Г.С.** Поверхностные свойства и строение древесины осины // *Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад.* 2016. № 217. С. 182–193.
12. А.С. № 1212790 СССР. Клеевое соединение заготовок из древесины с помощью зубчатых шипов / Гусев А.И. Опубл. 23.02.1986. Бюл. № 7.
13. **Корниенко В.А., Сычев А.Н., Таргонская М.В.** Качество клеевого соединения при сращивании отрезков транспортной влажности // *Semantic Scholar.* URL: http://www.science-bsea.bgita.ru/2016/les_2016/kornienko_kach.htm (дата доступа: 04.05.2023).

Поступила в редакцию 02.05.2023

Одобрена после рецензирования 16.06.2023

Принята к опубликованию 21.06.2023



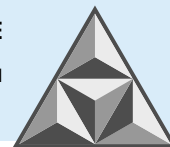
REFERENCES

1. Wooden construction as a driver of the timber industry complex (2022), *Lesprominform*, 3(165), pp. 24–25 (in Russian).
2. **Rykunin, S.N. & Krivoshechekov, N.V.** (2017) Influence of changes in the parameters of pine lumber on the formation of the quality of wall laminated timber, *Lesnoj vestnik*, 21(6), pp. 50–53 (in Russian).
3. **Kiryutina, S.E.** (2017) Improvement of technology and improvement of operational reliability of wooden wall structures made of glued beams : PhD. St. Petersburg (in Russian).
4. **Leonovich, O.K. & Sudnikovich, S.P.** (2013) Research of strength and thermal-physical properties of wooden building structures, *Trudy BGTU*, 2(158), pp. 135–137 (in Russian).
5. **Melekhov, V.I. & Rudnaya, N.S.** (2014) Influence of microrelief of mating wood surfaces on bonding strength, *Lesnoj zhurnal*, (342), pp. 89–100 (in Russian).
6. **Titunin, A.A. & Zaitseva, K.V.** (2016) Wood science and technological problems of production of laminated materials for wooden housing construction, *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, (11), pp. 44–47 (in Russian).
7. **Serov, E.N. & Labudin, B.V.** (2013) Glued wooden structures: state and problems of development, *Lesnoj zhurnal*, (2), pp. 137–147 (in Russian).
8. **Lebedeva, M.A.** (2018) The place of laminated wooden structures in modern construction and architecture, *Molodoj uchenyj*, 50 (236), pp. 46-48 [online]. Available at: <https://moluch.ru/archive/236/54810/> (in Russian).
9. *Guidelines for manufacturing and quality control of wooden laminated structures Central'nyjnauchno-issledovatel'skijinstitutstroitel'nyhkonstrukcijm. V.A. Kucherenko Gosstroya SSSR.* (1982). M.: Stroyizdat (in Russian).
10. **Rusakov, D.S., Varankina, G.S., Chubinsky, A.N. & Stepanischeva, M.V.** (2019) Influence of structure and wood structure of different species on glue consumption in plywood production, *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 4 (44), pp.112-117. DOI:10.18324/2077-5415-2019-4-112-117 (in Russian).
11. **Kovalenko, I.V., Chubinsky, M.A., Rusakov, D.S. & Varankina G.S.** (2016), Surface properties and structure of aspen wood, *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*, (217), pp. 182–193 (in Russian).
12. **Gusev, A.I.** (1986) *Adhesive bonding of wood workpieces with toothed spikes.* SU1212790 USSR (in Russian).
13. **Kornienko, V.A., Sychev, A.N., Targonskaya, M. V.** Quality of adhesive bonding when splicing pieces of transport moisture, *Semantic. Scholar* [online]. Available at: http://www.science-bsea.bgita.ru/2016/les_2016/kornienko_kach.htm (access date: 05/04/2023) (in Russian).

Received 02.05.2023

Approved after reviewing 16.06.2023

Accepted 21.06.2023



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 65.05:004.9

Особенности использования отечественного и зарубежного инструментария имитационного моделирования строительных конструкций зданий и сооружений

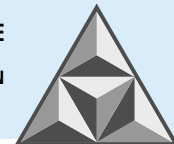
С.В. Федосов¹, В.Н. Федосеев², И.С. Зайцев², И.А. Зайцева²

Сергей Викторович Федосов

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
Москва, Российская Федерация
fedosov-academic53@mail.ru

Вадим Николаевич Федосеев, Иван Сергеевич Зайцев, Ирина Александровна Зайцева

²Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация
4932421318@mail.ru, e30n3@yandex.ru, 75zss@rambler.ru

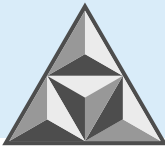


Имитационное моделирование строительных конструкций представлено как мощный инструмент повышения эффективности и качества процессов, связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией строительных объектов. Рассмотрены различные программные продукты для имитационного моделирования строительных конструкций, их возможности и применение в различных проектах по всему миру. Проведен сравнительный анализ отечественных и зарубежных технологий информационного моделирования жизненного цикла объектов строительства, выявлены их преимущества и недостатки. Приведены примеры успешной реализации широко распространенных и применяемых информационных инструментов в России и за рубежом. Дана оценка анализу возможности адаптации зарубежных инструментарий-технологий к отечественным условиям. При выборе инструментария для решения задач в данной области необходимо учитывать функционал и возможности программ, а также их стоимость.

Ключевые слова: строительные конструкции, информационное моделирование, технологии-инструментарии, BIM-системы, жизненный цикл объектов строительства

Для цитирования:

Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцев И.С., Зайцева И.А. Особенности использования отечественного и зарубежного инструментария имитационного моделирования строительных конструкций зданий и сооружений // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 2. С. 18-31. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023



SCIENTIFIC ARTICLE

Features of domestic and foreign simulation tools use for structural modeling of civil engineering buildings and constructions

S.V. Fedosov¹, V.N. Fedoseev², I.S. Zaitsev², I.A. Zaitseva²

Sergey V. Fedosov

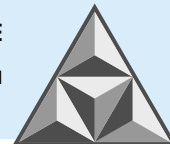
¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

fedosov-academic53@mail.ru

Vadim N. Fedoseev, Ivan S. Zaitsev, Irina A. Zaitseva

²Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

4932421318@mail.ru, e30n3@yandex.ru, 75zss@rambler.ru

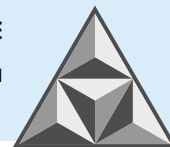


The paper dwells on construction simulation as a powerful tool to improve the efficiency and quality of design, construction, and operation of building structures. Also the paper considers different features of software products global application experience for simulation modeling of building structures. We conduct the comparative analysis of domestic and foreign technologies for information modeling of the construction objects life cycle, and assess their advantages and disadvantages. Also we provide examples of the most widespread and applicable software tools successful implementation in Russia and abroad. The paper also provides the analysis of foreign tool-technologies adaptations to domestic fields. Therefore, while selecting a tool for this particular issue, the functionality and capability of the software, as well as its cost, should be considered.

Keywords: building structures, information modelling, tools technologies, BIM systems, lifecycle of construction objects

For citation:

Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N., Zaitsev, I.S. & Zaitseva, I.A. (2023) Features of domestic and foreign simulation tools use for structural modeling of civil engineering buildings and constructions, *Smart Composite in Construction*, 4(2), pp. 18-31 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023.



ВВЕДЕНИЕ

Строительство является важной отраслью экономики, которая направлена на создание объектов, необходимых для жизни и работы людей. Однако процессы, связанные с проектированием, строительством и эксплуатацией объектов, требуют постоянного повышения эффективности и качества. Основой любого сооружения (здания, моста или дамбы) являются строительные конструкции. При проектировании и строительстве конструкций необходимо учитывать множество факторов, таких как нагрузки, вибрации, температурные изменения и другие воздействия, которые могут повлиять на их прочность и надежность [1, 2].

Инструментарий имитационного моделирования строительных конструкций позволяет проводить их расчеты на прочность и надежность при различных условиях эксплуатации, оптимизировать процессы строительства и эксплуатации объектов, повысить их эффективность и безопасность, а также снизить риски и затраты.

Имитационное моделирование строительных конструкций представляет собой процесс создания виртуальной модели здания или сооружения, который позволяет проводить анализ и оптимизацию процесса строительства. Для этого используют специализированные программные продукты, на основе которых создают 3D-модели, облегчающие моделирование в сфере строительства различных систем – отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, а также электроснабжения и связи [3-5].

Роль инструментария в имитационном моделировании заключается в том, что без специальных программ и инструментов создание и анализ компьютерных моделей становится невозможным. Существует множество программ и известны BIM / ТИМ-технологии информационного моделирования жизненного цикла объектов строительства (ЖЦОС), сопровождающие комплексный анализ прочности, теплотехнические расчеты, поиск оптимальных технологических решений, управление бюджетом проекта [6].

Приведем типовые примеры использования инструментария имитационного моделирования, относящиеся к возведению строительных конструкций:

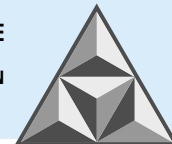
1. Оптимизация процесса строительства. Например, при моделировании конструктивных элементов многоэтажного здания можно выбрать подходящую последовательность работ, чтобы минимизировать время и затраты на строительство.

2. Оценка эффективности и рисков. Имитационное моделирование позволяет оценить эффективность строительства здания или сооружения, а также определить возможные риски и проблемы, которые могут возникнуть в процессе возведения строительных конструкций. Например, при моделировании строительства моста можно определить, какие факторы могут повлиять на прочность и безопасность конструкций, провести анализ рисков.

3. Разработка проектной документации. Имитационное моделирование позволяет создавать точную и детальную проектную документацию, которая учитывает особенности и требования объекта. Например, при моделировании строительства больницы можно разработать детальный план помещений, учитывая требования к установке оборудования, а также системам вентиляции и кондиционирования воздуха, электроснабжения и т.д.

4. Обучение и тренировка специалистов. Имитационное моделирование позволяет проводить обучение и тренировку специалистов, которые будут заниматься возведением строительных конструкций здания или сооружения.

5. Проведение экспериментов и исследований. Имитационное моделирование позволяет проводить эксперименты и исследования, которые помогают разрабатывать новые технологии и методы строительства, а также улучшать существующие. Например, при



моделировании строительства высотного здания можно провести эксперименты с различными материалами и конструкциями, чтобы выделить наиболее прочные и эффективные варианты.

Применение имитационного моделирования при возведении строительных конструкций можно рассматривать в трех направлениях:

1. Оценка прочности и надежности конструкций. С помощью специальных программных продуктов можно создавать 3D-модели объектов, проводить анализ их прочности в различных условиях. Например, при моделировании строительства моста можно определить, какие факторы могут повлиять на его прочность и безопасность, провести анализ рисков [7].

Примером успешной реализации в этом направлении является программа «Конструкция», разработанная Институтом проблем безопасности атомной энергетики Российской академии наук. Такая программа позволяет проводить расчеты на прочность и надежность конструкций при различных условиях эксплуатации, включая воздействие внешних факторов, таких как сейсмические нагрузки и термические воздействия.

2. Оптимизация эксплуатации объектов на этапах жизненного цикла (о перспективах данного направления уже упоминалось выше).

Показателен опыт реализации программы, разработанной в НИИ строительной технологии (Ростовская обл., г. Новочеркасск). Программа позволяет оптимизировать процессы строительства зданий и сооружений, учитывая различные факторы, такие как доступность материалов, технологии строительства, погодные условия и т.д.

3. Прогнозирование возможных аварийных ситуаций. Моделирование аварийных ситуаций в процессе строительства и эксплуатации объектов помогает разработать меры по их предотвращению. Например, при возведении высотного здания можно провести эксперименты с различными материалами и строительными конструкциями, чтобы определить наиболее прочные и эффективные варианты и предотвратить возможные аварии.

Программа «Аварийный анализ», предложенная в Институте проблем безопасности атомной энергетики Российской академии наук, позволяет прогнозировать возможные аварийные ситуации в процессе эксплуатации объектов, проводить анализ их причин и разрабатывать меры по предотвращению подобных ситуаций в будущем.

Это лишь отдельные примеры, которые успешно применяются в различных отечественных проектах строительства и эксплуатации объектов (в том числе – атомных электростанций, мостов, высотных зданий и других сооружений). Отличия отечественного и зарубежного инструментария моделирования строительных конструкций зданий заключаются в функциональных возможностях программ и их адаптированности к российскому рынку строительства [8].

Цель настоящей работы – сравнительный анализ программных продуктов для осуществления имитационного моделирования строительных конструкций, выявление их сильных и слабых сторон и выбор подходящих технических решений в сфере жизненного цикла объектов строительства.

АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ СИСТЕМ И СРЕДСТВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В России BIM / ТИМ ЖЦОС активно развиваются с 2010-х годов. Распространенные отечественные BIM-системы для моделирования строительных конструкций (рис. 1) описаны ниже.

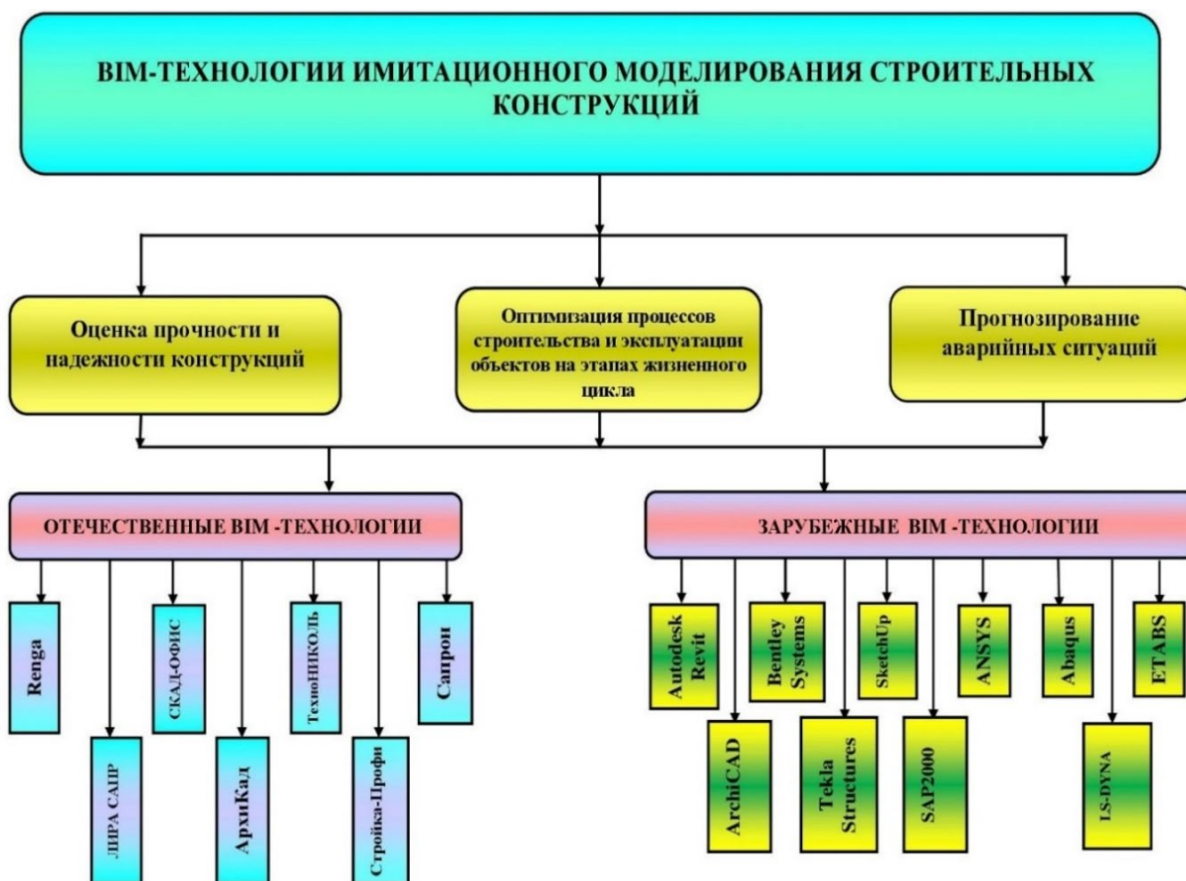
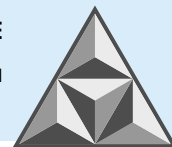


Рис. 1. Информационные технологии имитационного моделирования строительных конструкций
Fig. 1. Information technology simulation modeling of building structures

Renga¹ – российская BIM-система, разработанная компанией ASCON. Она позволяет создавать трехмерные модели объектов, проводить анализ прочности и теплотехнические расчеты. Renga используется в архитектурном проектировании зданий, промышленных объектов и сопутствующей инфраструктуры.

ЛИРА САПР² – комплекс программ для проектирования и расчета конструкций, включающий в себя модули для создания трехмерных моделей, анализа прочности и устойчивости конструкций, расчета деформаций и напряжений.

СКАД-ОФИС³ – комплекс программных средств для проектирования и управления строительством, включающий в себя модули для создания трехмерных моделей, планирования технологий производственных процессов и управления бюджетом проекта.

АрхиКад⁴ – программа для проектирования зданий, которая позволяет создавать 3D-модели объектов, проводить расчеты на прочность конструкций и оптимизировать процессы строительства.

ТехноНИКОЛЬ⁵ – программа для проектирования кровельных и гидроизоляционных систем, которая позволяет создавать 3D-модели объектов, проводить расчеты на прочность конструкций и оптимизировать процессы строительства.

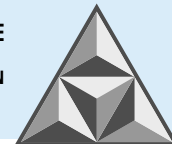
¹ Renga. URL: <https://rengabim.com/>

² ЛИРА САПР. URL: <https://www.lirasapr.com/>

³ СКАД-ОФИС. URL: <https://scadsoft.com/>

⁴ АрхиКад. URL: <https://graphisoft.com/ru/solutions/archicad>

⁵ ТехноНИКОЛЬ. URL: <https://nav.tn.ru/systems/ploskaya-krysha/tn-krovlya-praktik/>



Стройка-Профи⁶ – программа для проектирования зданий и сооружений, которая позволяет создавать 3D-модели объектов, проводить расчеты на прочность конструкций и оптимизировать процессы строительства.

Сапрон⁷ – программа для проектирования зданий и сооружений, которая позволяет создавать 3D-модели объектов, проводить расчеты на прочность конструкций и оптимизировать процессы строительства.

В Российской Федерации известны примеры успешной реализации архитектурно-проектных решений с использованием отечественных ТИМ ЖЦОС:

– строительство комплекса «Ледовый дворец» в Омске; использована BIM-система с инструментом реализации Renga для создания трехмерной модели объекта, а также проведения анализа прочности конструкций;

– реконструкция здания Министерства обороны РФ в Москве; использована BIM-система, реализованная в программе «ЛИРА САПР» для создания трехмерной модели здания и проведения анализа прочности конструкций;

– строительство жилого комплекса «Новое Тушино» в Москве; использована BIM-система, программный инструмент СКЛАД-ОФИС для создания трехмерной модели объекта, планирования производственных процессов и управления бюджетом проекта.

Зарубежные BIM / ТИМ ЖЦОС являются ведущими в мире и активно развиваются с 2000-х годов. Они представлены следующими BIM-системами (см. рис. 1.):

Autodesk Revit⁸ – американская BIM-система, которая позволяет создавать трехмерные модели объектов, проводить анализ прочности и теплотехнические расчеты, моделировать системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, а также планировать технологию производственных процессов и управлять бюджетом проекта;

Bentley Systems⁹ – американская компания, которая предоставляет BIM-системы для различных отраслей, включая строительство, инфраструктуру, энергетику и др. Одной из наиболее популярных BIM-систем от Bentley Systems является AECOsim Building Designer. Bentley Microstation – программа для проектирования зданий и сооружений, которая позволяет создавать 3D-модели объектов, проводить расчеты на прочность конструкций, а также моделировать системы электроснабжения и связи;

ArchiCAD¹⁰ – BIM-система, разработанная венгерской компанией Graphisoft. Она позволяет создавать трехмерные модели объектов, а также проводить анализ прочности и теплотехнические расчеты;

Tekla Structures¹¹ – BIM-система, разработанная финской компанией Tekla Corporation. Она специализируется на проектировании и расчете конструкций из стали и бетона. Позволяет создавать 3D-модели объектов, проводить расчеты на прочность конструкций и оптимизировать процессы строительства;

⁶ Стройка-Профи. URL: <https://metallprofil.ru/shop/informatsiya/press-tsentr/stati/luchshie-programmy-dlya-proektirovaniya-domov/>

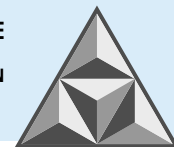
⁷ Сапрон. URL: <https://www.ivd.ru/dizajn-i-dekor/zagorodnyj-dom/10-lucsih-besplatnyh-programm-dla-proektirovania-domov-27181>

⁸ Autodesk Revit. URL: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>

⁹ Bentley Systems. URL: <https://www.bentley.com/>

¹⁰ ArchiCAD. URL: <https://www.graphisoft.com/archicad/>

¹¹ Tekla Structures. URL: <https://www.tekla.com/products/tekla-structures>



SketchUp¹² – программа для проектирования зданий и сооружений, которая позволяет создавать 3D-модели объектов, проводить расчеты на прочность конструкций и оптимизировать процессы строительства;

SAP2000¹³ – программа компании CSI (Computers and Structures, Inc.), которая предназначена для анализа и проектирования конструкций различных типов. Она позволяет моделировать конструкции из различных материалов – бетона, стали, дерева и др. SAP2000 также учитывает различные воздействия, такие как ветер, сейсмические нагрузки, температурные изменения и другие. Программа имеет широкий спектр функций, включая автоматическое создание моделей, анализ и оптимизацию конструкций, а также возможность проводить динамические расчеты;

ANSYS¹⁴ – программа компании ANSYS, Inc., которая предназначена для проведения комплексных расчетов и анализа конструкций различных типов. Она позволяет моделировать конструкции из различных материалов, а также учитывать различные воздействия, такие как ветер, сейсмические нагрузки, температурные изменения и другие. ANSYS имеет широкий спектр функций, включая возможность проводить статические и динамические расчеты, анализ факторов безопасности и оптимизацию конструкций;

Abaqus¹⁵ – программа компании Dassault Systèmes, которая предназначена для проведения комплексных расчетов и анализа конструкций различных типов. Она позволяет моделировать конструкции из различных материалов, а также учитывать различные воздействия, такие как ветер, сейсмические нагрузки, температурные изменения и другие. Abaqus имеет широкий спектр функций, включая возможность проводить статические и динамические расчеты, анализ факторов безопасности и оптимизацию конструкций;

LS-DYNA¹⁶ – программа компании Livermore Software Technology Corporation, которая предназначена для проведения динамических расчетов и анализа конструкций различных типов. Она позволяет моделировать конструкции из различных материалов, а также учитывать различные воздействия, такие как взрывы, удары и другие динамические нагрузки. LS-DYNA имеет широкий спектр функций, включая возможность проводить статические и динамические расчеты, анализ факторов безопасности и оптимизацию конструкций;

ETABS¹⁷ – программа компании CSI (Computers and Structures, Inc.), которая предназначена для анализа и проектирования зданий и сооружений. Она позволяет моделировать здания из различных материалов, таких как бетон, сталь, дерево и другие. ETABS учитывает различные воздействия, такие как ветер, сейсмические нагрузки, температурные изменения и другие. Программа имеет широкий спектр функций, включая автоматическое создание моделей, анализ и оптимизацию строительных конструкций, а также возможность проводить динамические расчеты.

Перечисленные программы применяются в различных проектах по всему миру. Они позволяют проводить комплексные расчеты и анализ строительных конструкций, учитывая множество факторов, которые могут повлиять на их прочность и надежность.

¹² SketchUp. URL: <https://www.sketchup.com/ru>

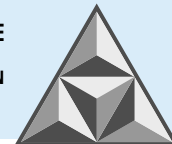
¹³ SAP2000. URL: <https://steel-concrete.ru/products/csi/sap2000/>

¹⁴ ANSYS. URL: <https://www.ansys.com/>

¹⁵ Abaqus. URL: https://tesis.com.ru/cae_brands/abaqus/

¹⁶ LS-DYNA. URL: <https://www.cadfem-cis.ru/products/ansys/structures/lstdyna/>

¹⁷ ETABS. URL: <https://steel-concrete.ru/products/csi/etabs/>



Примеры успешной реализации проектов с использованием зарубежных BIM ЖЦОС являются:

1. Строительство международного аэропорта Хэйхэ в Китае. В проекте использовалась BIM-система Autodesk Revit для создания трехмерной модели объекта и планирования производственных процессов.

2. Строительство моста Queensferry Crossing в Шотландии. В проекте использовалась BIM-система Tekla Structures для создания трехмерной модели моста и проведения анализа прочности конструкций.

3. Строительство офисного здания The Edge в Амстердаме. В проекте использовалась BIM-система Revit для создания трехмерной модели здания и планирования технологических производственных процессов.

Отечественные и зарубежные ТИМ ЖЦОС имеют свои преимущества и недостатки (табл. 1).

Таблица 1. Преимущества и недостатки отечественных и зарубежных технологий информационного моделирования жизненного цикла объектов строительства

Table 1. Advantages and disadvantages of domestic and foreign technologies for information modeling of the construction objects life cycle

| ТИМ ЖЦОС | Преимущества | Недостатки |
|---------------|--|--|
| Отечественные | <ul style="list-style-type: none"> - российские стандарты и нормативы, учитывающие особенности отечественной строительной отрасли; - наличие русскоязычных интерфейсов и технической поддержки; - стоимость ниже, чем у зарубежных аналогов [9] | <ul style="list-style-type: none"> - недостаточная функциональность по сравнению с зарубежными аналогами; - ограниченное количество интеграций с другими программами; - не всегда учитывается международный опыт и требования заказчиков |
| Зарубежные | <ul style="list-style-type: none"> - более широкий функционал, чем у отечественных аналогов; - большое количество интеграций с другими программами; - международный опыт и учет требований заказчиков | <ul style="list-style-type: none"> - высокая стоимость по сравнению с отечественными аналогами; - не всегда учитывают особенности отечественной строительной отрасли; - не всегда доступны русскоязычные интерфейсы и техническая поддержка |

В целом, для успешной адаптации зарубежных технологий к отечественным условиям информационного моделирования объектов строительства необходимо вести дополнительную работу по развитию учета национальных стандартов и правил проектирования, а также учитывать развитие отечественной строительной отрасли [8, 9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изученные примеры успешной реализации зарубежных и отечественных инструментов имитационного моделирования строительных конструкций, благодаря возможности создания виртуальной модели, были учтены авторами настоящей работы.

Применение инструментов осуществлено по следующим направлениям:

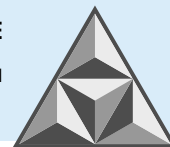
1. Проектирование и оптимизация строительных конструкций.

Создание точных и достоверных моделей конструкций, анализ их поведения в различных условиях в соответствии с [10], способствует снижению вероятности возникновения аварийных ситуаций и повышению безопасности эксплуатации.

2. Анализ поведения строительных конструкций в различных условиях: изменение нагрузок, температурных режимов или воздействие естественных стихийных явлений.

Такой подход способствует повышению качества строительной конструкции, эффективности ее эксплуатации.

3. Экономические расчеты и оптимизация затрат на строительство.



Такой подход, по аналогии с [11], способствует выбору эффективных материалов и технологий строительства.

4. Ускорение процесса проектирования и сокращение времени на разработку и испытание конструкции.

Подход предоставляет возможность анализировать результаты аналогично примеру, описанному в [12], без необходимости проведения физических испытаний.

На выбор инструментария имитационного моделирования строительных конструкций оказал влияние ряд следующих факторов:

1. Функциональные возможности программы; учтены наличие необходимых инструментов для создания и анализа моделей, возможность работы с различными типами конструкций и материалов.

2. Удобство использования и пользовательский интерфейс; разработана программа с понятным и интуитивно понятным интерфейсом, а также учтено наличие документации и обучающих материалов.

3. Стоимость программы и наличие бесплатных версий; проведено сопоставление с функциональностью и возможностями, а также учтены пробные периоды.

4. Наличие технической поддержки и обновлений; разработана программа с регулярными обновлениями и исправлением ошибок.

5. Качество результатов моделирования; разработана программа, позволяющая создавать точные и достоверные модели, которые могут быть использованы по примеру, описанному в [13], для прогнозирования результатов проектов.

6. Совместимость с другими программами и форматами файлов; разработана программа с различными форматами файлов, о чем обсуждалось в [14].

7. Наличие специализированных функций для конкретных задач в строительстве; разработана программа, предоставляющая инструменты для работы с конкретными типами конструкций и материалов, а также позволяющая решать специфические задачи в области строительства.

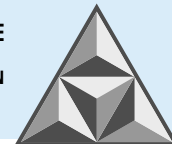
При выборе программы для имитационного моделирования строительных конструкций также учтены возможность применения для различных строительных конструкций, масштаб проекта и требования к точности моделирования, как это описано [15].

Разработанный программный продукт [16] является примером использования BIM-технологий на практике управления ЖЦОС в режиме энергоэффективной реализации, что отвечает требованиям национального стандарта России [17].

Программа предназначена для расчета распределения температур по толщине стенки трубопровода фреоновой контуры теплообменной системы строительного объекта. При этом предусмотрены возможные вариации толщины величины проводимости исследуемых слоев [18]. Такая программа позволяет оценить влияние теплообменных процессов, определяющих энергосберегающий эффект, затраты теплопереноса, тем самым поднимая производительность системы. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022666150 от 25 августа 2022 года [16].

Обобщая отечественный и зарубежный опыт реализации программ имитационного моделирования строительных конструкций, предлагается:

– продолжать развивать отечественные BIM / ТИМ ЖЦОС, учитывая особенности и динамику отечественной строительной отрасли, адаптируя национальные стандарты [17] и правила проектирования [19] к современным условиям, обучать специалистов с высоким уровнем квалификации работе с BIM-технологиями;



– создавать благоприятные условия для интеграции BIM-технологий с другими программами и системами управления проектами; развивать рынок современных услуг и учитывать конъюнктуру по созданию BIM-моделей, обеспечивая их поддержку на всех этапах жизненного цикла объекта строительства, как это описано в [2];

– продвигать использование BIM-технологий в государственных закупках и стимулировать их использование в решении задач.

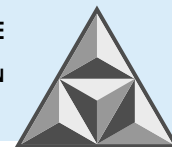
ВЫВОДЫ

Разработан новый продукт для имитационного моделирования строительных конструкций зданий и сооружений, позволяющий оценить влияние теплообменных процессов, энергосберегающий эффект и затраты на теплоперенос и оказать тем самым положительное влияние на производительность системы.

В результате анализа отечественного и зарубежного опыта реализации программ имитационного моделирования строительных конструкций предлагается продолжать создавать условия для интеграции BIM-технологий с другими программами и системами управления и продвигать стимулирование к использованию таких технологий в системе государственных закупок.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Абакумов Р.Г., Наумов А.Е., Зобова А.Г.** Преимущества, инструменты и эффективность внедрения технологий информационного моделирования в строительстве // *Вестник ВГТУ им. В.Г. Шухова*. 2017. № 5. С. 171- 181. DOI: 0.12737/article_590878fb8be5f0.72456616.
2. **Карпунин В.Г. Голубева Е.А.** Компьютерное моделирование строительных конструкций зданий и сооружений // *Известия вузов: Архитектон*. 2019. № 4 (68). С. 17-27.
3. **Радзюкевич А.В., Козлов Г.В.** Виртуальное моделирование физических процессов как новый инструмент архитектурного формообразования // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2012. № 4 (21). С. 1-12.
4. **Талапов В.В.** Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. М.: ДМК Пресс, 2015. 410 с.
5. **Табунщиков Ю.А.** Умные технологии энергопотребления умных городов // *Конференция Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ : тезисы докладов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов*. 2019. Т. 2. С. 458-459.
6. **Табунщиков Ю.А.** Математическое моделирование – универсальный инструмент управления теплоэнергопотреблением здания // *АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2018. № 6. С. 26-35.
7. **Савин М.А.** Роль информационного моделирования зданий в инвестиционной безопасности в строительстве // *Строительство и архитектура 2022 : материалы международной научно-практической конференции факультета промышленного и гражданского строительства*. ДГТУ, 2022. С. 18-20.
8. **Талапов В.В.** Анализ опыта внедрения информационного моделирования в Великобритании // *Баландинские чтения*. 2019. Т. 14, № 1. С. 89-93.
9. **Манжилевская С.Е., Давыдов М.А.** Применение энергоэффективных технологических решений при возведении зданий // *Строительство и архитектура 2022 : материалы международной научно-практической конференции факультета промышленного и гражданского строительства*. ДГТУ, 2022. С. 233-236.
10. **Талапов В.В.** Информационная модель – основа «Умного города» // *САПР и ГРАФИКА*. 2018. № 11 (265). С. 4-7.
11. **Козлова Т.И., Талапов В.В., Романова Л.С.** Информационное моделирование зданий: опыт применения в реконструкции и реставрации // *САПР и ГРАФИКА*. 2009. № 8(154). С. 4-7.



12. **Гирия Л.В., Осокин И.Б.** Положительные стороны применения BIM в проектах организации строительства // *Строительство и архитектура 2022 : материалы международной научно-практической конференции факультета промышленного и гражданского строительства*. ДГТУ, 2022. С. 22-24.
13. **Каган П.Б.** Аналитические исследования больших массивов данных в строительстве // *Промышленное и гражданское строительство*. 2018. № 3. С. 80-84.
14. **Корреа Ф.Р.** Достаточно ли большой BIM, чтобы воспользоваться преимуществами аналитики больших данных? URL: https://stroy-synchro.ru/news_oqtc_6_134/ (Дата обращения 07.04.2023).
15. **Авдеев А.С.** Разработка системы автоматизации жилых и офисных помещений «Умный дом» // *Катановские чтения - 2014 : сборник научных трудов студентов*. Абакан: ХГУ им. Н.Ф. Катанова, 2014. С. 142-143.
16. **Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцев И.С., Воронов В.А., Блинов О.В., Зайцева И.А.** Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022666150 РФ; опублик. 25.08.2022.
17. ГОСТ Р 57193-2016. Национальный стандарт Российской Федерации. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. Systems and software engineering. System life cycle processes.
18. **Федосов С.В., Федосеев В.Н., Воронов В.А.** Численно-аналитический метод сведения задач нестационарной теплопроводности с граничными условиями III рода к задачам с условиями I рода // *Строительные материалы*. 2022. № 12. С. 59-62. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-809-12-59-62>.
19. **Яценюк Т.В., Султангузин И.А., Кругликов Д.А., Яворовский Ю.В., Христенко Б.А., Чайкин В.Ю.** BIM – моделирование для жизненного цикла здания: реалии современности и потребности развития в России // *Сантехника, отопление, кондиционирование*. 2021. № 2 (230). С. 30-39.

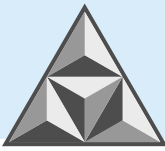
Поступила в редакцию 20.04.2023

Одобрена после рецензирования 16.06.2023

Принята к опубликованию 21.06.2023

REFERENCES

1. **Abakumov, R.G., Naumov, A.E. & Zobova A.G.** (2017) Advantages, tools and efficiency of the introduction of information modeling technologies in construction, *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*, 5, pp. 171-181 (in Russian).
2. **Karpunin, V.G. & Golubeva, E.A.** (2019) Computer modeling of building structures of buildings and structures, *Izvestiya Vuzov: Architecton*, 4(68), pp. 17-27 (in Russian).
3. **Radzyukevich, A.V. & Kozlov, G.V.** (2012) Virtual modeling of physical processes as a new tool for architectural shaping, *Architecture and Modern Information Technologies*. 4(21), pp.1-12 (in Russian).
4. **Talapov, V.V.** *BIM technology: the essence and features of the introduction of information modeling of buildings*. M.: DMK Press, 2015.
5. **Tabunshchikov, Yu.A.** (2019) Smart energy consumption technologies of smart cities, *Konferentsiya Nauka, obrazovaniye i eksperimentalnoye proyektirovaniye v MARKhI: Tezisy докладov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii professorsko-prepodavatelskogo sostava. molodykh uchenykh i studentov.* (2), pp. 458-459 (in Russian).
6. **Tabunshchikov, Yu.A.** (2018) Mathematical modeling is a universal tool for managing heat and energy consumption of a building, *AVOK: Ventilyatsiya. otopeniye. konditsionirovaniye vozdukh. teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika*, (6), pp. 26-35 (in Russian).
7. **Savin, M.A.** (2022) The role of building information modeling in invistive safety in construction, *Stroitelstvo i arkhitektura 2022: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii fakulteta promyshlennogo i grazhdanskogo stroitelstva*. DGTU, pp.18-20 (in Russian).
8. **Talapov, V.V.** (2019) Analysis of the experience of implementing information modeling in the UK, *Balandinskiye chteniya*. 14(1), pp.89-93 (in Russian).
9. **Manzhilevskaya, S.E. & Davydov, M.A.** (2022) Application of energy-efficient technological solutions in the construction of buildings, *Stroitelstvo i arkhitektura 2022: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii fakulteta promyshlennogo i grazhdanskogo stroitelstva*. DGTU, pp. 233-236 (in Russian).

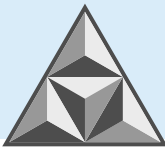


10. **Talapov, V.V.** (2018) The information model is the basis of the «Smart City», *SAPR i GRAFIKA*, 11(265), pp. 4-7 (in Russian).
11. **Kozlova, T.I., Talapov, V.V. & Romanova L.S.** (2009) Information modeling of buildings: experience of application in reconstruction and restoration, *SAPR i GRAFIKA*, 8(154), pp.4-7 (in Russian).
12. **Girya, L.V. & Osokin, I.B.** (2022) Positive aspects of the use of BIM in construction organization projects, *Stroitelstvo i arkhitektura 2022: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii fakulteta promyshlennogo i grazhdanskogo stroitelstva*. DGTU, pp. 22-24.
13. **Kagan, P.B.** (2018) Analytical studies of large data arrays in construction, *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo*, (3), pp. 80-84 (in Russian).
14. **Correa, F.R.** *Is BIM big enough to take advantage of big data analytics?* [online]. Available at: https://stroy-synchro.ru/news_oqtc_6_134/ (Accessed 07.04.2023).
15. **Avdeev, A.S.** (2014) Development of automation system of residential and office premises «Smart house», *Katanovskiy chteniya - 2014: Sbornik nauchnykh trudov studentov*. Abakan: HGU im. N.F. Katanova, pp. 142-143 (in Russian).
16. **Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N., Zaitsev I.S., Voronov V.A., Blinov, O.V. & Zaitseva, I.A.** Certificate of registration of the computer program No 2022666150, application 08.25.2022 (in Russian).
17. GOST R 57193-2016. *Is the national standard of the Russian Federation. System and software engineering. Processes of the life cycle of systems. Systems and software engineering. System life cycle processes.*
18. **Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N. & Voronov, V.A.** (2022) Numerical-analytical method for reducing problems of unsteady thermal conductivity with boundary conditions of the III kind to problems with conditions of the I kind, *Stroitelnyye materialy*, (12), pp. 59-62. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-809-12-59-62> (in Russian).
19. **Yatsenyuk, T.V., Sultanguzin, I.A., Kruglikov, D.A., Yavorovsky, Yu.V., Khristenko, B.A. & Chaikin, V.Yu.** (2021) BIM modeling for the life cycle of a building: the realities of modernity and the needs of development in Russia, *Santekhnika. Otopleniye. Konditsionirovaniye*, 2(230), pp.30-39 (in Russian).

Received 20.04.2023

Approved after reviewing 16.06.2023

Accepted 21.06.2023



SCIENTIFIC ARTICLE

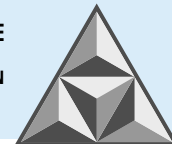
Production of a modified sodium liquid glass binder for construction work

P.B. Razgovorov

Pavel B. Razgovorov

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

razgovorovpb@ystu.ru

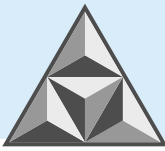


The paper considers the possibility of obtaining a high-quality binder based on sodium liquid glass suitable for construction works. According to the author, by varying the dilution of sodium silicate solution and carbamide concentration at a fixed elevated temperature (353 K) we can obtain a modified product with a certain molecular weight and a given particle size in the solution. Based on the data of thermomechanical analysis and testing the properties of 200-270 μm thick films obtained by curing the system "sodium liquid glass with a density of 1.36-1.41 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ – carbamide", we have identified the conditions for providing the necessary hardness and tensile strength of the material. The author recommends the resulting modified material for using in silicate compositions for the protection and decorative finishing of mineral surfaces of building structures.

Keywords: sodium liquid glass, carbamide, modified binder, particle size, molecular weight, hardness, tensile strength of films

For citation:

Razgovorov, P.B. (2023) Production of a modified sodium liquid glass binder for construction work, *Smart Composite in Construction*, 4(2), pp. 32-40 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

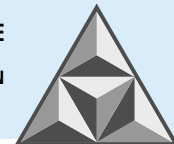
УДК 546.284 + 547.245

Получение модифицированного связующего материала из натриевого жидкого стекла для строительных работ

П.Б. Разговоров

Павел Борисович Разговоров

Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация,
razgovorovpb@ystu.ru

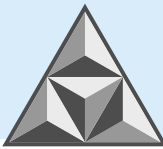


Рассмотрена возможность получения качественного связующего материала на основе натриевого жидкого стекла, пригодного для проведения строительных работ. Показано, что путем варьирования разведения раствора силиката натрия и концентрации карбамида при фиксированной повышенной температуре (353 К) можно получить модифицированный продукт с определенной молекулярной массой и заданным размером частиц в растворе. На основании данных термомеханического анализа и испытания свойств пленок толщиной 200–270 мкм, полученных при отверждении системы «натриевое жидкое стекло с плотностью 1.36–1.41 г·см⁻³ – карбамид», выявлены условия для обеспечения необходимой твердости и разрывной прочности материала. Полученный модифицированный материал рекомендуется использовать в составе силикатных композиций с целью защиты и декоративной отделки минеральных поверхностей строительных объектов.

Ключевые слова: натриевое жидкое стекло, карбамид, модифицированный связующий материал, размер частиц, молекулярная масса, твердость, разрывная прочность пленок

Для цитирования:

Разговоров П.Б. Получение модифицированного связующего материала из натриевого жидкого стекла для строительных работ // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 2. С. 8-17. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023



INTRODUCTION

Previously [1-4] we have presented studies highlighting the prospects of introducing carbamide into liquid glass solutions (potassium, sodium, lithium) to produce a promising bonding material used for the protection and decorative finishing of building facades. We found, firstly, that it is possible to obtain a qualitatively new film-forming agent with improved properties (higher hardness, water resistance, and film flexibility) at higher temperatures (333-353 K). Secondly, the conditions for maintaining the rheological properties of the modified product [3] are established at a level required and sufficient for producing one-pack silicate materials, the benefits of which at the construction site are very substantial. For example, materials based on modified liquid glass are very cost-effective, environmentally friendly, fire-safe and have a long service life (at least 10 years). It is evident in the protection and decorative finishing of mineral and metal surfaces of building structures with compositions containing liquid glass modified with additives of various genes.

The materials of liquid glass with inclusion of carbamide are used in Russia to increase the adhesion and water resistance of the resulting materials [3, 5], as well as to make them cheaper in comparison to other materials suitable for surface protection of building structures. Sodium silicate liquid glass is thus of particular interest as an economical raw material compared to potassium silicate (potassium silicate liquid glass).

The purpose of this paper is to study the production conditions and strength properties of new binder materials based on non-deficient sodium liquid glass and a carbamide modifier. These conditions should provide a production of a new bonding material for single-pack sand lime paints, suitable for surface protection of modern construction sites.

EXPERIMENTAL PART

Materials

Sodium liquid glass, sand lime modulus 2.7-3.3, initial density 1.36-1.41 g·cm⁻³; total sodium oxide and silicon oxide content 30.2-38.5 wt%.

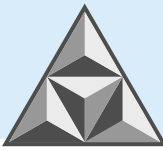
Carbamide is of type "h"; melting point is 405.7 K at 1 bar, boiling point is decomposable.

Producing a modified binder

We filled sodium liquid glass with a modulus of 2.7-3.3 and a density of 1.36-1.41 g·cm⁻³ in the raw state or after dilution with water to a density of 1.12-1.24 g·cm⁻³ into a 250 mL three-neck flask with connections to a reflux condenser, thermometer, and stirrer. We added carbamide at an amount of 5.0-17.5 wt% to the system at room temperature and rotation of the stirrer at 60-90 s⁻¹, heated the mixture to a temperature of 343 K at a drift of ±1 K, incubated at this temperature until a conditional viscosity (system run out time) of 25-30 s was reached using a 100 ml VZ-4 funnel. The treatment time was 1-6 h, after which the modified binder was discharged, and its properties were analyzed.

Determination of particle size and molecular weight of the modified material

We estimated the average mass size of particles (r) by expressions (1)-(4), defining it through turbidity (expression (1)) and the optical density of the system (D), particle volume (v) (expression (2)) and index of refraction of the dispersed phase (expression (3)):



$$\bar{\tau} = \frac{2.303 \cdot D}{L}; \quad (1)$$

$$v = \frac{\bar{\tau}}{C_v \cdot P}; \quad (2)$$

$$P = \frac{24\pi^3}{\lambda^4} \cdot \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right)^2; \quad (3)$$

$$r = \left(\frac{3v}{4\pi} \right)^{1/3}. \quad (4)$$

It should be noted that to calculate by formula (4), it is necessary to know the following parameters:
L is cuvette thickness (9.995 mm);

C_v is the volume concentration (proportion) of the dispersed phase [6];

$m = n_1/n_0$ is the ratio of the refractive index of the "dry" film-forming substance (dispersion phase) [6] to the refractive index of the dispersion medium (water);

λ is the wavelength of light in a dispersive medium;

$\lambda = \lambda_{vac}/n_0$; λ_{vac} (wavelength in vacuum) = 665 nm [7].

We calculated the molecular weight of the formations in the sodium liquid glass solution according to the method of Tager [8]. According to Einstein's theory of fluctuational light scattering and Debye's provisions for sodium liquid glass (sodium silicate) solutions the following dependence is fulfilled:

$$\frac{Hc}{\bar{\tau}} = \frac{1}{RT} RT \left(\frac{1}{M} + 2A_2c \right) = \frac{1}{M} + 2A_2c. \quad (5)$$

Within the range of concentrations, we use

$$H = \frac{32\pi}{3} \cdot \frac{n_0^2}{N_A \cdot \lambda^4} \left(\frac{n - n_0}{c} \right)^2, \quad (6)$$

where N_A is Avogadro's number;

c is the concentration of the solution;

A_2 is concentration factor;

M is the average molecular weight of the compounds in solution;

λ is assumed in this case to be 665 nm.

We determined at the first stage $\frac{Hc}{\bar{\tau}}$ for sodium liquid glass solutions (1.5-4.5 g in 100 ml).

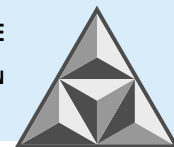
We have extrapolated on the ordinate axis the dependence obtained $\frac{Hc}{\bar{\tau}} = f(c)$ and at $c \rightarrow 0$ we found the value: $\frac{Hc}{\bar{\tau}} = \frac{1}{M}$.

Also we determined the average molecular weight of the formations in the modified material.

Since the condition was met where the particle size (r) did not exceed the value $\lambda/20$, the necessary precision of the results was ensured experimentally.

Thermo-mechanical curve acquisition

We put samples of modified sodium liquid glass on a lavsan substrate. We dried the films at (273±5) K for 24 hours. Then we separated the film from the substrate and measured its thickness with a micrometer MK-0.25 with a division value of 0.01 mm. We selected the sample width so that the sample load was 0.8-1.0 kg·cm⁻²; the sample length was 35 mm. We shot the thermo-mechanical curves on the UMIV-3 device at a diagram rate of 60 mm·h⁻¹. The rate of temperature rise was 1.8 K·min⁻¹.



RESULTS AND DISCUSSION

Dilution of sodium liquid glass with water with an initial density of $1.41 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ to a density of $1.18\text{-}1.24 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ causes intensive growth over time (2-6 hours) of particles when treated with carbamide at high temperatures (343 K) (Table 1).

Table 1. Particle size in sodium liquid glass solution at different degrees of dilution with water and carbamide treatment at 343 K

| Processing time of sodium liquid glass, hours | Particle diameter in the system, nm | | | |
|---|---|--|--|--|
| | Sodium liquid glass (1.41*) + carbamide | Sodium liquid glass (1.36) + carbamide | Sodium liquid glass (1.24) + carbamide | Sodium liquid glass (1.18) + carbamide |
| 0 | 8.0 | 8.5 | 8.8 | 9.3 |
| 2 | 8.7 | 10.2 | 10.3 | 10.8 |
| 4 | 9.1 | 10.9 | 11.5 | 12.3 |
| 6 | 9.3 | 11.2 | 11.8 | 12.5 |

* Density of the liquid glass solution is given in brackets, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$

The author explains this with phenomenon by the accumulation of silica-type formations as described in the fundamental study [9]. The performed experiment and the following calculation of average molecular weights showed that at 343 K in diluted sodium liquid glass solutions with a density of $1.18 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ with the introduction of 10 wt% carbamide modifier in time (up to 6 h), along with hydrolysis, the polycondensation process proceeds rather intensively. The molecular weight of the formations increases from 480 to 1200.

At the same time, the molecular weight of the modified film-forming material for construction works increases weakly from 710 to 780-800 with the transition to higher dilution solutions (density $1.12 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$). This is due to the significant counteracting effect of depolymerization.

Dilution with water promotes the formation of polysilicon formations which should have negative impact on the film-forming properties of sodium liquid glass-carbamide systems [10]. In this regard, we propose to use sodium liquid glass with a density in the range of $1.36\text{-}1.41 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ as an effective binder for construction works.

We studied particle growth (from 9 to 14 nm) in the system 'sodium liquid glass with a density of $1.36 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ - carbamide' at a fixed temperature (343 K) by increasing the content of the modifier in the range from 5 to 15 wt% (Fig. 1).

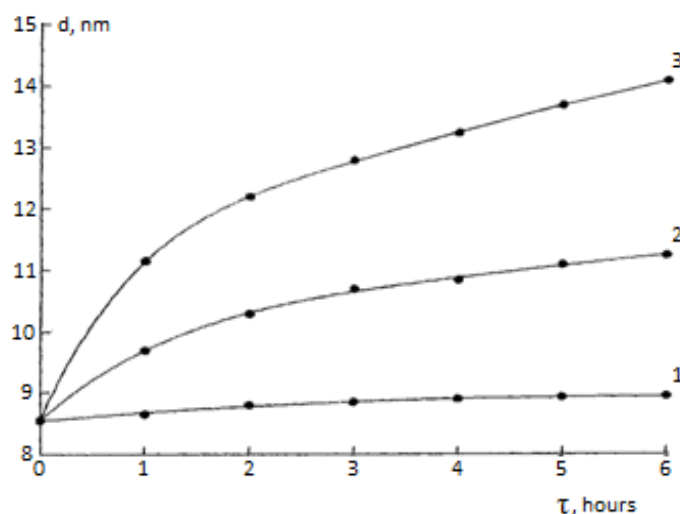
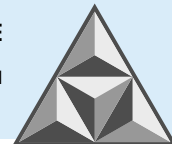


Fig. 1. Dynamics of particle entropy over time in a sodium liquid glass solution (1.36) when carbamide is introduced into the solution. Conditions: temperature 343 K; modifier concentration, wt%: 1 - 5; 2 - 10; 3 - 15



The average molecular weight of the modification product increases simultaneously with the increasing of colloidal particles in the solutions. It increases from 380 to 450 in treatment time (6 hours) at a concentration of 5 wt% carbamide. The increase of the carbamide concentration to 10 wt% doubles the average molecular weight of the product (380 to 760). However, the functional silanol groups in the binder solutions may be blocked by carbamide if the content of the modifying additive is high. The bonding is both chemical and physical in nature. In this case some of the carbamide, not interacting with the sodium liquid glass molecules, will contribute to the production of low-base silicates in the process of redistribution of solvation water. The study of the character of the thermomechanical curves (Fig. 2) indicates an increase in creep as the modifier is introduced.

To maintain a suitable binder/modifier ratio we recommend not exceeding 12-14 wt% of the latter. The presence of carbamide in the system in an amount of 15-17 wt% or more in sodium liquid glass (1.36) has a negative effect on the physico-chemical properties of the cured films.

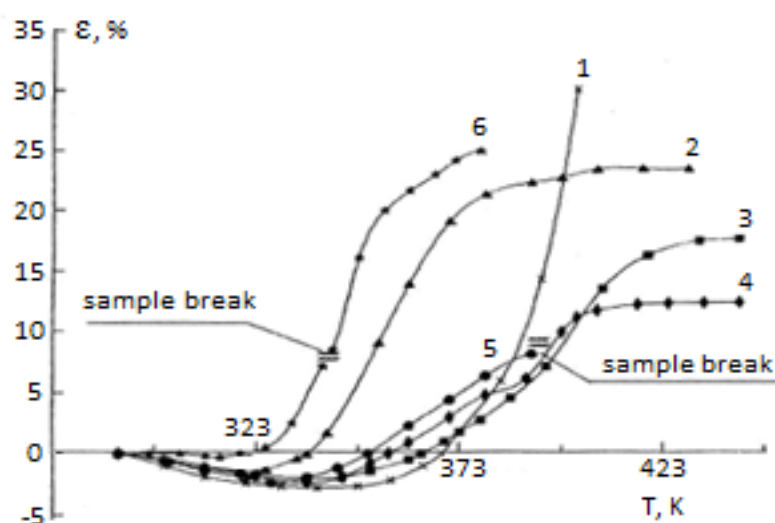


Fig. 2. Thermomechanical curves of films (270 μm thickness) made of sodium liquid glass (1.36) modified with carbamide in an amount, wt%: 1 – 0; 2 – 7.5; 3 – 10.0; 4 – 12.5; 5 – 15.0; 6 – 17.5. Conditions: Treat temperature with carbamide is 343 K, time 2 hours

Such negative consequences, which are a consequence of violation of the optimum ratio of crystalline and amorphous phases in the film, are described in the studies of V.A. Kargin [11, 12]. In particular, the tensile strength (σ) and absolute hardness (T, s) of modified product specimens decrease sharply due to an increase in the number of defects. According to the analysis of thermomechanical curves (Fig. 2, curve 6), fracture of test specimens, which are characterized by "oversaturation" with modifier, can be realized already in the working zone of 333-338 K.

An excess of carbamide (from 12.5 to 17.5-20.0 wt%) contributes to a significant decrease (from 1230-1900 to 430-480) in the calculated molecular masses of the formations (M_r) in the modified binder (see fig. 3, curve 2). In addition, the disruption of the molar ratio between the liquid glass and the modifier as well as the prolonged ($\tau = 6$ hours) treatment at 343 K led to a sharp increase in the viscosity of the system. Stirring becomes problematic [13]; at the same time, a reduction in the performance of the resulting material is to be expected.

A relatively fast treatment (see Fig. 3, curve 1, $\tau = 2$ hours) is, at the same time, possible with the specified amount of modifier. However, it would require a minimum variation of reagent concentrations (≤ 0.5 wt%) in the reactor volume. Thus, a suitable addition of carbamide to the sodium liquid glass solution should not exceed 10-12 wt%, and the treatment at 323-343 K is recommended to be conducted within 1-2 hours.

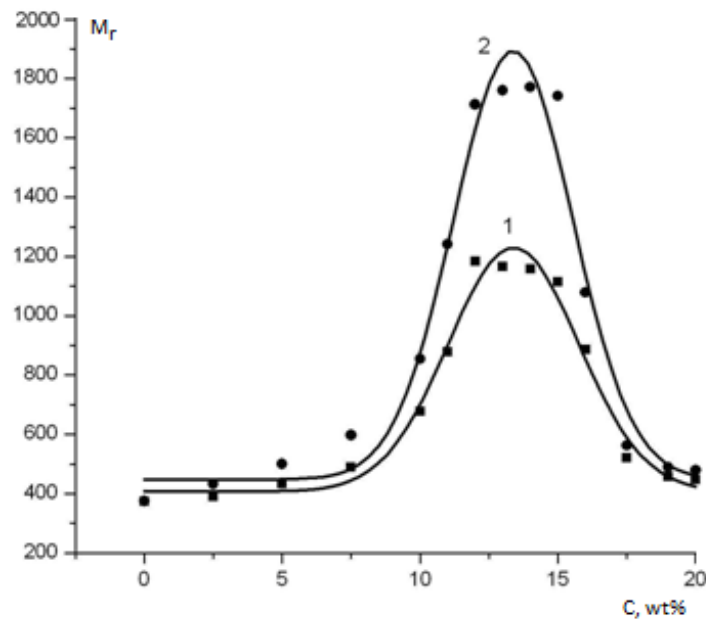
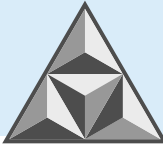


Fig. 3. Molecular weight of the formations in the modified sodium liquid glass (1.36) at different carbamide contents in the mixture
Conditions for carbamide treatment: temperature 343 K; time, hours: 1 – 2; 2 – 6

The molecular weight (Y) of carbamide-modified sodium liquid glass (1.36) changes according to equation (7) depending on the additive content in the solution (X , wt%):

$$Y = Y_0 + Ae^{-\frac{(x-x_c)^2}{2w^2}} \quad (7)$$

If the treatment time is 1-2 hours, the following calculated coefficients for equation (7) are revealed: $A = 822.9 \pm 36.6$; $x_c = 14.0 \pm 0.1$; $w = 2.37 \pm 0.15$; $Y_0 = 407.4 \pm 24.4$.

Calculation factors for the polycondensation process when treating sodium liquid glass with carbamide for 6 hours are: $A = 1445.7 \pm 74.9$; $x_c = 13.4 \pm 0.1$; $w = 2.16 \pm 0.16$; $Y_0 = 448.1 \pm 45.8$.

The R^2 coefficients in the range 0.975-0.983 confirm that equation (7) adequately describes the formation of new structures in sodium liquid glass at carbamide modifier concentrations of 0-20 wt%.

The curves of tensile strength and average hardness (Fig. 4) show resulting modification of liquid glass solutions with a density of $1.41 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ and the formation of a three-dimensional lattice structure. The predictions about increase of cross-linking degree of compounds during carbamide treatment of sodium silicate are confirmed [3, 4]. The presence of a maximum on the σ -curve can be explained both by cross-linking between OH groups, which is reflected in film hardening, and by the factor of internal stresses growth. These stresses stimulate the growth of microcracks in the resulting product.

The growth of internal micro-cracks on structure defects during fast polycondensation processes is not compensated by polymer thickening (light refraction index decreases only by 0.001-0.002 units). In this case, the strength of the cured films increases. If the modification process lasts at least 4 hours, the micro-crack growth factor already dominates. As a result, the breaking strength (σ) decreases. As for the average absolute hardness of the films, already in the first 2-3 hours of carbamide treatment acceptable hardness values (98-105 s) are reached (see Fig. 4).

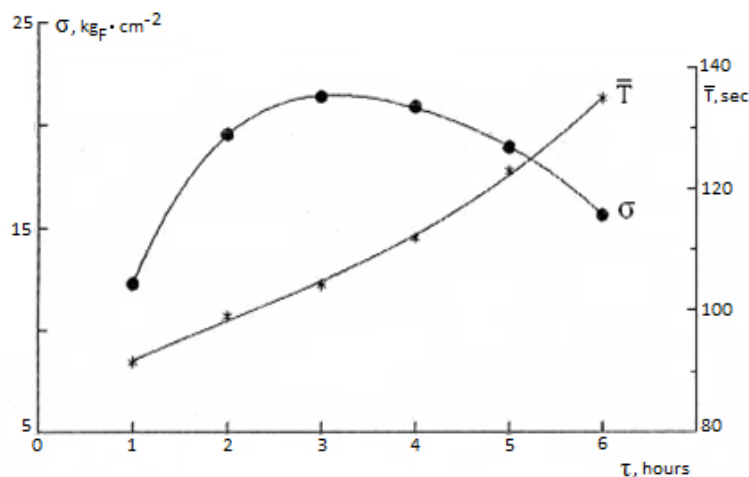
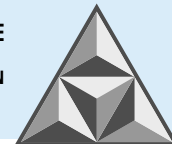


Fig. 4. Dynamics of changes of strength and average hardness of films (200 μm thickness) from the system "sodium liquid glass (1.41) – carbamide (12.5 wt%)" during treatment with the modifier at 343 K

The presented data confirm the possibility of mixed nature of interaction of sodium liquid glass molecules and carbamide modifier to obtain a quality binder suitable to produce protective building materials. A new product with silazanic bonds can be expected at 333-353 K under conditions of stirring the system with an intensity of 60-90 s⁻¹ [4]. On the other hand, an increased content of carbamide in the system (> 12.5-15.0 wt%) should not be excluded an intensification of the desalting effect of carbamide on the liquid glass. In this case the redistribution of solvation water will contribute to the formation of low-base silicates.

CONCLUSIONS

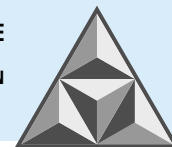
Therefore, to maintain the necessary film-forming properties of sodium liquid glass used to prepare protective materials in the construction industry, the density of its solutions diluted with water should be in the range of 1.36-1.41 g/cm³.

The introduction of carbamide as a sodium silicate liquid glass modifier at 333-353 is reasonable and justified for all cases, provided the threshold concentration of the introduced additive is 12.5-15.0 wt%, and the treatment under stirring does not exceed 2-3 hours. The particle size in modified sodium silicate solutions should not exceed 15 nm and the average molecular weight of the polymer compounds should not be higher than 1600-1800. Otherwise, defects in the modified product will be activated and the sample will be damaged already in the temperature range of 333-338 K.

We obtained data on the change in molecular weight, breaking strength, and absolute hardness of the modified binder during the treatment of sodium liquid glass with a modifier. We obtained regression equations describing with a high degree of accuracy ($R^2 = 0.975-0.981$) an increase in the average mass of polymer formations in the system as the urea modifier addition increases.

REFERENCES

1. **Razgovorov, P.B.** (2013) Modification of water soluble silicates by introduction of organic compounds, *Izvestiya vuzov. Khimiya i khim. tekhnologiya*, 56(11), pp. 4-11 (in Russian).
2. **Eremina, N.V., Avvakumov, E.G. & Zelinsky, V.Yu.** (2005) Properties of flame retardant composition based on liquid glass and mechanically activated aluminium oxide, *Zhurnal prikladnoy khimii*, 78(7), pp 1065-1069 (in Russian).
3. **Razgovorov, P.B.** (2008) *Scientific bases of creation of composite materials from technical and natural silicates*. PhD. Ivanovskiy gosudarstvenniy khimiko-tekhnologicheskii universitet (in Russian).
4. **Razgovorov, P. B., Ignatov, V. A., Koifman Z.C. & Terskaya I.N.** (1993) Investigation of the mechanism of liquid glass modification by carbamide, *Izvestiya vuzov. Khimiya i khim. tekhnologiya*, 36(1), pp. 68-70 (in Russian).



5. **Bogoyavlenskaya, G.A. & Denisova M.V.** (1996) Silicate adhesives based on modified liquid glass, *Zhurnal prikladnoy khimii*, 69(12), pp. 2075 (in Russian).
6. **Larin, A.N.** (1986) *Dispersive analysis of polyelectrolyte solutions by turbo-dimetric method: laboratory operations manual*. Ivanovo: Izd-vo Ivanovskogo gosudarstvennogo khimiko-tehnologicheskogo universiteta (in Russian).
7. **Aleskovsky, V.B.** (ed.) (1964) *Physico-chemical methods of analysis*. M.: Khimiya (in Russian).
8. **Tager, A.A.** (1963) *Physico-chemistry of polymers*. M.: Goskhimizdat (in Russian).
9. **Pier, R.** (1979) *The chemistry of silica: Solubility, polymerization, colloid and surface properties, and biochemistry*. N.Y., Chichester: Wiley-Interscience Publ.
10. **Friedemann, W. & Lauf, B.** (1981) *Adhesive and/or paint compositions based on alkali metal silicate solutions*. 3020864 FRG.
11. **Kargin, V.A.** (1979) *Structure and mechanical properties of polymers: Selected papers*. M.: Nauka (in Russian).
12. **Kargin, V.A. & Slonimsky, V.L.** (1967) *Short essays on physical chemistry of polymers*. M.: Khimiya (in Russian).
13. **Sokolov, L.B.** (1979) *Fundamentals of polymer synthesis by polycondensation*. M.: Mir (in Russian).

Received 10.05.2023

Approved 16.06.2023

Accepted 20.06.2023

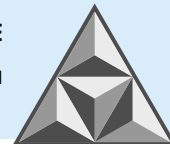
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Разговоров П.Б.** Модифицирование водорастворимых силикатов введением органических соединений // *Известия вузов. Химия и хим. технология*. 2013. Т. 56. № 11. С. 4-11.
2. **Еремина Н.В., Аввакумов Е.Г., Зелинский В.Ю.** Свойства огнезащитной композиции на основе жидкого стекла и механически активированного оксида алюминия // *Журнал прикладной химии*. 2005. Т. 78. № 7. С. 1065-1069.
3. **Разговоров П.Б.** Научные основы создания композиционных материалов из технических и природных силикатов: автореферат дис. ... д-ра техн. наук. Иваново: Изд-во ИГХТУ, 2008. 32 с.
4. **Разговоров П.Б., Игнатов В.А., Койфман З.Ц., Терская И.Н.** Исследование механизма модификации жидких стекол мочевиной // *Известия вузов. Химия и хим. технология*. 1993. Т. 36. Вып. 1. С. 68-70.
5. **Богоявленская Г.А., Денисова М.В.** Силикатные клеи на основе модифицированного жидкого стекла // *Журнал прикладной химии*. 1996. Т. 69. № 12. С. 2075.
6. **Ларин А.Н.** Дисперсионный анализ растворов полиэлектролитов турбидиметрическим методом: метод. указания. Иваново: Изд-во ИГХТУ, 1986. 32 с.
7. Физико-химические методы анализа / под ред. В.Б. Алесковского. М.: Химия, 1964. 452 с.
8. **Тагер А.А.** Физико-химия полимеров. М.: Госхимиздат, 1963. 528 с.
9. **Pier R.** *The chemistry of silica: Solubility, polymerization, colloid and surface properties, and biochemistry*. N.Y., Chichester: Wiley-Interscience Publ., 1979. 866 p.
10. **Заявка 3020864 Федеративная Республика Германии. МПК C09D 1/02, C09J 1/02.** Клеевые и/или лакокрасочные композиции на основе растворов силикатов щелочных металлов / В. Фридемманн, Б. Лауф, опубл. 10.12.81.
11. **Каргин В.А.** Структура и механические свойства полимеров: Избранные труды. М.: Наука, 1979. 452 с.
12. **Каргин В.А., Слоимский В.Л.** Краткие очерки по физико-химии полимеров. М.: Химия, 1967. 231 с.
13. **Соколов Л.Б.** Основы синтеза полимеров методом поликонденсации. М.: Мир, 1979. 264 с.

Поступила в редакцию 10.05.2023

Одобрена после рецензирования 16.06.2023

Принята к опубликованию 20.06.2023



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.3

Вязкость разрушения мелкозернистых бетонов, модифицированных минеральными добавками на основе термоактивированных глинистых и карбонатных пород

Т.А. Низина¹, В.В. Володин¹, Н.И. Макридин², О.В. Тараканов²

Татьяна Анатольевна Низина, Владимир Владимирович Володин

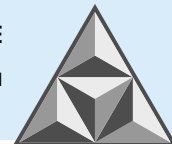
¹Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
Саранск, Российская Федерация

nizinata@yandex.ru, volodinvv1994@gmail.com

Николай Иванович Макридин, Олег Вячеславович Тараканов

²Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Российская Федерация

makridin1934@mail.ru, tarov60@mail.ru

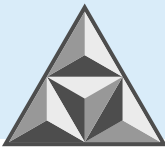


Доступным способом повышения технологических и физико-механических свойств цементных бетонов является применение модифицирующих добавок. Однако высокая стоимость и территориальная ограниченность производства наиболее эффективных модификаторов (микрокремнезем, метакаолин) не позволяет в полном объеме удовлетворять возрастающий спрос на них. Разработка минеральных добавок на основе сырья из близкорасположенных доступных источников помогает решить проблему дефицита модифицирующих добавок и снизить объемы потребления портландцемента. Представлены результаты определения вязкости разрушения (трещиностойкости) мелкозернистых бетонов из самоуплотняющихся смесей, модифицированных термоактивированной глиной (Никитское месторождение, г. Саранск, Республика Мордовия) и термоактивированной смесью глины и известняка (с. Атемар, Республика Мордовия). Трещиностойкость мелкозернистых бетонов оценивали при равновесных испытаниях на изгиб образцов I типа. Установлено повышение на 9-38% энергетических характеристик вязкости разрушения модифицированных мелкозернистых бетонов при увеличении расхода вяжущего за счет введения в состав исследуемых минеральных добавок.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, самоуплотняющиеся смеси, трещиностойкость, минеральные добавки, термоактивированная глина, известняк, поликарбоксилатный пластификатор

Для цитирования:

Низина Т.А., Володин В.В., Макридин Н.И., Тараканов О.В. Вязкость разрушения мелкозернистых бетонов, модифицированных минеральными добавками на основе термоактивированных глинистых и карбонатных пород // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 2. С. 43-54. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023



SCIENTIFIC ARTICLE

Fracture toughness of fine-grained concretes modified with mineral additives based on thermally activated clay and carbonate rocks

T.A. Nizina¹, V.V. Volodin¹, N.I. Makridin², O.V. Tarakanov²

Tatyana A. Nizina, Vladimir V. Volodin

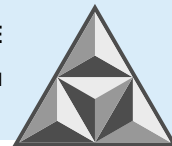
¹National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

nizinata@yandex.ru, volodinvv1994@gmail.com

Nikolay I. Makridin, Oleg V. Tarakanov

²Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

makridin1934@mail.ru, tarov60@mail.ru

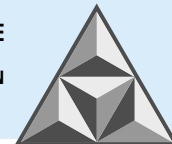


The use of modifying additives in cement concrete compositions is the most affordable way to improve their technological, physical, and mechanical properties. However, the high cost and territorial limitation of the most effective modifiers (microsilica, metakaolin) production do not meet the growing customer's demand. The development of mineral additives based on local raw materials will bridge deficit the most common additives, as well as reduce the consumption of Portland cement. The paper presents the results of determining the fracture toughness (crack growth resistance) of fine-grained concretes obtained from self-compacting concrete mixtures modified with thermally activated clay (Nikitskoye deposit, Saransk, Republic of Mordovia) and thermally activated mixture of clay and limestone (Atemar village, Republic of Mordovia). The paper contains the assessment of crack resistance of fine-grained concretes conducted in accordance with GOST 29167-2021 during equilibrium bending tests of type I samples. The paper found a 9-38% increase in fracture toughness of modified fine-grained concretes with increasing binder consumption due to the introduction of mineral additives in the composition under study.

Keywords: crack resistance, fine-grained concrete, self-compacting mixtures, mineral additives, thermoactivated clay, limestone, polycarboxylate plasticizer, fine sands

For citation:

Nizina, T.A, Volodin, V.V., Makridin, N.I. & Tarakanov, O.V. (2023) Fracture toughness of fine-grained concretes modified with mineral additives based on thermally activated clay and carbonate rocks, *Smart Composite in Construction*, 4(2), pp. 43-54 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023



ВВЕДЕНИЕ

Необходимость обеспечения высоких технологических и эксплуатационных характеристик современных цементных бетонов предопределяет актуальность исследований по разработке и совершенствованию их рецептуры и технологии получения [1-4]. Особое внимание в последние годы посвящено разработке составов модифицированных мелкозернистых бетонов, что весьма актуально для регионов, где отсутствует качественный крупный заполнитель. При этом важной задачей является разработка самоуплотняющихся цементных композиций, обладающих повышенными прочностными и эксплуатационными характеристиками, удобоукладываемостью. Необходимые технологические характеристики самоуплотняющихся бетонных смесей достигаются за счет введения в них суперпластификаторов и активных минеральных добавок [5-8]. Однако объемы производства минеральных добавок не способны удовлетворить возрастающие потребности бетонной промышленности, что связано с территориальной ограниченностью, непостоянством состава и высокой стоимостью наиболее востребованных и эффективных модификаторов (микрокремнезем, метакаолин, золы, доменные гранулированные шлаки).

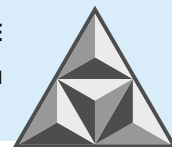
В связи с этим актуальным направлением исследований является разработка модифицирующих добавок на основе широко распространенных глинистых пород [9-11]. При этом доказано [12-14], что такие породы после обжига обладают активностью, не уступающей широко распространенным минеральным добавкам – микрокремнезему и метакаолину. Для средней полосы России перспективными минеральными добавками могут стать термоактивированные полиминеральные глины, применяемые самостоятельно и в комплексах с карбонатными породами [15-18].

Вязкость разрушения (трещиностойкость) является важным критерием, используемым при исследовании рядовых бетонов и бетонов нового поколения – дисперсно-армированных, порошково-активированных и т.д. [19, 20]. Этот показатель характеризует способность материала тормозить развитие дефектов структуры, противостоять хрупкому и постепенному разрушению в течение заданного времени [1, 21-25]. Основные достижения при изучении механического поведения твердых тел связаны с использованием концепции Гриффитса – Орована – Ирвина [22]. Впервые выразить энергию разрушения материала через работу, необходимую для образования трещины, предложил А.А. Гриффитс [26]. Предложенный энергетический критерий использован при оценке хрупкого разрушения однородных материалов, в частности стекла. Позже Дж. Ирвин и Е. Орован рекомендовали использовать теорию А.А. Гриффитса для изучения квазихрупкого разрушения металлов, заменив константу поверхностной энергии материала на удельную работу пластической деформации [27, 28]. Также Дж. Ирвин показал, что поля деформаций и напряжений на фронте трещины можно описать с помощью коэффициента интенсивности напряжений [27].

Цель данной работы – исследование влияния минеральных добавок на основе глинистых и карбонатных пород на вязкость разрушения модифицированных мелкозернистых бетонов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объектов исследования использовали мелкозернистые цементные бетоны в возрасте 28 сут. со следующими физико-механическими показателями: предел прочности на растяжение при изгибе – 8.2-9.5 МПа; предел прочности при сжатии – 59.2-72.1 МПа; плотность – 2248-2327 кг·м⁻³ (табл. 1). Мелкозернистые бетоны изготавливали из



портландцемента ЦЕМ I 42,5Б производства АО «Мордовцемент», песка с модулем крупности $M_{кр} = 1.8$ и ряда минеральных добавок: ТГН – Никитская глина, прошедшая термическую обработку и измельчение, до удельной поверхности $7800 \text{ см}^2 \cdot \text{г}^{-1}$ (длительность помола 1 ч); ТС (ГН+ИА) – смесь 2:1 по массе Никитской глины и Атемарского известняка после термической обработки. Обжиг добавок ТГН и ТС (ГН+ИА) производили при температуре $700 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 2 ч. В качестве пластифицирующей добавки применяли поликарбоксилатный суперпластификатор Melflux 5581 F.

Таблица 1. Состав и физико-механические свойства мелкозернистых бетонов

Table 1. Composition and physical and mechanical properties of fine-grained concrete

| Номер состава | Номер группы | Рецептурно-технологические показатели | | | | Физико-механические характеристики | | |
|---------------|--------------|---------------------------------------|-----------------------|--------------|------------|---|--|------------|
| | | П/(Ц+МД), отн. ед. | В/(Ц+МД), отн. ед. | МД/(Ц+МД), % | | Плотность, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ | Предел прочности в проектном возрасте (28 сут.), МПа | |
| | | | | ТГН | ТС (ГН+ИА) | | при сжатии | при изгибе |
| 1 (К1) | 1 | 2.05 | 0.29 | – | – | 2299 | 62.8 | 8.2 |
| 2 | | 2.04 | 0.29 | 10 | – | 2298 | 66.7 | 8.7 |
| 3 | | 2.04 | 0.29 | – | 10 | 2293 | 64.4 | 8.4 |
| 4 (К2) | 2 | 1.86 | 0.29 | – | – | 2321 | 69.3 | 10.6 |
| 5 | | 1.84 | 0.29 | 15 | – | 2282 | 72.1 | 8.2 |
| 6 | | 1.84 | 0.29 | – | 15 | 2271 | 68.2 | 8.5 |
| 7(К3) | 3 | 1.66 | 0.27 | – | – | 2327 | 74.3 | 11.4 |
| 8 | | 1.63 | 0.27 | 20 | – | 2280 | 65.6 | 8.9 |
| 9 | | 1.64 | 0.27 | – | 20 | 2264 | 59.2 | 9.5 |
| 10 (К4) | – | 2.37 | 0.32 | – | – | 2248 | 50.9 | 7.5 |

Трещиностойкость мелкозернистых бетонов, модифицированных исследуемыми минеральными добавками, исследовали согласно ГОСТ 29167-2021 при равновесных испытаниях на изгиб образцов первого типа (рис. 1) с размерами $40 \times 40 \times 160 \text{ мм}$.

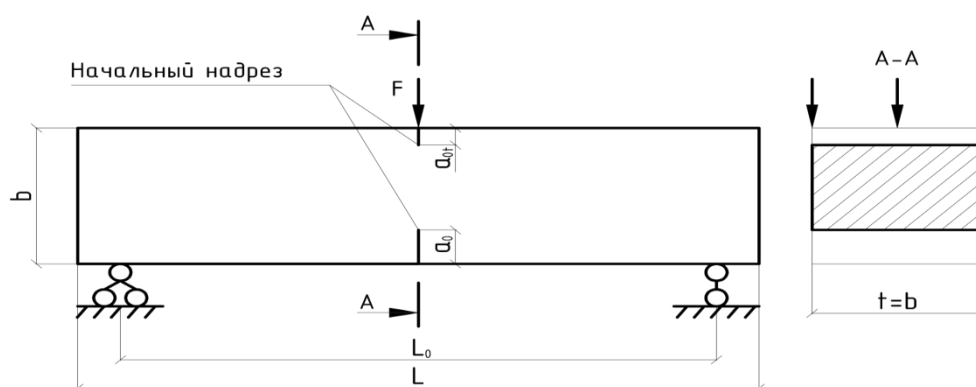


Рис. 1. Схема опытного образца (тип 1, ГОСТ 29167-2021) для определения характеристик трещиностойкости бетонов при статическом нагружении

Fig. 1. Scheme of a prototype (type 1, GOST 29167-2021) for determining the characteristics of crack resistance of concrete under static loading

Первоначальные надрезы наносили для нижней (a_{0b}) и верхней (a_{0t}) граней на глубину 10 и 5 мм. Скорость нагружения составляла $0.02 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$. В ходе испытаний образцы нагружали непрерывно, до разделения их на части. Полученные диаграммы трансформировали в расчетную схему (рис. 2).

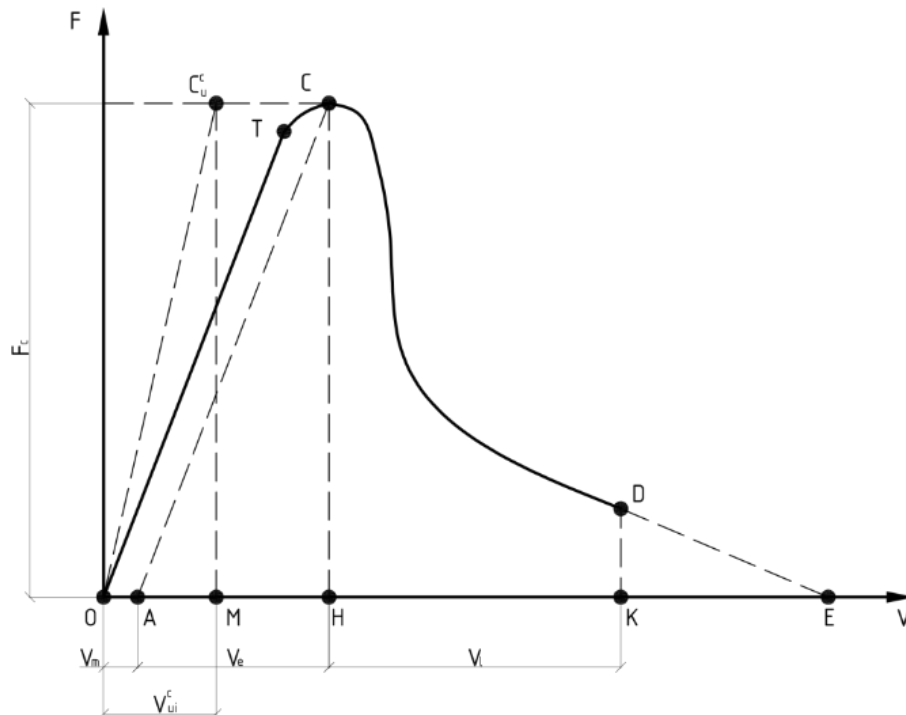
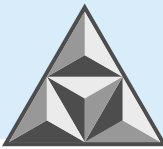


Рис. 2. Диаграмма состояния материала « $F - V$ »

Fig. 2. Material state diagram « $F - V$ »

Энергозатраты на деформирование бетонных образцов, а также силовые и энергетические характеристики трещиностойкости оценивали с помощью оболочки, представленной в программе Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Расчетная равновесная диаграмма деформирования мелкозернистого цементного бетона состава № 1 приведена на рис. 3, а результаты исследования трещиностойкости мелкозернистых бетонов, в свою очередь, отражены в табл. 2.

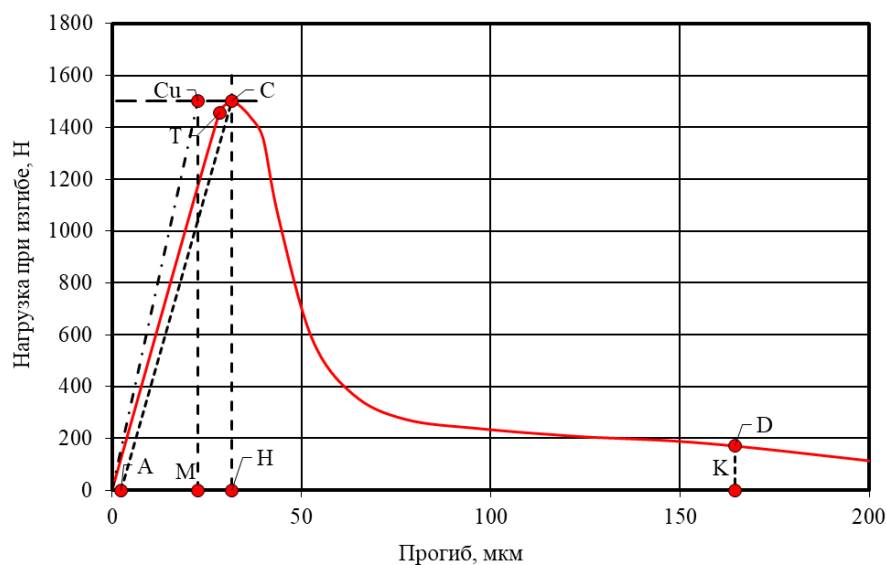


Рис. 3. Расчетная равновесная диаграмма деформирования мелкозернистого цементного бетона состава № 1

Fig. 3. Calculated equilibrium diagram of deformation of fine-grained cement concrete composition No 1

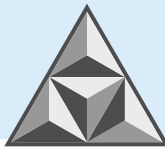


Таблица 2. Параметры трещиностойкости мелкозернистых бетонов

Table 2. Parameters of crack resistance of fine-grained concrete

| Номер состава | Энергетические характеристики трещиностойкости мелкозернистых бетонов | | | | | | | | |
|---------------|---|------------|------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------|-----------------------------|
| | W_m , Дж | W_e , Дж | W_i , Дж | W_{ii}^c , Дж | G_i , МДж·м ⁻² | J_i , МДж·м ⁻² | K_i , МПа·м ^{0,5} | E_b , МПа | G_f , МДж·м ⁻² |
| 1 (К1) | 0.0049 | 0.0219 | 0.0524 | 0.0170 | 26.80 | 9.83 | 0.958 | 34251 | 74.36 |
| 2 | 0.0045 | 0.0267 | 0.0598 | 0.0206 | 31.13 | 10.53 | 0.993 | 31655 | 86.43 |
| 3 | 0.0045 | 0.0249 | 0.0531 | 0.0193 | 29.41 | 10.16 | 0.965 | 31639 | 78.01 |
| 4 (К2) | 0.0063 | 0.0319 | 0.0566 | 0.0247 | 38.18 | 13.51 | 1.232 | 39778 | 88.55 |
| 5 | 0.0045 | 0.0251 | 0.0646 | 0.0194 | 29.65 | 10.23 | 0.951 | 30517 | 89.73 |
| 6 | 0.0060 | 0.0267 | 0.0529 | 0.0206 | 32.69 | 12.06 | 0.965 | 28477 | 79.54 |
| 7 (К3) | 0.0056 | 0.0376 | 0.0570 | 0.0290 | 43.14 | 14.10 | 1.282 | 38097 | 94.55 |
| 8 | 0.0043 | 0.0262 | 0.0570 | 0.0203 | 30.51 | 10.23 | 1.020 | 34074 | 83.25 |
| 9 | 0.0054 | 0.0285 | 0.0485 | 0.0220 | 33.89 | 11.89 | 1.094 | 35341 | 77.00 |
| 10 (К4) | 0.0048 | 0.0198 | 0.0468 | 0.0153 | 24.52 | 9.25 | 0.872 | 31047 | 66.60 |

Анализ данных, представленных в табл. 2, показывает, что увеличение расхода вяжущего за счет введения минеральных добавок ТГН и ТС (ГН+ИА) позволяет повысить энергетические характеристики трещиностойкости мелкозернистых бетонов.

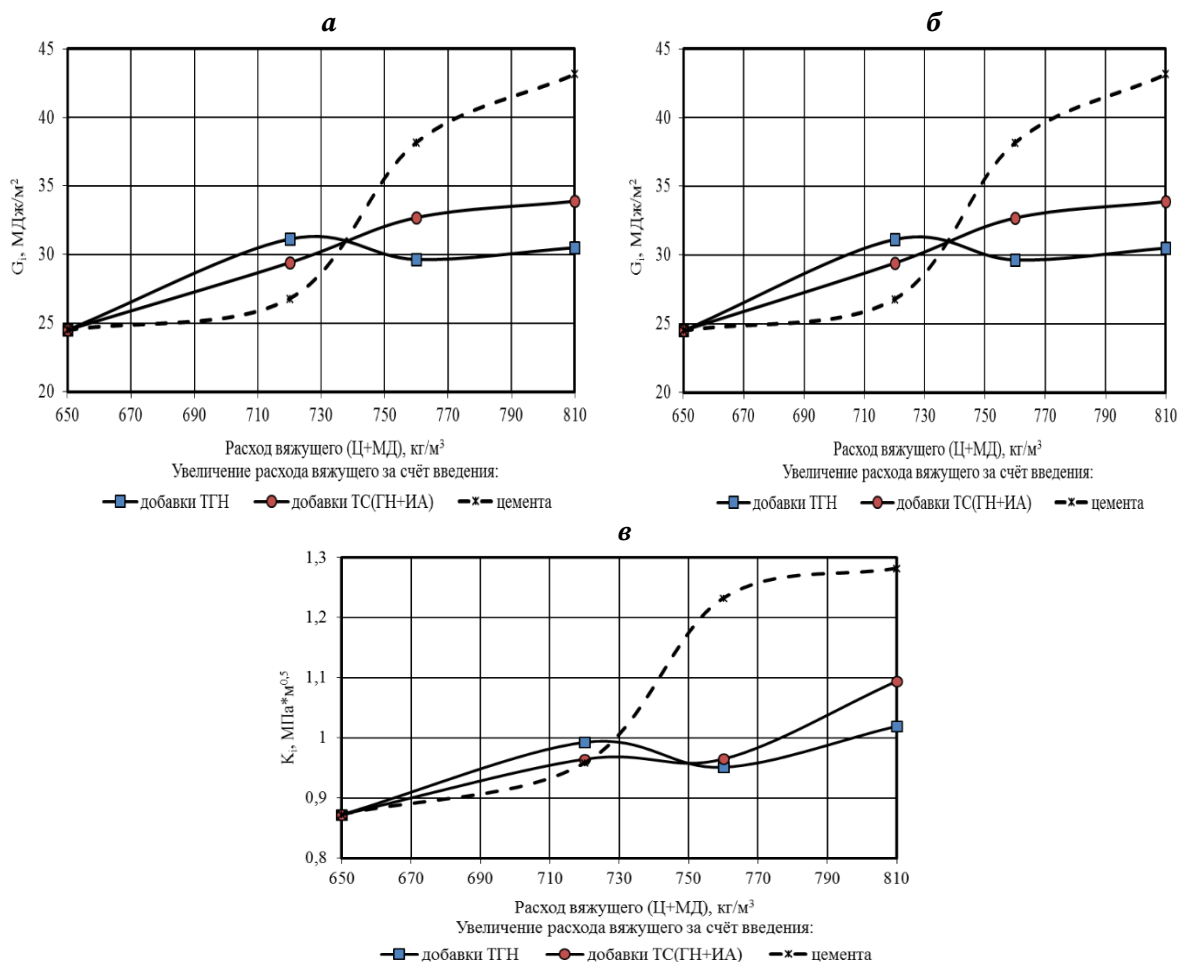
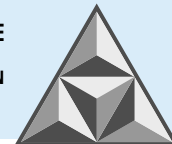


Рис. 4. Влияние расхода смешанного вяжущего в составе мелкозернистых бетонов на изменение: *a* – удельных энергозатрат на статическое разрушение до момента начала движения магистральной трещины (G_i); *б* – характеристик полей напряжений и деформаций вблизи вершины магистральной трещины при начале её движения (J_i); *в* – статического критического коэффициента интенсивности напряжений (K_i)

Fig. 4. The influence of the consumption of mixed binder in the composition of fine-grained concretes on the change: *a* – specific energy consumption for static fracture until the main crack begins to move (G_i); *b* – characteristics of stress and strain fields near the top of the main crack at the beginning of its movement (J_i); *c* – static critical stress intensity factor (K_i)



При этом, соответственно, изменяются следующие показатели:

- на 21-27% и 20-38% – удельные энергозатраты на статическое разрушение до момента начала движения магистральной трещины (G_i);
- на 11-14% и 10-30% – характеристики полей напряжений и деформаций вблизи вершины магистральной трещины при начале ее движения (J_i);
- на 9-17% и 11-25% – статический критический коэффициент интенсивности напряжений (K_i);
- на 25-35% и 16-9% – удельные эффективные энергозатраты на статическое разрушение (G_f).

Согласно [22, 25], способность бетона сопротивляться образованию трещин характеризуется критериями G_i, J_i, K_i . Графические зависимости изменения этих критериев от расхода смешанного вяжущего представлены на рис. 4.

Дополнительное введение 10% минеральных добавок (к массе вяжущего) приводит к повышению значений G_i, J_i, K_i по сравнению с контрольным немодифицированным составом 1 (К1) с расходом портландцемента 720 кг·м³. Дальнейшее повышение концентрации вводимых добавок ТГН и ТС (ГН+ИА) до 15-20% от массы вяжущего не позволяет достичь энергетических показателей трещиностойкости мелкозернистых бетонов на уровне контрольных составов 4 (К2) и 7 (К3). При этом увеличение вяжущего за счет портландцемента сопровождается практически монотонным повышением силовых и энергетических характеристик трещиностойкости мелкозернистых бетонов.

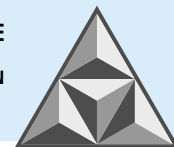
ВЫВОДЫ

Определены показатели трещиностойкости разработанных мелкозернистых бетонов, модифицированных минеральными добавками на основе термоактивированных глинистых и карбонатных пород.

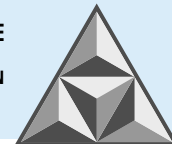
При увеличении расхода вяжущего за счет введения в состав минеральных модифицирующих добавок ТГН и ТС (ГН+ИА) установлено повышение на 20-38%, 10-30% и 9-25% энергетических характеристик трещиностойкости – соответственно, удельных энергозатрат на статическое разрушение до момента начала движения магистральной трещины, статического джей-интеграла и статического критического коэффициента интенсивности напряжений модифицированных мелкозернистых бетонов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Баженов Ю.М., Чернышов Е.М., Коротких Д.Н.** Конструирование структур современных бетонов: определяющие принципы и технологические платформы // *Строительные материалы*. 2014. № 3. С. 6-14.
2. **Каприелов С.С., Батраков В.Г., Шейнфельд А.В.** Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива // *Бетон и железобетон*. 1999. № 6. С. 6-10.
3. **Давидюк А.Н.** Бетон в строительстве – Новые вызовы и перспективы // *Вестник НИЦ. Строительство*. 2017. № 12. С. 5-13.
4. **Kalashnikov V.I., Tarakanov O.V., Kusnetsov Y.S., Volodin V.M., Belyakova E.A.** Next generation concrete on the basis of fine-grained dry powder mixes // *Magazine of Civil Engineering*. 2012. № 8(34). P. 47-53.
5. **Tarakanov O.V., Belyakova E.A., Yurova V.S.** On the issue of expanding the base of mineral and complex additives for cement concrete // *E3S Web of Conferences: Innovative Technologies in Environmental Science and Education, ITESE 2019*. 2019. Vol. 135. P. 01018.
6. **Tarakanov O.V., Belyakova E.A., Yurova V.S.** Complex organomineral additives with hardening accelerator // *Solid State Phenomena*. 2018. Vol. 284. P. 929-935.



7. **Nizina T.A., Balykov A.S., Korovkin D.I., Volodin V.V.** Physical and mechanical properties of modified fine-grained fibre-reinforced concretes containing carbon nanostructures // *International Journal of Nanotechnology*. 2019. Vol. 16, № 6-10. P. 496-509.
8. **Nizina T.A., Balykov A.S., Volodin V.V., Korovkin D.I.** Fiber fine-grained concretes with polyfunctional modifying additives // *Magazine of Civil Engineering*. 2017. № 4(72). P. 73-83.
9. **Schulze S.E., Pierkes R., Rickert J.** Optimization of cements with calcined clays as supplementary cementitious materials // *Proceedings of a XIV International Congress on the Chemistry of cement. Beijing, China*, 2015. 693 p.
10. **Castello L.R., Hernandes H.J.F., Scrivener K.L., Antonic M.** Evolution of calcined clays soils as supplementary cementitious materials // *Proceedings of a XII International Congress of the chemistry of cement. Instituto de Ciencias de la Construcción «Eduardo torroja»*. Madrid. 2011. P. 117.
11. **Fernandez R., Martizena F., Scrivener K.L.** The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite // *Cement and Concrete Research*. 2011. № 41. P. 113-122.
12. **Rakhimov R.Z., Kamalova Z.A., Yermilova E.Y.** Blended Portland Cement Based on Thermally Activated Clays and Carbonate Additives // *Inorganic Materials: Applied Research*. 2018. Vol. 9, № 4. P. 578-583.
13. **Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., Гайфуллин А.Р.** Влияние добавок в портландцемент прокаленной и молотой глины с содержанием 40% каолинита на прочность цементного камня // *Academia. Архитектура и строительство*. 2015. № 2. С. 131-133.
14. **Гайфуллин А.Р., Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р.** Влияние добавок глинистых в портландцемент на прочность при сжатии цементного камня // *Инженерно-строительный журнал*. 2015. № 7(59). С. 66-73.
15. **Balykov A.S., Nizina T.A., Volodin V.V., Kyashkin V.M.** Effects of calcination temperature and time on the physical-chemical efficiency of thermally activated clays in cement systems // *Materials Science Forum*. 2021. Vol. 1017. P. 61-70.
16. **Nizina T.A., Balykov A.S., Volodin V.V., Kyashkin V.M.** Structure and properties of cement systems with additives of calcined clay and carbonate rocks // *Magazine of Civil Engineering*. 2022. 8(116). P. 11602.
17. **Низина Т.А., Володин В.В., Бальков А.С., Коровкин Д.И.** Оценка кинетики твердения цементного камня, модифицированного добавками термоактивированной глины и карбонатных пород // *Региональная архитектура и строительство*. 2021. № 1(46). С. 86-94.
18. **Володин В.В., Низина Т.А.** Самоуплотняющиеся мелкозернистые бетоны с минеральными добавками на основе глинистых и карбонатных пород // *Эксперт: теория и практика*. 2023. № 1(20). С. 63-68.
19. **Травуш В.И., Карпенко Н.И., Ерофеев В.Т., Ерофеева И.В., Тараканов О.В., Кондращенко В.И., Кесарийский А.Г.** Исследование трещиностойкости бетонов нового поколения // *Строительные материалы*. 2019. № 10. С. 3-11.
20. **Коротких Д.Н.** Трещиностойкость современных цементных бетонов (проблемы материаловедения и технологии): монография. Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2014. 141 с.
21. **Макридин Н.И., Максимова И.Н.** Структура и механические свойства цементных дисперсных систем: монография. Пенза: ПГУАС, 2013. 340 с.
22. **Максимова И.Н., Макридин Н.И., Ерофеев В.Т., Скачков Ю.П.** Прочность и параметры разрушения цементных композитов. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. 360 с.
23. **Макридин Н.И., Королев Е.В., Максимова И.Н.** Структурообразование и конструкционная прочность цементных композитов. М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2017. 153 с. URL: <https://prior.studentlibrary.ru/book/ISBN9785726416847.html> (дата обращения: 05.05.2023)
24. **Коротких Д.Н.** Закономерности разрушения структуры высокопрочных цементных бетонов на основе анализа полных равновесных диаграмм их деформирования. Ч. 1 // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2012. 26(45). С. 56-67.
25. **Леонovich С.Н., Литвиновский Д.А., Чернякевич О.Ю.** Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях. Минск: БНТУ, 2016. 393 с.
26. **Griffith A.A.** *The phenomena of rupture and flow in solids* // *Phil. Trans. Roy. Soc. of London*. A221. 1921. P. 163-197.



27. **Irwin G.R.** *Fracture: Handbuch der Physik* // Berlin: Springer verlag. 1958. 551 p.

28. **Orawan E.** *Energy criteria of fracture* // Wel. Res. Suppl. 1955. P. 157-172.

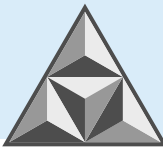
Поступила в редакцию 27.04.2023

Одобрена после рецензирования 16.06.2023

Принята к опубликованию 19.06.2023

REFERENCES

1. **Bazhenov, Y.M., Chernyshov, E.M. & Korotkikh, D.N.** (2014) Structural design of modern concrete: defining principles and technological platforms, *Stroitel'nye materialy*, (3), pp. 6-14 (in Russian).
2. **Kaprielov, S.S., Batrakov, V.G. & Sheinfeld, A.V.** (1999) Modified concrete of a new generation: reality and perspective // *Beton i zhelezobeton*, (6), pp. 6-10 (in Russian).
3. **Davidyuk, A.N.** (2017) Concrete in construction - new challenges and prospects, *Vestnik NIC. Stroitel'stvo*, (12), pp. 5-13 (in Russian).
4. **Kalashnikov, V.I., Tarakanov, O.V., Kusnetsov, Y.S, Volodin, V.M. & Belyakova, E.A.** (2012) Next generation concrete on the basis of fine-grained dry powder mixes, *Magazine of Civil Engineering*, 8(34), pp. 47-53.
5. **Tarakanov, O.V., Belyakova, E.A. & Yurova, V.S.** (2019) On the issue of expanding the base of mineral and complex additives for cement concrete, *E3S Web of Conferences: Innovative Technologies in Environmental Science and Education, ITESE 2019*, (135), pp. 01018.
6. **Tarakanov, O.V., Belyakova, E.A. & Yurova, V.S.** (2018) Complex organomineral additives with hardening accelerator, *Solid State Phenomena*, (284), pp. 929-935.
7. **Nizina, T.A., Balykov, A.S., Korovkin, D.I. & Volodin, V.V.** (2019) Physical and mechanical properties of modified fine-grained fibre-reinforced concretes containing carbon nanostructures, *International Journal of Nanotechnology*, 16(6-10), pp. 496-509.
8. **Nizina, T.A., Balykov, A.S., Volodin, V.V. & Korovkin D.I.** (2017) Fiber fine-grained concretes with polyfunctional modifying additives, *Magazine of Civil Engineering*, 4(72), pp. 73-83.
9. **Schulze, S.E., Pierkes, R. & Rickert, J.** (2015) Optimization of cements with calcined clays as supplementary cementitious materials, *Proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement*. Beijing, China.
10. **Castello, L.R., Hernandez, H.J.F., Scrivener, K.L. & Antonic, M.** (2011) Evolution of calcined clays soils as supplementary cementitious materials, *Proceedings of a XII International Congress of the chemistry of cement. Instituto de Ciencias de la Construction «Eduardo torroja»*. Madrid, pp. 117.
11. **Fernandez, R., Martizena, F. & Scrivener, K.L.** (2011) The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite, *Cement and Concrete Research*, (41), pp. 113-122 (in Russian).
12. **Rakhimov, R.Z., Kamalova, Z.A. & Yermilova, E.Y.** (2018) Blended Portland Cement Based on Thermally Activated Clays and Carbonate Additives, *Inorganic Materials: Applied Research*, 9(4), pp. 578-583.
13. **Rakhimov, R.Z., Rakhimova, N.R. & Gaifullin, A.R.** (2015) Influence of additives in Portland cement of calcined and ground clay containing 40% kaolinite on the strength of cement stone, *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*, (2), pp. 131-133 (in Russian).
14. **Gaifulin, A.R., Rakhimov, R.Z. & Rakhimova, N.R.** (2015) Influence of clay additives in Portland cement on the compressive strength of cement stone, *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*, 7(59), pp. 66-73 (in Russian).
15. **Balykov, A.S., Nizina, T.A., Volodin, V.V. & Kyashkin, V.M.** (2021) Effects of calcination temperature and time on the physical-chemical efficiency of thermally activated clays in cement systems, *Materials Science Forum*, (1017), pp. 61-70.
16. **Nizina, T.A., Balykov, A.S., Volodin, V.V. & Kyashkin, V.M.** (2022) Structure and properties of cement systems with additives of calcined clay and carbonate rocks, *Magazine of Civil Engineering*, 8(116), pp. 11602.
17. **Nizina, T.A., Volodin, V.V., Balykov, A.S. & Korovkin, D.I.** (2021) Evaluation of the kinetics of hardening of cement stone modified with additives of thermally activated clay and carbonate rocks, *Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo*, 1(46), pp. 86-94 (in Russian).

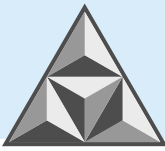


18. **Volodin, V.V. & Nizina, T.A.** (2023) Self-compacting fine-grained concretes with mineral additives based on clay and carbonate rocks, *Ekspert: teoriya i praktika*, 1(20), pp. 63-68 (in Russian).
19. **Travush, V.I., Karpenko, N.I., Erofeev, V.T., Erofeeva, I.V., Tarakanov, O.V., Kondrashchenko, V.I. & Kesariyskiy, A.G.** (2019) Investigation of the crack resistance of new generation concrete, *Stroitel'nye materialy*, (10), pp. 3-11 (in Russian).
20. **Korotkikh, D.N.** (2014) *Crack resistance of modern cement concretes (problems of materials science and technology)*. Voronezh: Voronezh GASU (in Russian).
21. **Makridin, N.I. & Maksimova, I.N.** (2013) *Structure and mechanical properties of cement dispersed systems*. Penza: PGUAS (in Russian).
22. **Maksimova, I.N., Makridin, N.I., Erofeev, V.T. & Skachkov, Yu.P.** (2015) *Strength and fracture parameters of cement composites*. Saransk: Izd-vo. Mordov. un-ta (in Russian).
23. **Makridin, N.I., Korolev, E.V. & Maksimova, I.N.** (2017) *Structure formation and structural strength of cement composites*. M.: Izd-vo MISI-MGSU. URL: <https://prior.studentlibrary.ru/book/ISBN9785726416847.html> (in Russian).
24. **Korotkikh, D.N.** (2012) Patterns of destruction of the structure of high-strength cement concretes based on the analysis of complete equilibrium diagrams of their deformation, *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura*, 26(45), pp. 56-67 (in Russian).
25. **Leonovich, S.N., Litvinovsky, D.A. & Chernyakevich, O.Y.** (2016) *Strength, crack resistance and durability of structural concrete under temperature and corrosion effects*. Minsk: BNTU (in Russian).
26. **Griffith, A.A.** (1921) The phenomena of rupture and flow in solids, *Phil. Trans. Roy. Soc. of London*, A221, pp. 163-197.
27. **Irwin, G.R.** (1958) *Fracture: Handbuch der Physik*, Berlin: Springer verlag, pp. 551.
28. **Orawan, E.** (1955) *Energy criteria of fracture*, Wel. Res. Suppl, pp. 157-172.

Received 27.04.2023

Approved after reviewing 16.06.2023

Accepted 19.06.2023



SCIENTIFIC ARTICLE

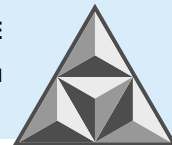
Assessment of biological aggressive environment effects on the strength properties and structural-phase composition of concrete

S.A. Loginova

Svetlana A. Loginova

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

sl79066171227@yandex.ru

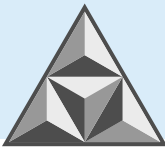


The article points out the lack of radically effective worldwide methods of anti-biocorrosion protection. The author considers the role of microorganisms on concrete corrosion, describes the mechanisms of biological effect and biofilm formation on concrete surface. The article focuses on the determination of causes and peculiarities of cement concrete biocorrosion in conditions of high humidity. According to the author, biocorrosive impact reduces strength characteristics of concrete and causes its fast destruction. The author has revealed changes in structural-phase composition of concrete during surface biofouling. Although there are available methods to increase the bio-resistance of cement-based concretes, it is problematic to guarantee their preservation because bio-destructors have the ability to adapt to the work environment. The paper attempts to assess and predict the resistance of a building material in a biologically aggressive environment properly.

Keywords: concrete, biofilm, biodegradation, corrosion, durability

For citation:

Loginova, S.A. (2023) Assessment of biological aggressive environment effect on the strength properties and structural-phase composition of concrete, *Smart Composite in Construction*, 4(2), pp. 53-59 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

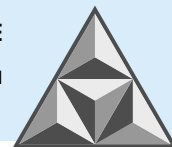
УДК 620.1.691

Оценка влияния биологически агрессивной среды на прочностные характеристики и структурно-фазовый состав бетона

С.А. Логинова

Светлана Андреевна Логинова

Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация,
sl79066171227@yandex.ru

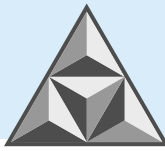


Отмечается недостаток кардинально действующих в мире способов антибиокоррозионной защиты. Рассмотрена роль микроорганизмов при коррозии бетона, описаны механизмы биологического воздействия и образования биопленок на поверхности бетона. Акцентируется внимание на установлении причин и особенностей биокоррозии цементных бетонов, эксплуатируемых в условиях повышенной влажности. Установлено, что воздействие биодеструкторов снижает прочностные характеристики бетона, приводит к быстрому его разрушению. Выявлены изменения структурно-фазового состава бетона при биообрастании поверхности. Несмотря на известные способы повышения биосопротивления цементных бетонов, проблематично гарантировать их сохранность, поскольку биодеструкторы обладают способностью приспособиться к эксплуатационной среде. Предпринята попытка адекватной оценки и прогнозирования сопротивления строительного материала в биологически агрессивной среде.

Ключевые слова: бетон, биопленка, биодеградация, коррозия, прочность

Для цитирования:

Логинова С.А. Оценка влияния биологически агрессивной среды на прочностные характеристики и структурно-фазовый состав бетона // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 2. С. 55-63. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023



INTRODUCTION

The area of biological corrosion of concrete still remains understudied. The issue of protecting structures against biofouling affects all sectors of the economy. Biodegradation negatively affects on the underground and aboveground structures, oil and gas industry equipment, pipeline systems, etc. The development of a systematic approach to predicting the corrosion of concrete in biologically aggressive environments is of increasing relevance due to the growth of the species diversity of microorganisms damaging the human health.

Concrete is a composite material. It has the capillary-porous structure providing the penetration of biological agents and chemical compounds from the external environment into it. Researchers differentiate several types of biocorrosion in concrete – bacterial, fungal, and algal [1]. The most dangerous for concrete are bacterial and fungal ones. Biocorrosion of concrete is most often localised and characterised by the appearance of a biofilm on its surface. *Penicillium* and *Aspergillus* fungi pose the greatest danger to humans (Fig. 1) [2].

Meanwhile, researchers have studied biofilms in many systems. Probably, since Van Leeuwenhoek examined plaque on his own teeth in the 17th century [2]. However, a theory describing the process of biofilm formation appeared only in 1978 [2, 3]. According to this theory, the majority of bacteria grow in biofilms enclosed in a matrix attaching to surfaces in aquatic ecosystems with sufficient nutrients. Decades of studies confirmed the similar formation of bacterial biofilms in any ecosystem [4].

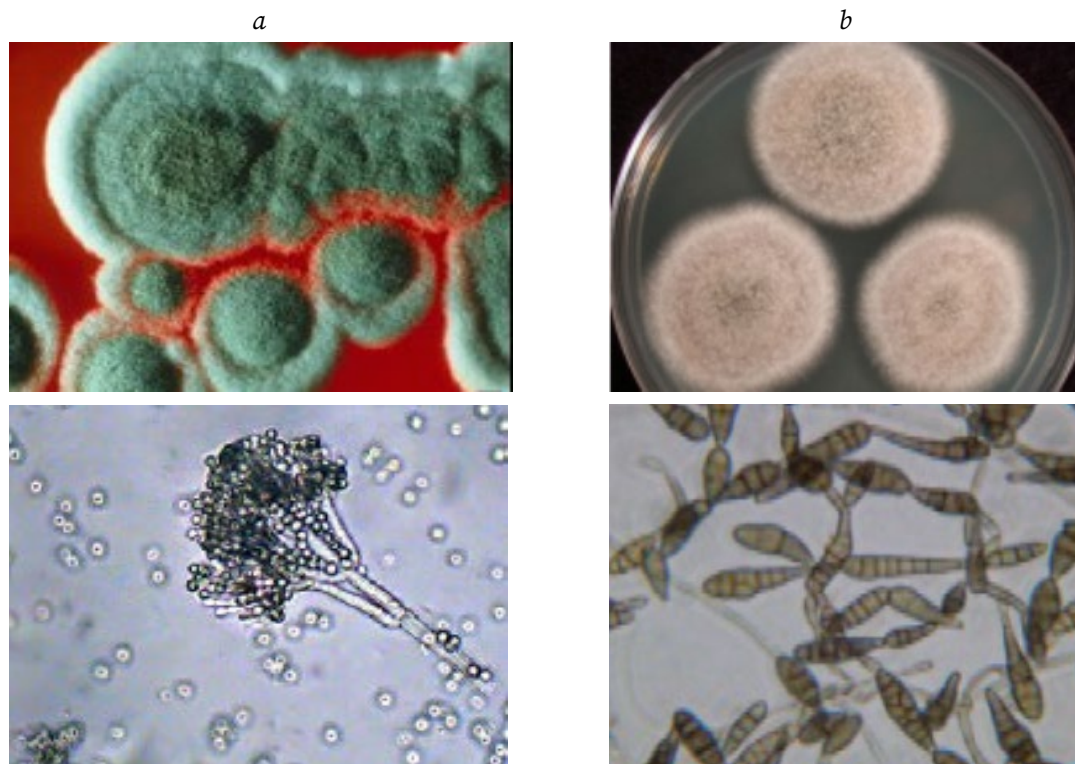
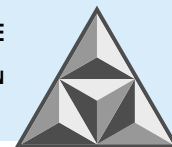


Fig. 1. Fungi of the genus *Penicillium* (a) and *Aspergillus* (b)

Some micro-organisms exist in a free state. But most often micro-organisms form biocenoses on a substrate. The process of biofilm formation involves several stages:

– Stage I (reversible process): Adhesion of microorganisms to the substrate, biofilm formation due to the interaction of physical and chemical forces between the cell wall elements of the microorganisms and the substrate;



- Stage II (irreversible process): firm attachment of the microorganisms to the substrate, characterised by loss of intercellular interaction and bacterial cell motility;
- Stage III: microbial synthesis of extracellular polymeric matter, which makes up about 85% of the mature biofilm [5];
- Stage IV: formation and growth of a mature biofilm, including attaching new micro-organisms to an existing biofilm.

As a rule, formation of tightly bound microbial colonies takes several hours [6]. In addition, biofilms can quickly regain their integrity after any mechanical impact. The roughness of the surface has no effect on the settlement of microorganisms.

Indeed, the rate of biofilm formation significantly increases in high shear conditions. Note, it is characteristic for aqueous media. Microorganisms can adhere to surfaces and initiate biofilm formation in the presence of shear forces that exceed Reynolds number. Turbulent flow enhances microbial adhesion and biofilm formation. When biofilms occur in media with low shear force, they tend to have a low tensile strength and therefore collapse easily [5-7].

When biofilms occur in media with low shear force, they tend to have a low tensile strength and therefore collapse easily [5-7].

Many years the RAACS academician, Professor V.T. Erofeev and his colleagues have been working on biocorrosion processes of various construction materials as well as development of anticorrosion protection methods [8-10]. However, the mechanism of microbial action on concrete remains uncertain [11].

The assessment of the micro-organisms impact on the concrete general degradation is quite formidable for the development of corrosion protection measures.

The purpose of the study is to assess the strength and structural-phase changes observed in concrete as a result of bio-damage.

EXPERIMENTAL PART

We conducted a biodegradation resistance test on cubic samples made of Portland cement CEM I 42.5.

The bioaffection of the test samples was of localised nature, with 3/4 of their surface covered by a biofilm. We tested the samples under conditions of high humidity.

We applied compression and differential thermal analysis methods to study the structural changes in the solid phase of concrete.

Furthermore, we determined the strength characteristics of the samples by destructive testing on the press, in compliance with the requirements of GOST 10180-2012.

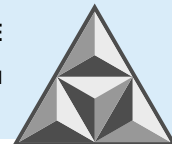
Procedure for the compression test: the samples are placed alternately on the cleaned base plate of the press, centered precisely in accordance with the marks on the base plate. The capacity of the testing machine is selected to ensure the expected breaking loads are in the range of 20-80% of the force-measuring scale. The samples are loaded continuously at a constant rate of (60 ± 20) kPa·s⁻¹. The value of destructive load is taken as equal to the maximum force achieved during the test. The average cross-sectional area of the sample is determined as the arithmetic average of the areas of its opposite faces in contact with the press plates.

The resistance of concrete to compression is calculated as follows:

$$R_c = \alpha \frac{F}{A},$$

where F is the maximum load, N; A is the working cross-sectional area of the sample, mm²; α is the scaling factor to convert the strength of the cement stone to that of samples of basic size and shape.

We conducted differential thermal analysis on a Q-1500D derivatograph (Fig. 2). The order of the test is as follows: a sample of crushed material is placed in a box, poured into 100% ethanol and incubated for 10 hours. The alcohol is separated from the material by filtration. The dehydrated



material is ground in a mortar to a powder passing through a No. 008 sieve. A 0.5 g sample is then placed in the crucible of a derivatograph, after which a temperature and mass loss curve of the material is recorded. We analysed at a heating rate of $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ in the temperature range $20\text{-}1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

The differential thermal analysis of concrete samples indicates the course of characteristic endothermic reactions caused by dehydration of hydrate new formations and destruction of their crystalline structure, as well as exothermic reactions caused by the formation of new compounds at high temperatures.

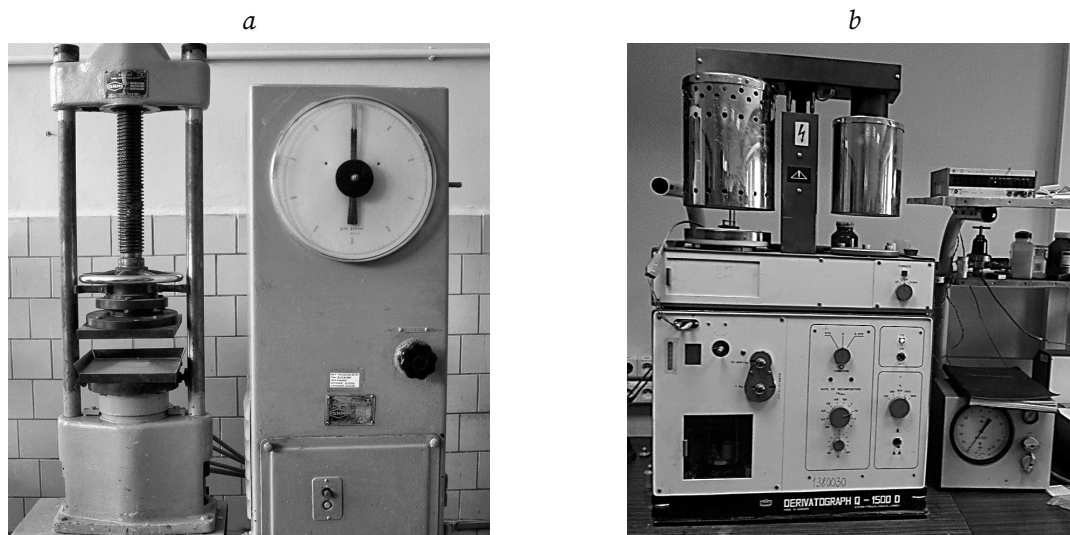


Fig. 2. Test equipment: *a* – press, *b* – Q-1500D derivatograph

With the help of the mentioned method there is a principal possibility to determine in the system calcium hydroxide, hydrosilicates and hydroaluminates, calcite, various complex compounds, types and modifications of gypsum, and other new formations in the cement stone.

RESULTS AND DISCUSSION

The average compressive strength of samples unexposed to microorganisms for 90 days was 36.2 MPa. On the other hand, the average compressive strength of samples exposed for 90 days in a bioaggressive environment was estimated to be 19.6 MPa. The results obtained confirm the negative effect of microorganisms on the physico-mechanical properties of concrete.

The results of the differential thermal analysis of the bioimpacted samples are shown in Fig. 3 and Table 1.

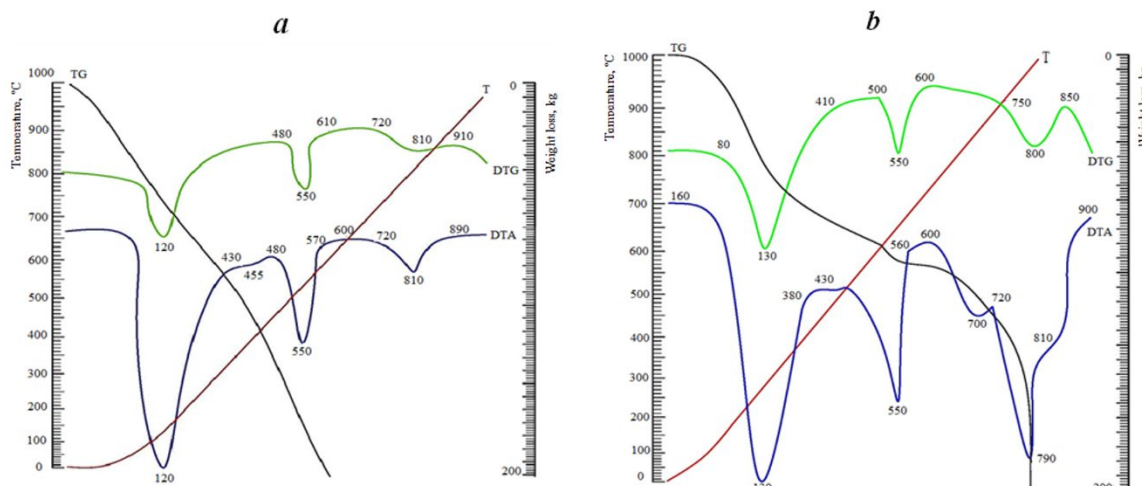
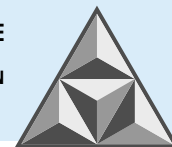


Fig. 3. Results of differential thermal analysis of control sample (*a*) and biodegradable samples (*b*)

**Table 1.** Results of biodegradation test on a derivatograph

| t , °C | Effect | Weight change before external influences, % | Weight change after external influences, % |
|----------------------|--|---|--|
| Bio-damaged samples | | | |
| 100-130 | Removing physically bound water | 6.2 | 11.7 |
| 430-480 | Dehydration of calcium hydroxide $\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$ | 1.8 | 0.8 |
| 550-650 | Polymorphic transformations of quartz $\alpha\text{-SiO}_2 \rightarrow \beta\text{-SiO}_2$ | 7.9 | 1.1 |
| 650-815 (2 peaks) | Decarbonisation $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ | 4.4 | 6.8 |
| Total weight change | | 20.3 | 20.4 |

We identified four main endothermic effects from the differential thermal analysis of the concrete samples: (-) 130 °C, (-) 450 °C, (-) 550 °C, (-) 700 °C, (-) 790 °C, which are responsible for the dehydration of the respective hydrate compounds.

We determined the mineralogical composition of the samples by comparing the thermograms with the reference samples. The amount of bound water in the bio-damaged samples is 40% higher than in the control samples. Additionally, we fixed the change of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ content by endo-effect at 430-480 °C in the samples. We fixed a decrease in the area by the effect characterizing dehydration of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ to a greater extent in biologically damaged samples. At the same time they were characterized by a decrease in the temperature of final hydrate dehydration (down to 790-800 °C), indicating the presence of a small amount of calcium carbonates in the cement stone. The bio-damaged samples showed a peak at 700 °C, further indicating decarbonisation of CaCO_3 . The decarbonisation of CaCO_3 begins at 600 °C, but proceeds slowly. Complete decomposition of the sample occurs at 790 °C.

CONCLUSIONS

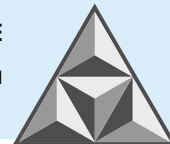
A reduction in the mechanical strength of concrete is directly related to the enzymatic activity of microorganisms. Changes in the physical and mechanical properties of materials are one of the criteria for the bioproofness assessment.

On the basis of the differential-thermal analysis of concrete samples it has been revealed a phase composition of a cement stone at biocorrosion changes aside reduction of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and increase of other calcium compounds in a solid phase of system.

Results of research provide a basis for the further development of anticorrosive protection methods of concrete structures maintained in biologically aggressive environments.

REFERENCES

1. **Makarov, Yu.I. & Abu-Hasan, M.S.** (2023). Biological Corrosion of Concretes, *BST: Byulleten' stroitel'noj tekhniki*, 2(1062), pp. 19-21 (in Russian).
2. **Bryukhanov, A.L., Vlasov, D.Y., Mayorova, M.A. & Tsarovtseva, I.M.** (2020) The role of microorganisms in destruction of concrete and reinforced concrete structures, *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*, 7, pp. 7-13 (in Russian).
3. **Denisova, U.V.** (2015) On the use of fungicide additives to control biocorrosion of composite compounds, *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*, 1(1), pp. 81-87 (in Russian).
4. **Baimatov, R.A., Nuruzova, Z.A. & Ergasheva, Z.N.** (2019) Biofilm as a form of microorganism existence, *Re-health journal*, 3, pp. 58-68.
5. **Loginova, S.A.** (2022) Study of Biostability of Concretes, *Smart Composite in Construction*, 3(2), pp. 45-53. DOI: 10.52957/27821919_2022_2_45. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v3n2_2022 (accessed 10.04.2023).



6. **Tsvetkova, A.V., Fahretdinova, V.R., Markusheva, T.V. & Mavzyutov, A.R.** (2017) Biofilm: a method for comparative assessment of bacterial growth intensity, *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo centra RAN*, 3-1, pp. 209-213 (in Russian).
7. **Loginova, S.A.** (2022) Peculiarities of predicting the degradation of concrete structures in biologically aggressive environments, *Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzhenij*, 1(56), pp. 40-44 (in Russian).
8. **Erofeev, V.T., Fedortsov, A.P., Bogatov, A.D. & Fedortsov, V.A.** (2014) Biocorrosion of cement concrete, features of its development, assessment and prediction, *Fundamental'nye issledovaniya*, 12, pp. 708-716 (in Russian).
9. **Erofeev, V.T., Rodin, A.I., Dergunova, A.V., Surayeva, E.N., Smirnov, V.F., Bogatov, A.D., Kaznacheev, S.V. & Karpushin, S.N.** (2016) Biological and climatic durability of cement composites, *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*, 3, pp. 119-126 (in Russian).
10. **Erofeev, V.T., Smirnov, V.F., Zavalishin, E.V., Morozov, E.A. & Smirnova, O.N.** (2008) Increase of resistance of buildings and constructions to biologically aggressive media, *Vestnik Mordovskogo universiteta*, 18(4), pp. 150-158 (in Russian).
11. **Chai, W., Li, W. & Ba, H.** (2011) Experimental study on predicting service life of concrete in the marine environment, *Open Civil Eng. J.*, 5, pp. 93-99. DOI:10.2174/1874149501105010093.

Received 28.04.2023

Approved 19.06.2023

Accepted 22.06.2023

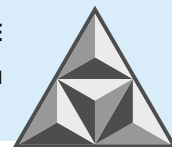
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Макаров Ю.И., Абу-Хасан М.С.** Биологическая коррозия бетонов // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2023. № 2(1062). С. 19-21.
2. **Брюханов А.Л., Власов Д.Ю., Майорова М.А., Царовцева И.М.** Роль микроорганизмов в разрушении бетонных и железобетонных конструкций // *Гидротехническое строительство*. 2020. № 7. С. 7-13.
3. **Денисова Ю.В.** К вопросу использования фунгицидных добавок в борьбе с биокоррозией композиционных соединений // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2015. Т. 1. № 1. С. 81-87.
4. **Байматов Р.А., Нурузова З.А., Эргашева З.Н.** Биопленка - как форма существования микроорганизмов // *Re-health journal*. 2019. № 3. С. 58-68.
5. **Loginova S.A.** Study of Biostability of Concretes // *Smart Composite in Construction*. 2022. Vol. 3, no. 2. P. 45-53. DOI: 10.52957/27821919_2022_2_45 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v3n2_2022
6. **Цветкова А.В., Фахрегдинова В.Р., Маркушева Т.В., Мавзютов А.Р.** Биопленка: методика сравнительной оценки интенсивности роста бактерий // *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2017. № 3-1. С. 209-213.
7. **Логинава С.А.** Особенности прогнозирования деградации бетонных конструкций в биологически агрессивных средах // *Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений*. 2022. № 1(56). С. 40-44.
8. **Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Богатов А.Д., Федорцов В.А.** Биокоррозия цементных бетонов, особенности ее развития, оценки и прогнозирования // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 12. С. 708-716.
9. **Ерофеев В.Т., Родин А.И., Дергунова А.В., Сураева Е.Н., Смирнов В.Ф., Богатов А.Д., Казначеев С.В., Карпушин С.Н.** Биологическая и климатическая стойкость цементных композитов // *Academia. Архитектура и строительство*. 2016. № 3. С. 119-126.
10. **Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф., Завалишин Е.В., Морозов Е.А., Смирнова О.Н.** Повышение стойкости конструкций зданий и сооружений к биологически агрессивным средам // *Вестник Мордовского университета*. 2008. Т. 18. № 4. С. 150-158.
11. **Chai W., Li W., Ba H.** Experimental study on predicting service life of concrete in the marine environment // *Open Civil Eng. J.* 2011. Vol. 5. P. 93-99. DOI:10.2174/1874149501105010093.

Поступила в редакцию 28.04.2023

Одобрена после рецензирования 19.06.2023

Принята к опубликованию 22.06.2023



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 699.82:624.21

Особенности применения напыляемой гидроизоляции мостовых сооружений при пониженных температурах

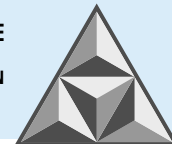
Ш.Н. Валиев¹, А.Н. Каменских², А.В. Кочетков²

Шерали Назаралиевич Валиев

¹Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва,
Российская Федерация
vshn2014@gmail.com

Александр Николаевич Каменских, Андрей Викторович Кочетков

²Российский дорожный научно-исследовательский институт (РОСДОРНИИ), Москва, Российская Федерация,
alexandrgrtm@yandex.ru; soni.81@mail.ru

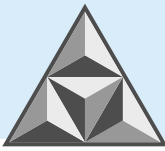


Впервые установлен механизм образования каверн (нарушения целостности) в слое гидроизоляции на склоне выступа макрошероховатости, связанный с температурой и расходом напыляемой смеси, временем остывания, а также шириной и высотой выступа макрошероховатости. Выявлено также, что точечное кавернообразование происходит на склонах участков с максимальными неровностями (наибольшей глубиной впадины относительно соседнего выступа). С учетом результатов производственного эксперимента рекомендуется увеличить температуру напыляемой смеси до 70-80 °С для обеспечения скорости полимеризации смеси до 1-2 минуты. При этом пузырек паровоздушной смеси не успевает достичь поверхности напыляемого слоя и лопнуть с образованием каверны (дефекта целостности слоя гидроизоляции мостового сооружения). Показаны перспективы массового применения напыляемой полимерной трехслойной гидроизоляции мостовых сооружений и накопление новых теоретических знаний в строительстве и ремонте мостовых сооружений.

Ключевые слова: гидроизоляция, мостовое сооружение, напыление, нагрев, каверна, нарушение целостности, пониженные температуры, пузырьки

Для цитирования:

Валиев Ш.Н., Каменских А.Н., Кочетков А.В. Особенности применения напыляемой гидроизоляции мостовых сооружений при пониженных температурах // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 2. С. 64-76. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023



SCIENTIFIC ARTICLE

Features of sprayed waterproofing application of bridges at low temperatures

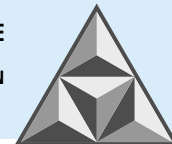
S.N. Valiev¹, A.N. Kamenskikh², A.V. Kochetkov²

Sherali N. Valiev

¹Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia
vshn2014@gmail.com

Alexander N. Kamenskikh, Andrey V. Kochetkov

²Russian Road Scientific-Research Institute (ROSDORNII), Moscow, Russia
alexandrstm@yandex.ru; soni.81@mail.ru

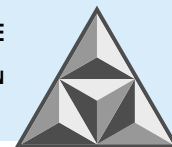


The paper concerns the mechanism of bugholes formation (breach) in the waterproofing layer on the slope of the macro-roughness protrusion associated with the temperature and flow rate of the sprayed mixture, cooling time, width, and height of the macro-roughness protrusion. The point bugholes formation occurs on the slopes of areas with maximum irregularities (the greatest depth of the depression relative to the adjacent ledge). Taking into account the results of the production experiment, the research recommends ones to increase the temperature of the sprayed mixture to 70-80 °C to ensure the polymerization rate of the mixture up to 1-2 minutes. Meanwhile, the bubble of the vapor-air mixture does not have time to reach the surface of the sprayed layer and burst with the formation of a bugholes (a defect in the integrity of the waterproofing layer of the bridge structure). The paper shows the prospects of mass application of sprayed polymer three-layer waterproofing of bridge structures and the accumulation of new theoretical knowledge in the construction and repairing of bridges.

Keywords: waterproofing, bridges, spraying, heating, bughole, breach, low temperatures, bubbles

For citation:

Valiev, Sh.N., Kamenskikh, A.N. & Kochetkov, A.V. (2023) Features of application of sprayed waterproofing of bridge structures at low temperatures, *Smart Composite in Construction*, 4(2), pp. 64-76 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023



ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время накоплен большой опыт использования литого асфальтобетона (а/б) и гидроизоляции в мостовых сооружениях [1-5]. Для достижения сцепления конструкции мостового полотна с пролетным строением, а также в качестве гидроизоляционной обработки применяется напыляемая нагреваемая двухкомпонентная смесь на основе изоционата и отвердителя. Материал должен обладать антикоррозионными и гидроизоляционными свойствами, повышенной эластичностью, иметь хорошую адгезию со стальной ортотропной или железобетонной плитами и дорожной одеждой [6, 7].

Одной из причин преждевременного разрушения мостовых сооружений является деструкция бетона и коррозия арматуры плиты и балок пролетных строений, а также металлических конструкций из-за неудовлетворительного состояния гидроизоляции [8]. Эффективным решением проблемы является применение напыляемой трехслойной полимерной гидроизоляции, в том числе из новых отечественных материалов.

Применение отечественных материалов при температурах ниже 10 °С ввиду длительного завершения (до 2 сут.) химической реакции между компонентами (изоционат и отвердитель), приводит к появлению дефектов в виде каверн из-за пузырьков воздуха и пара, возникающих во время химической реакции после нанесения слоя гидроизоляции.

Цель настоящей работы – получение данных по обеспечению целостности гидроизоляции мостовых сооружений при пониженных температурах.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ И ИЗВЕСТНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ

Литературные источники, касающиеся общих вопросов применительно к настоящему исследованию [1-9], и частные публикации по данной тематике ограничены перечнем [10-13].

При осуществлении патентного поиска близких аналогов определены индексы международной патентной классификации, согласно области техники исследуемой темы, которые включили:

Класс E01C – Строительство дорог, дорожных покрытий, спортивных площадок и т.п.; машины и вспомогательное оборудование для строительства и ремонта;

Класс E01D – Мосты;

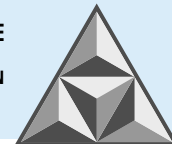
Класс E04B – Строительные конструкции в целом; стены, например, перегородки; крыши; перекрытия; потолки; изоляция или прочие средства и способы защиты строительных конструкций и сооружений;

Класс C04 – Цементы; бетон; искусственные камни; керамика; огнеупоры;

Класс C08L – Композиции высокомолекулярных соединений.

При поиске информации использованы ключевые слова: гидроизоляция (waterproofing), мост (bridge), полиуретан (polyurethane), литой асфальтобетон (cast asphalt concrete), полимерные композиции (polymer compositions), полимерное вяжущее (polymer binder).

По результатам проведенного патентного поиска отобраны следующие документы: патенты на изобретения RU №№ 2177523, 2298023, 2341479, 2341480, 2477736, 2504523, 2504565, 2516605, 2560033, 2662493; патенты на полезные модели RU №№ 21051, 69874, 81500, 84859, 117454; патенты CN №№ 209144654, 108439861, 108442250, 106739310, 101914894; патент KR № 20070001411; патент EP № 0457667; патент DE № 20205590.



Анализ указанных патентов показал, что решение технической задачи устройства гидроизоляции мостовых сооружений под горячие асфальтобетонные смеси осуществляется путем устройства слоев покрытия из литого асфальтобетона и разработки составов смесей для изготовления слоя гидроизоляции с обеспечением адгезии между ним и верхним слоем из литого асфальтобетона.

В современных двухкомпонентных установках для распыления полимочевины компоненты подаются под давлением от 150 до 200 атм., и их мгновенное смешивание происходит за счет соударения потоков. Оборудование для нанесения должно обладать возможностью точной дозировки, обеспечивать предварительный независимый нагрев компонентов для снижения их вязкости, а распылительный пистолет – иметь возможность регулировки факела.

Поставленная в настоящем исследовании задача обеспечения целостности гидроизоляции при пониженных температурах в известных технических решениях не выявлена.

Неблагоприятная ситуация складывается по причине того, что пузырьки газа, мигрируя, проникают через верхнюю поверхность слоя гидроизоляции и лопаются, образуя каверны с нарушением целостности слоя гидроизоляции. Процесс миграции пузырьков смеси газов и пара в средних и верхних слоях рабочего материала с образованием каверн представлен на рис. 1.

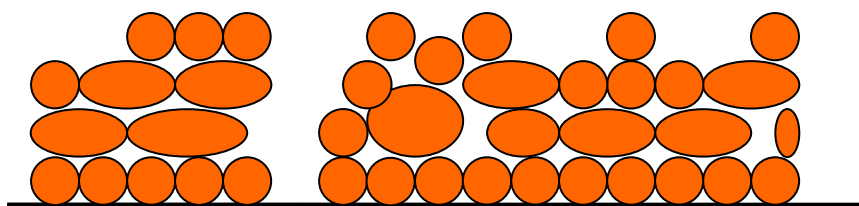


Рис. 1. Кавернообразование
Fig. 1. Bugholesformation

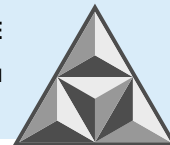
В середине находится рыхлый слой, в котором собираются пузырьки, мигрировавшие из нижнего слоя к соединившимся с пузырьками среднего слоя.



Рис. 2. Пузырькообразование в теле образца из полимера на основе изоцианата(полиуретана); видны пузырьки внутри слоя полимера

Fig. 2. Bubble formation in the body of a polymer sample based on isocyanate (polyurethane); bubbles are visible inside the polymer layer

Эти пузырьки не успевают мигрировать через твердый верхний слой (рис. 2).



РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ОБЪЕКТЕ

Производственные работы по нанесению гидроизоляции на съезде с Кольцевой автомобильной дороги Санкт-Петербурга (Российская Федерация) проведены 4 мая 2023 г.

Температура окружающего воздуха 9 °С.

Время нанесения – с 10.00 до 16.00.

Результаты выполненного обследования по образованию каверн (рис. 3), осуществляемых работ по нанесению слоя гидроизоляции (рис. 4) и испытаний гидроизоляции (рис. 5, 6) представлены ниже.

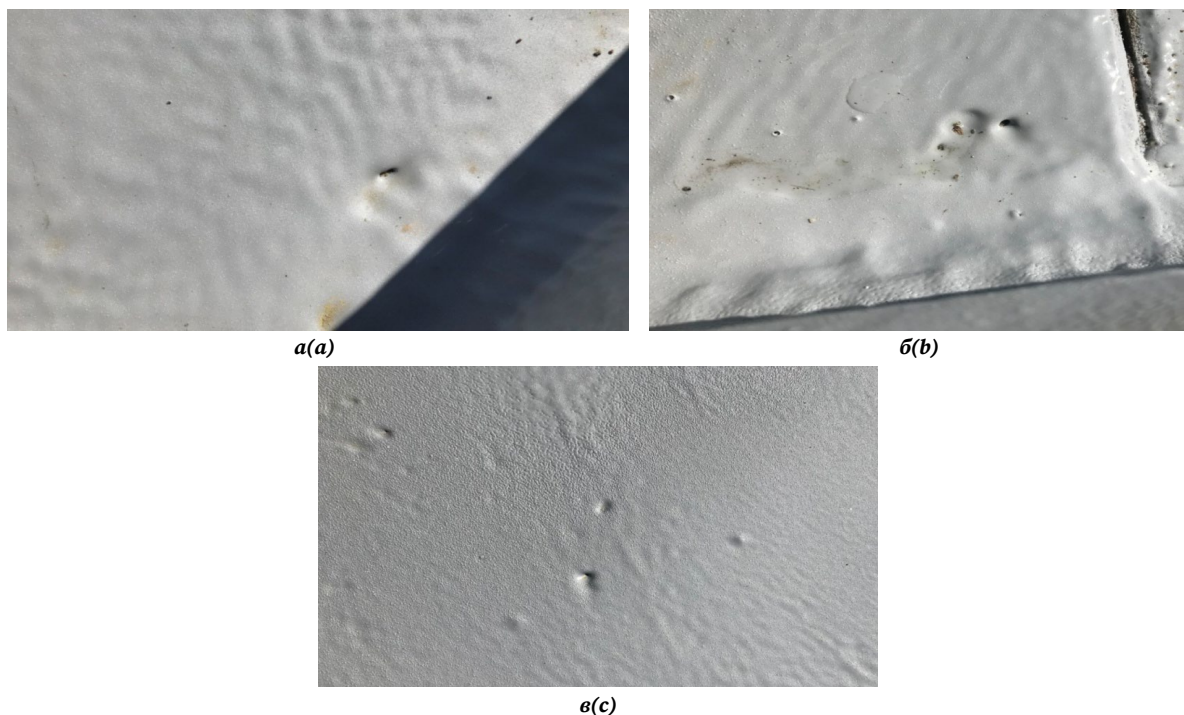


Рис. 3. Примеры (а-в) образования каверн на склоне текстуры макрошероховатости
Fig. 3. Formation (a-c) of bugholes on the slope of the macro-roughness texture



Рис. 4. Нанесение слоя гидроизоляции
Fig. 4. Applying a waterproofing layer

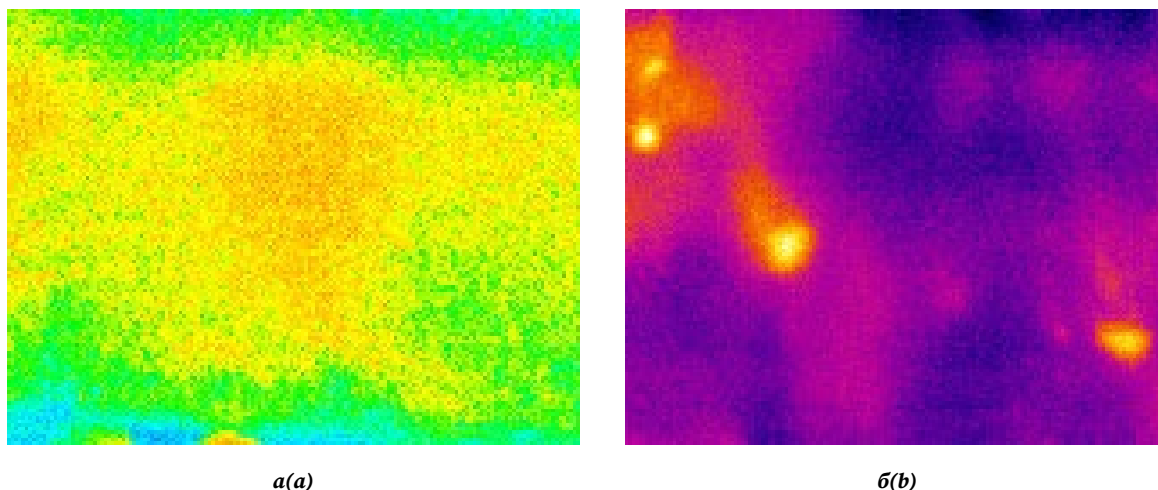
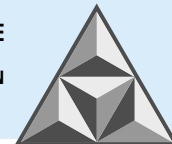


Рис. 5. Визуализация теплового поля напыленного слоя гидроизоляции:
a – первая минута, *б* – десятая минута
Fig. 5. Visualization of the thermal field of the sprayed waterproofing layer:
a – the first minute, *b* – the tenth minute

Так, на рис. 5 (изображение с тепловизора) хорошо видны неостывшие локальные точки, отвечающие состоянию (неостывшего полимера) напыленного полимера над дефектными участками сталежелезобетонной плиты.

Рекомендации по определению адгезии материалов для гидроизоляции мостовых конструкций

Разработанные рекомендации устанавливают методы определения адгезии материалов для гидроизоляции мостовых конструкций, в том числе на основе технологических проб.

Рекомендации даны к проведению испытаний материалов для гидроизоляции при изготовлении, осуществлении входного контроля качества в лабораторных условиях, инспекционного контроля качества материала на строительном объекте (непосредственно при устройстве гидроизоляции и антикоррозионной обработке мостовых конструкций).

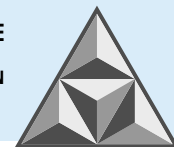
В рекомендациях фигурируют термины, представленные ниже.

Адгезия (от лат. *adhaesio* – прилипание) – сцепление (слипание) поверхностей разнородных тел. Под адгезией полимерно-битумных вяжущих для гидроизоляции сталежелезобетонных и ортотропных металлических мостовых конструкций следует понимать эффекты связей полимерных вяжущих и указанных конструкций, обусловленные механическими, клеявыми и взаимопроникающими эффектами. Она визуальна определяется величиной площади поверхности полимерных вяжущих, сохранивших частицы материала ортотропных металлических мостовых конструкций (битумную пленку) после приложения испытательных воздействий.

Технологическая проба – испытание образцов материалов, выполняемых несложными способами без тщательного измерения наблюдаемых свойств, с целью выявления способности таких образцов к определенным деформациям (сдвиг – для полимерных вяжущих, используемых в качестве гидроизоляции мостовых конструкций).

Характер разрушения испытываемого образца подразделяют на адгезионный и когезионный (по материалу для гидроизоляции), когезионный (по мостовой конструкции) и смешанный.

Адгезионный характер разрушения – разрушение испытываемого образца происходит на площади более 50% по линии контакта между материалом для гидроизоляции и мостовой конструкцией.



Когезионный характер разрушения – материал для гидроизоляции разрушается на площади более 50%.

Смешанный характер разрушения – при наличии различных характеров разрушения, ни один из которых не превышает 50% по площади.

Определение адгезии на сдвиг между материалом для гидроизоляции и мостовой конструкцией на сдвиг заключается в определении характера разрушения и усилия, необходимого для сдвига калибровочной пластины с материалом для гидроизоляции относительно плиты (вручную, моментным ключом).

Испытания проводят на сухой, тщательно очищенной плите непосредственно на месте нанесения слоя гидроизоляции. Места измерений назначают на расстоянии 0.5 м друг от друга. Температура и влажность покрытия и воздуха должны соответствовать техническим условиям изготовителя на материалы для гидроизоляции. Проба полимера заливается в два отверстия калибровочной пластины диаметром 20.0 мм таким образом, чтобы полимер выступал в стороны за края отверстий не менее чем на 2.0 мм.

После отверждения компонентов гидроизоляции проводят отделение пластин от плиты сдвигом с помощью тросовой системы и калибровочной пластины для испытания адгезии, которая включает в себя пластину, гайку и рым-болт. Характер разрушения определяют визуально и, если таковой является адгезионным, вычисляют показатель адгезии на сдвиг.

Показатель адгезии вычисляют как среднее арифметическое из результатов не менее трех испытаний, расхождение между максимальным и минимальным значениями не должно превышать 10%.

Решение о пригодности материала для гидроизоляции принимается по характеру разрушения и сравнением фактической величины адгезии сдвига с требуемой по действующим нормативным документам.

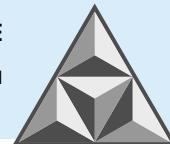
Проведение практического исследования адгезии гидроизоляции представлено на рис. 6.



Рис. 6. Испытание гидроизоляции на адгезию (когезионный характер отрыва)

Fig. 6. Waterproofing adhesion tests (cohesive nature of separation)

Проведено определение физико-механических характеристик полученного гидроизоляционного эластомерного материала «Гидрофлекс-1» на соответствие СТО 80576145-001-2017 «Гидроизоляция железобетонных и стальных ортотропных плит пролетных строений мостовых сооружений и других строительных конструкций из стали и железобетона. Технология устройства» и ОДМ 218.3.045-2015 «Рекомендации по устройству бесшовной и напыляемой мостовой гидроизоляции из композиционных материалов на



железобетонных и стальных ортотропных плитах пролетных строений мостовых сооружений, а также на других строительных конструкциях из стали и железобетона».

При этом «Гидрофлекс-1» является двухкомпонентным продуктом, состоящим из форполимера на основе изоцианата (компонент А) и отвердителя полиаминного типа (компонент Б). Для окраски композиции в компонент Б вводят пигменты.

Система гидроизоляции металлических и железобетонных конструкций состоит из трех слоев:

– грунт – композиция эпоксидная марки ЭГ-101; ТУ 2257-155-98644048-2009; толщина слоя составляет 450-500 мкм;

– основной слой – материал эластомерный гидроизоляционный на основе полимочевины; ТУ 5775-007-98644048-2013; толщина слоя составляет 1.2-1.8 мм;

– верхний слой композиции марки ПА-105; ТУ 2257-156-98644048-2009; толщина слоя составляет 500-550 мкм.

Расход материалов на базе гидроизоляции «Гидрофлекс-1», используемой при строительстве и эксплуатации мостовых сооружений, представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Расход материалов на основе гидроизоляции «Гидрофлекс-1»

Table 1. Materials consumption on the basis of waterproofing "Hydroflex-1"

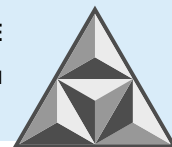
| Наименование | Теоретический расход, кг·м ⁻² | Практический расход, кг·м ⁻² | Разница (заполненный объем макрошероховатости) |
|-------------------------|--|---|--|
| Грунт-композиция ЭГ-101 | 0.48 | 0.54 (потери 10% при K=1.12) | 0.06 |
| Гидрофлекс-1 | 1.59 | 2.28 (потери 30% при K=1.43) | 0.69 |
| Композиция ПА-105 | 0.44 | 0.51 (потери 10% при K=1.12) | 0.07 |

Результаты испытаний «Гидрофлекс-1» отражены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты испытаний гидроизоляционного эластомерного материала

Table 2. Test results of waterproofing elastomeric material

| Название | Требования ГОСТ 59179-2021 | | Гидрофлекс-1 | |
|---|----------------------------|-------|--|-------|
| Химическая основа | | | Поликарбамид (полимочевина) | |
| Плотность, г·см ⁻³ | | | От 1.04 до 1.06 | |
| Время полимеризации, мин | | | От 0.5 до 2.0 | |
| Система | | | 1. ЭГ-101 2. ГИ Мембрана 3. ПА-105 | |
| Срок службы | | | Более 47 лет | |
| Основание | | | | |
| Функциональные показатели полимерной гидроизоляции (ГИ) | Бетон | Сталь | Бетон | Сталь |
| Прочность сцепления ГИ слоя с плитой основания при отрыве, МПа, не менее, при температуре 23 °С | 1.00 | 3.00 | 3.20 | 9.80 |
| Прочность сцепления ГИ слоя с уплотняемым а/б при отрыве, МПа, не менее, при температуре 23 °С | 0.40 | 0.40 | 0.45 | 0.45 |
| Прочность сцепления ГИ слоя с литым а/б при отрыве, МПа, не менее, при температуре 23 °С | 0.40 | 0.40 | 0.45 | 0.45 |
| Прочность сцепления ГИ слоя с уплотняемым а/б при сдвиге, МПа, не менее, при температуре 23 °С | 0.15 | 0.15 | 0.30 | 0.30 |



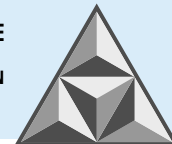
Окончание таблицы 2

Table 2 (ending)

| Название | Требования ГОСТ 59179-2021 | | Гидрофлекс-1 | |
|--|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| | | | | |
| Прочность сцепления ГИ слоя с литым а/б при сдвиге, МПа, не менее, при температуре 23 °С | 0.15 | 0.15 | 0.30 | 0.30 |
| Водонепроницаемость | Не нарушена | | Не нарушена | Не нарушена |
| Водопоглощение по массе, %, не более | 2.5 | 2.5 | 2.0 | 2.0 |
| Прочность при растяжении ГИ слоя, МПа, не менее, при температуре 23 °С | 5.0 | 5.9 | 19.0 | 19.0 |
| Относительное удлинение ГИ слоя при разрыве, %, не менее, при температуре 23 °С | 40 | 40 | 200-400 | 200-400 |
| Сопротивление ГИ слоя проникновению хлорид-ионов по массе, %, не более | 0.04 | - | В пределах погрешности измерения | В пределах погрешности измерения |
| Антикоррозионная стойкость в условиях атмосферы нейтрального соляного тумана | - | | В пределах погрешности измерения | В пределах погрешности измерения |
| Внешний вид | - | Отсутствие вздутий, ржавчины и трещин | | Отсутствие вздутий, ржавчины и трещин |
| Диэлектрическая сплошность | - | Отсутствие пробоев | | Отсутствие пробоев |
| Минимальная толщина гидроизоляционного слоя (с учетом допусков по ГОСТР 58942-2020), мм | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Относительное удлинение слоя при разрыве после воздействия температуры 140°С, %, не менее, при температуре 50 °С | 40 | 40 | 200-400 | 200-400 |
| Относительное удлинение ГИ слоя при разрыве после воздействия температуры 170 °С, %, не менее, при температуре 50 °С | 40 | 40 | 200-400 | 200-400 |

Согласно полученным данным, гидроизоляционный эластомерный материал соответствует требованиям ОДМ 218.3.045-2015 и СТО 80576145-001-2017. По заключению АО ЦНИИС № НМГАЗ-19-9286, предлагается следующая система ООО «НПФ «Современные покрытия»: композиция эпоксидная ЭГ-101 – 150-250 мкм; «Гидрофлекс-1/1» (ТУ 5775-007-98644048-2013); толщина – 1.2-1.8 мм. Таковая успешно прошла климатические испытания для условий эксплуатации 02 по методу 18 ГОСТ 9.401, предусматривающих длительное и циклическое воздействие отрицательных температур (от -60 °С). Прогнозируемый срок службы покрытия составил не менее 47 лет.

С учетом результатов производственного эксперимента, рекомендуется повысить температуру напыляемой смеси до 70-80 °С для обеспечения полимеризации смеси в течение 1-2 мин. В этих условиях пузырьку паровоздушной смеси не удастся достичь поверхности напыляемого слоя и лопнуть с образованием каверны (дефекта целостности слоя гидроизоляции мостового сооружения), как это описано в [8, 9].



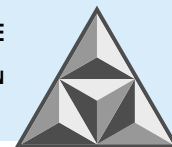
ВЫВОДЫ

В известных технических решениях не заявлена задача обеспечения целостности гидроизоляции при пониженных температурах. В этой связи впервые установлен механизм образования каверн (нарушения целостности) в слое гидроизоляции на склоне выступа макрошероховатости, связанный с температурой и расходом напыляемой смеси, временем остывания, а также шириной и высотой выступа макрошероховатости. Выявлено, что точечное кавернообразование происходит на склонах участков с максимальными неровностями (наибольшей глубиной впадины относительно соседнего выступа).

Применение напыляемой полимерной трехслойной гидроизоляции при строительстве и ремонте мостовых сооружений позволит повысить срок их службы и снизить аварийность.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Овчинников И.Г., Макаров В.Н., Ефанов А.В.** Мостовое полотно автодорожных мостов с применением литого асфальтобетона и современных деформационных швов. Саратов: Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 2004.
2. **Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Жаденова С.В.** Систематизация и сравнительный анализ различных типов гидроизоляции, применяемых на автодорожных мостовых сооружениях // *Интернет-журнал «Наукоедение»*. 2013. № 5. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/56TBH513.pdf>
3. **Борисов Н.А.** Гидроизоляция строительных объектов методом холодного бесшовного напыления жидкой резиной // *Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции 13 августа 2017 г.* Чебоксары: Изд-во: ООО "Центр научного сотрудничества "Интерактив плюс". 2017. С. 220-227. URL: www.interactive-plus.ru
4. **Янковский Л.В., Кочетков А.В., Кокодеева Н.Е.** Техническое нормирование макрошероховатости дорожных покрытий автомобильных и лесовозных дорог / под общ. ред. Л.В. Янковского. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2019. 321 с.
5. **Zadiraka A.A., Kokodeeva N.Ye., Kochetkov A.V.** Physical and mechanical properties of polyurethane crushed stone for slopes of embankments and excavations of roads and railways // *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2018. № 4(40). С. 50-60.
6. **Дубиняк А.Н., Овчинников И.И.** Гидроизоляционные материалы для защиты конструкций транспортных сооружений // *Интернет-журнал «Транспортные сооружения»*, 2020. Т. 7, № 2. С. 18. URL: <https://t-s.today/PDF/21SATS220.pdf>
7. **Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Телегин М.А., Хохлов С.В.** Эффективные конструкции дорожных одежд с применением асфальтобетона на мостовых сооружениях // *Интернет-журнал "Наукоедение"*. 2014. № 1(20). С. 76. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/76TVN114.pdf>
8. **Каменских А.Н.** Секрет долговечности. Практические работы по видеоидентификации теплового поля напыляемого горячего слоя гидроизоляции с помощью тепловизора // *Автомобильные дороги*. 2023. № 3. С. 40-43.
9. **Валиев Ш.Н., Каменских А.Н., Петрович И.Г., Журавлев П.А.** Устройство напыляемой полимерной гидроизоляции мостовых сооружений на основе теплофизического моделирования и нормирования макрошероховатости / под науч. ред. проф. А.В.Кочеткова. М.: ООО «Строинформиздат», 2023. 187 с.
10. **Pratap Singh Rautela.** Waterproofing of Bridge Decks The Latest Technique and Material // *National research council. NBM & CW*, January 2008.
11. **John Erik Haga.** Bridge Decks Waterproofing and Wearing Course // *Norwegian Public Roads Administration*, January 1997.
12. **Eestindanud Aleksander Kaldas.** Sillatekkide asfaltkatendid (Asphalt pavements on bridge decks) // *EAPA arvamusraport*, Detsember 2013.



13. **Karl Gunnar Holter.** Testing of properties and constructability considerations of EVA-based sprayed membranes for waterproofing of tunnels // «SEE Tunnel: Promoting Tunneling in SEE Regio» ITA WTC 2015 Congress and 41st General Assembly, May 22–28. 2015

Поступила в редакцию 23.05.2023

Одобрена после рецензирования 19.06.2023

Принята к опубликованию 22.06.2023

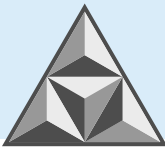
REFERENCES

1. **Ovchinnikov, I.G., Makarov, V.N. & Efanov, A.V.** (2004) *Bridge bed of road bridges using cast asphalt concrete and modern expansion joints*. Saratov: Izd-vo Sarat. gos. tekhn. un-ta (in Russian).
2. **Ovchinnikov, I.I., Ovchinnikov, I.G., Valiev, Sh.N. & Zhadenova, S.V.** (2013) Systematization and comparative analysis of various types of waterproofing used on road bridge structures, *Internet-zhurnal «Naukovedeniye»*, (5) [online]. Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/56tvn513> (in Russian).
3. **Borisov N.A.** (2017) Waterproofing of construction objects by cold seamless spraying with liquid rubber, *Sbornik materialov VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 13 avgusta 2017 g.* Cheboksary: Izdatelstvo: OOO "Tsentr nauchnogo sotrudnichestva "Interaktiv plyus". pp. 220-227 [online]. Available at: www.interactive-plus.ru (in Russian).
4. **Yankovsky, L.V., Kochetkov, A.V. & Kokodeeva, N.E.** (2019) *Technical normalization of macro-roughness of road surfaces of automobile and logging roads / under the general ed. of L.V. Yankovsky*. Perm: Izd-vo Perm. nats. issled. politekhn. un-ta (in Russian).
5. **Zadiraka, A.A., Kokodeeva, N.Ye. & Kochetkov, A.V.** (2018) Physical and mechanical properties of polyurethane crushed stone for slopes of embankments and excavations of roads and railways, *Russian Journal of Building Construction and Architecture*, 4(40), pp. 50-60.
6. **Dubinyak A.N. & Ovchinnikov I.I.** (2020) Waterproofing materials for the protection of transport structures, *Internet-zhurnal «Transportnyye sooruzheniya»*, 7(2), pp. 18 [online]. Available at: <https://t-s.today/PDF/21SATS220.pdf> (in Russian).
7. **Ovchinnikov, I.G., Ovchinnikov, I.I., Telegin, M.A. & Khokhlov, S.V.** (2014) Effective constructions of road clothes using asphalt concrete on bridge structures, *Internet-zhurnal "Naukovedeniye"*, 1(20), pp.76 (in Russian).
8. **Kamenskikh, A.N.** (2023) The secret of durability. Practical work on video identification of the thermal field of the sprayed hot waterproofing layer using a thermal imager, *Avtomobilnyye dorogi*, (3), pp. 40-43 (in Russian).
9. **Valiev, Sh.N., Kamenskikh, A.N., Petrovich, I.G. & Zhuravlev P.A.** (2023) *Device of sprayed polymer waterproofing of bridge structures based on thermophysical modeling and normalization of macro-roughness / under the scientific editorship of prof. A.V. Kochetkov*. M.: OOO «Stroinformizdat» (in Russian).
10. **Pratap, Singh Rautela.** (2008) Waterproofing of Bridge Decks The Latest Technique and Material, *National research council. NBM & CW*, January.
11. **Erik Haga, John.** (1997) *Bridge Decks Waterproofing and Wearing Course*, Norwegian Public Roads Administration, January.
12. **Eestindanud, Aleksander Kaldas.** (2013) Sillatekkide asfaltkatendid (Asphalt pavements on bridge decks), *EAPA arvamusraport*, Detsember.
13. **Karl Gunnar Holter.** (2015) Testing of properties and constructability considerations of EVA-based sprayed membranes for waterproofing of tunnels, «SEE Tunnel: Promoting Tunneling in SEE Regio» ITA WTC 2015 Congress and 41st General Assembly, May 22–28.

Received 23.05.2023

Approved after reviewing 19.06.2023

Accepted 22.06.2023



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 728.37(908)

Усадебная культура Ярославской области: к вопросу о реновации памятников

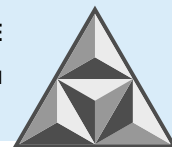
Д.А. Личак¹, Н.А. Личак²

Дмитрий Алексеевич Личак

¹Ярославский государственный университет им. К.Д. Ушинского, Ярославль, Российская Федерация,
d_lichak@mail.ru

Наталья Алексеевна Личак

²Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация,
lichakna@ystu.ru

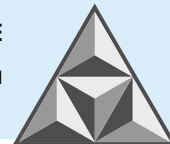


Описываются реализованные и планируемые мероприятия, связанные с реновацией памятников усадебной культуры на современном этапе. В Ярославской области расположены усадебные комплексы и объекты, вошедшие в проект «Усадебное достояние РФ». Акцентируется внимание на усилении работы в указанном направлении. Восстановлена усадьба купца Чистова в г. Мышкине. Обращается внимание архитекторов к новым проектам; среди них – оранжерея и винный склад усадьбы Н.А. Некрасова в Карабихе, ансамбль в д. Черелисино. Реновационные мероприятия способствуют активному и качественному развитию усадебного пространства при сохранении узнаваемого архитектурного образа усадеб, а также спасению разрушающихся зданий. Новые творческие детали и элементы обеспечивают визуальную привлекательность указанных архитектурных и строительных объектов.

Ключевые слова: памятники усадебной культуры, Ярославская губерния, реновационный проект, усадьба купца Чистова, оранжерея и винный склад усадьбы Н.А. Некрасова, ансамбль в д. Черелисино, визуальная привлекательность

Для цитирования:

Личак Д.А., Личак Н.А. Усадебная культура Ярославской области: к вопросу о реновации памятников // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 2. С. 77-86.
URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023



SCIENTIFIC ARTICLE

Manor culture of the Yaroslavl region: on the renovation of monuments

D.A. Lichak¹, N.A. Lichak²

Dmitry A. Lichak

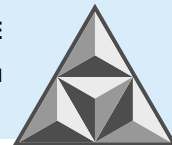
¹Yaroslavl State University named after K.D. Ushinsky, Yaroslavl, Russia

d_lichak@mail.ru

Nataliya A. Lichak

²Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

lichakna@ystu.ru

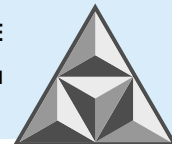


The paper describes the current implemented and planned activities on manor culture monuments renovation. "The Estate Property of the Russian Federation" project involves many estate complexes and cultural objects of the Yaroslavl region. Within the framework of this project, the estate of the merchant Chistov in Myshkin was restored. There are also the other projects - the orangery and wine warehouse of N.A. Nekrasov's estate in Karabikha, the ensemble in Cherelisino village, etc. Renovation activities provide the active and qualitative development of the estate space while preserving the recognizable architectural image of the estates. Also, these projects ensure the salvation of deteriorating buildings. New creative details and elements enhance the visual attractiveness of these architectural and cultural objects.

Keywords: manor culture monuments, Yaroslavl province, renovation project, merchant Chistov's manor, N.A. Nekrasov manor orangery and wine warehouse, Cherelisino village ensemble, visual appeal

For citation:

Lichak, D.A. & Lichak, N.A. (2023) Manor culture of the Yaroslavl region: on the renovation of monuments, *Smart Composite in Construction*, 4(2), pp. 77-86 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023



ВВЕДЕНИЕ

В Ярославской области имеются оригинальные усадебные объекты, вошедшие в проект «Усадебное достояние РФ». К сожалению, не все усадьбы в наши дни находятся в удовлетворительном состоянии. В конце XIX в. в России начался процесс разрушения размеренной жизни; экономически дворянские хозяйства трудно вписывались в новые условия после осуществления реформы 1861 года [1]. В результате в советский период многие усадебные комплексы практически потеряли привычный облик, а те территории, что сохранились, были включены в активную общественную жизнь благодаря месторасположению и возможности размещения на площадях новых музейных экспозиций [2].

Проблема сбережения русской усадьбы на современном этапе считается сложной. Тем не менее ведение творческой и архитектурной деятельности в данном направлении является весьма актуальным. Усадебная культура является важной составляющей отечественного миропонимания, частью исторической памяти России. При этом сохранение памятников искусства и старины как духовно-материального наследия является задачей не только архитекторов и культурологов, но и музеологов, историков, филологов и всех неравнодушных людей [3]. Важно, чтобы к процессу сохранения этого наследия подключалось молодое поколение через реализацию оригинальных творческих проектов. Архитекторы могут внедрить опыт функционирования исторических объектов в ходе поиска рационального подхода к изменению локаций. Не следует забывать и главный принцип инвестора при воссоздании старого или возведении нового здания – получить максимум от существующего объекта при минимальных вложениях [4].

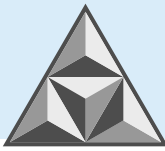
РЕНОВАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ В УСАДЬБАХ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ

Сложность формирования музейной экспозиции при изменяющихся внешних условиях диктует необходимость изменения среды бытования усадеб и сохранения их в искусственной «консервирующей» среде [5]. Оптимальной исторически выработанной формой такой среды является музейное пространство. Вместе с тем музейная среда на современном этапе характеризуется высокой гибкостью, легко вбирая в себя, сохраняя и трансформируя в музейные объекты самые разнообразнейшие фрагменты усадебной действительности.

Развитие внутреннего туризма, индустрии гостеприимства и образовательных проектов позволяет стимулировать местные органы власти и сотрудников музейных пространств к поиску решений по использованию разрушенных помещений и домов. Творческие инициативы архитекторов приводят к созданию проектов. Получив грант на проведение детальных исследований, специалисты приходят к реализации задуманного. Применяют несколько методов, используемых при реновации объектов, – аппликацию (создание композиционных решеток, структур, формирование цветовых решений), интеграцию (врезка дополнительных объемов в структуру здания, устройство доминант, создание дополнительных пространств), аналогию (стилизованные дублирование и создание семантических форм здания, связанных с объектом), часто используемую как дополнение к интеграции [4].

Целесообразность является основой реновационных изменений. Архитекторы, экономисты и девелоперы в условиях диалога прорабатывают несколько вариантов сценария развития объекта. В итоге внедряется наиболее рациональный, с точки зрения затрат на реконструкцию, сценарий, который будет приносить наибольшую прибыль при эксплуатации измененного объекта [4].

В Ярославском регионе есть положительные примеры реновации – музей-усадьба дворян Леонтьевых в селе Воронино Ростовского района, «Усадьба Тихомирова. Главный дом» в Ярославле [6]. В число претендентов на федеральную поддержку также включены усадьба Коковцевых (Ярославль) и ансамбль загородной усадьбы Михалковых (Рыбинск).



Возможность трансформации в будущем появилась у полуразрушенных зданий из красного кирпича – оранжереи и винного склада усадебного комплекса Н.А. Некрасова в Карабихе (рис. 1).



Рис. 1. Оранжерея и винный склад усадьбы Н.А. Некрасова в Карабихе (проект) [7]

Fig. 1. Orangery and wine warehouse in N.A. Nekrasov's estate in Karabikha, the Yaroslavl region, Russia (project) [7]

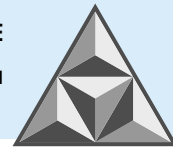
Данные локации в рамках дипломного проекта студента Ярославского государственного технического университета А. Кокуевой предполагается дополнить светопрозрачным матовым стеклом для создания нейтрального образа. Такое восстановление позволит соблюсти баланс визуальных коммуникаций усадьбы. Архитекторы предлагают отвести западное крыло оранжереи под кофейню-сад на 25-30 человек, а восточное крыло – под оранжерею. Винный склад, по мнению архитекторов [7], после реновации может стать музейным визит-центром (открытым архивом) с возможностью проведения конференций и кофе-брейков.

Также интересным проектным образцом является ансамбль, расположенный в близости от усадьбы Н.А. Некрасова – д. Черелисино (рис. 2). Проект предполагает создание загородной резиденции для высокопоставленных лиц. Двухэтажный усадебный дом с колоннами в стиле неоклассицизма и регулярный парк будут выступать доминантами в архитектурной композиции.



Рис. 2. Ансамбль в д. Черелисино (проект) [7]

Fig. 2. Cherelesino village ensemble, the Yaroslavl region, Russia (project) [7]



В качестве уже реализованного и успешного проекта следует привести усадьбу купца Чистова (1830-е гг.). Ранее территория нарушала эстетический вид города Мышкина, расположенного в Ярославской области. Малые архитектурные формы находились в неудовлетворительном состоянии. Проект благоустройства был представлен на Всероссийском конкурсе лучших вариантов создания комфортной городской среды в малых городах и исторических поселениях с целью использования территории для привлечения туристов. Конкурсная комиссия оценила нестандартность идеи. Местные власти получили грант на реализацию данного проекта в размере 30 млн руб. [9]. На полученные средства организованы реновационные мероприятия главного дома, представленного на рис. 3. Ограда с воротами была не только восстановлена в первоначальном виде, но и дополнена новыми деталями.



Рис. 3. Усадьба купца Чистова до и после реновации (г. Мышкин) [9]

Fig. 3. Merchant Chistov's estate before and after renovation (Myshkin the Yaroslavl region, Russia) [9]

После успешной реализации основного проекта на территории усадьбы купца Чистова к реновации подготовлены другие здания и строения. В главном доме усадьбы стали проводиться Опочининские чтения и другие творческие и общественно-значимые мероприятия.

«УСАДЕБНОЕ КОЛЬЦО ЯРОСЛАВСКИХ ПРЕДМЕСТИЙ»

Следует признать, что усадебную жизнь при поддержке опытных специалистов в различных сферах целесообразно трансформировать. Ожидается, что попытки изменения функционального назначения усадеб на современном этапе будут успешными благодаря положительным примерам.

Дальнейшее развитие территорий может проходить в рамках экскурсии, например, по «Усадебному кольцу Ярославских предместий» (рис. 4).

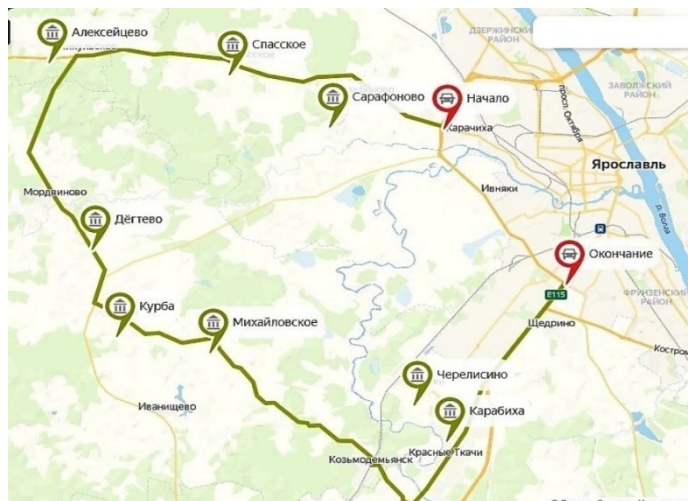
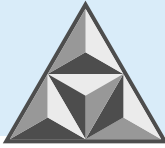


Рис. 4. Маршрут «Усадебное кольцо Ярославских предместий» [10]

Fig. 4. Route «Manor ring of the Yaroslavl suburbs» [10]



В основе этого культурно-познавательного тура 75-километрового маршрута лежит посещение бывших дворянских усадеб, располагавшихся ранее в селах Сарафанове, Спасском, Дегтеве, Курбе, Васильевском, Михайловском. Маршрут завершается в музее-усадьбе поэта Николая Некрасова в Карабихе. Исследователям предлагаются дополнительные маршруты [10], например, посещение поселка Красные Ткачи, в котором располагается дом фабриканта Н.И. Сакина, корпуса фабрики Бранта.

Маршрут представляет собой культурно-познавательный тур по юго-западной части Ярославского района, включающий посещение бывших дворянских усадеб на данной территории. При этом круг объектов, представляющих интерес для любителей туризма по историческим и архитектурно-значимым местам, может быть расширен [11, 12].

Погружение в жизнь людей русской усадьбы приведет к дальнейшему изучению построек и стилей различных эпох, трансформации пространства в соответствии с тенденциями нынешней моды, возможностями и вкусами современников, а также будет способствовать увеличению озеленения и созданию уюта на сохраняемой территории.

Постройки, которые до последнего времени не были включены в круг используемых объектов, обретут насыщенную жизнь в родовых гнездах российской провинции. Они не будут конкурировать с сохраненными музеефицированными объектами, а привлекут к туристическим маршрутам новых экскурсантов.

ВЫВОДЫ

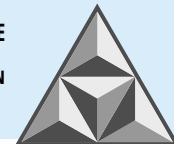
Современное культурное усадебное пространство интересно по содержанию и возможностям использования. На территориях музеев-усадоб проводятся культурно-массовые мероприятия, праздники, лекции, реализуются экскурсионные программы. Запросы посетителей (мастер-классы для детей, образовательные курсы, тематические вечера) расширяют возможности привлечения туристов, исследователей, архитекторов и девелоперов.

Реновации осуществляются через конкурсные отборы объектов, которые разделяют по критериям, указанным организаторами проекта. В рамках грантовой поддержки учитывается состояние, историко-культурная значимость, форма собственности, состав усадьбы, сведения о земельном участке, наличие вблизи объектов рекреации.

Привлечение внебюджетного финансирования, грантовая или иная инвестиционная поддержка ускорят сохранение объектов культурного наследия, простимулируют активное развитие усадебного пространства, приведут к спасению разрушающихся зданий и уместной смене их функционального назначения. При этом важнейшим является факт сохранности узнаваемого архитектурного образа усадьбы. В свою очередь, новые детали и элементы будут способствовать повышению визуальной привлекательности таких объектов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Бутова И.Н., Маренкова Ю.Г., Реш О.В., Ризова Т.С., Себелева Л.И.** «Усадебный мир» русской культуры: миф или реальность?: коллективная монография. Прага: Vědecko vydavatelské centrum «Sociosféra-CZ», 2018. 107 с.
2. **Личак Н.А., Тюкина Л.А.** Инициатива местных органов власти по сохранению памятников усадебной культуры в первые послереволюционные годы // *Карабихские научные чтения. Музей. Усадьба. Литература: пути и проблемы взаимодействия традиционных культурных институтов в современном мире: материалы научной конференции (Ярославль, 5-6 июля 2018 года)*. Ярославль, 2018. С. 115-121.
3. **Агаев А.В., Гельвих Т.Р., Степанова Н.Р.** Проблема редевелопмента объектов культурного наследия. URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/99683/1/978-5-91256-519-9_2021_168.pdf



4. **Ляхно Б.Б.** Реновация и редевелопмент на примере оранжереи усадьбы «Покровское – Стрешнево» // *Материалы международного научного форума обучающихся "Молодежь в науке и творчестве" (8 апреля 2020 г.): сборник научных статей (Гжель, 08 апреля 2020 года)*. Ч. 4. Гжель: Гжельский государственный университет, 2020. С. 168-169.
5. **Каулен М.Е.** Музеефикация но из основных направлений музейной деятельности. URL: <https://www.borodino.ru/spetsialistam/izdaniya-muzeya-zapovednika/ekologicheskie-problemy-razvitiya-muzeev-zapovednikov/>
6. Десять ярославских усадеб восстановят в рамках федерального проекта. URL: <https://1yar.tv/article/desyat-yaroslavskih-usadep-vosstanovyat-v-ramkah-federalnogo-proekta>
7. **Убед С.А., Кокуева А.** Кому на Руси жить хорошо: приспособление руин усадьбы «Карабиха» под музейный визит-центр и оранжерею с кофейней. URL: <https://prorus.ru/interviews/itogi-2022-ot-renovacii-oranzherei-do-kosmicheskoy-derevni>
8. **Киселев А.А.** Реновация территории усадьбы Черелисино. URL: <https://cad.ru/support/bz/projects/3ds-max/renovatsiya-territorii-usadby-cherelisino>
9. Как реновация старинной усадьбы помогла повысить туристическую привлекательность города. URL: <http://smokhv.ru/materials/mat20210216>
10. Усадьбы Ярославской области. URL: <https://vk.com/yaroslavskayausadba>
11. **Волков К.А.** Реновация заброшенных усадеб Подмосковья. Архипелаг потерянной культуры // *Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ: тезисы докладов междунар. науч.-практ. конф. проф.-препод. состава, молод. ученых и студентов, 08–12 апреля 2019 года*. Т. 1. М.: Московский архитектурный институт (государственная академия), 2019. С. 480-481.
12. **Адуевская Ю.И.** Анализ отечественного и зарубежного опыта реновации усадеб - памятников архитектуры, истории и культуры // *Всероссийская научно-практическая конференция "ДИСК-2017": сборник материалов. (Москва, 20–24 ноября 2017 г.)*. Ч. 2. М.: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2017. С. 153-156.

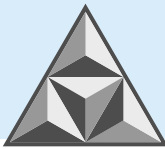
Поступила в редакцию 02.05.2023

Одобрена после рецензирования 15.06.2023

Принята к опубликованию 20.06.2023

REFERENCES

1. **Butova, I.N., Merenkova, Yu.G., Resh, O.V., Sizova, T.S. & Soboleva, L.I.** (2018). *The "manor world" of the Russian culture: myth or reality?* Praga: Vědecko vydavatelské centrum «Sociosféra-CZ» (in Russian).
2. **Lichak, N.A. & Tyukina, L.A.** (2018) Initiative of local authorities to preserve monuments of manor culture in the first post-revolutionary years, *Karabikhskie nauchnye chteniya. Muzej. Usadba. Literatura: puti i problemy vzaimodejstviya tradicionnykh kulturnykh institutov v sovremennom mire: materialy nauchnoj konferencii (Yaroslavl', 5-6 iyulya 2018 goda)*. Yaroslavl', pp. 115-121 (in Russian).
3. **AgaeV, A.V., Gel'vih, T.R. & Stepanova, N.R.** The problem of the cultural heritage sites redevelopment [online]. Available at: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/99683/1/978-5-91256-519-9_2021_168.pdf (in Russian).
4. **Lahno, B.B.** (2020) Renovation and redevelopment on the orangery example of the estate "Pokrovskoe – Streshnevo", *Materialy mezhdunarodnogo nauchnogo foruma obuchayushhixsya "Molodezh v nauke i tvorchestve" (8 aprelya 2020 g.): sbornik nauchnykh statej. Gzhel, 08 aprelya 2020 goda*. Ch. 4. Gzhel: FGBOU VO "Gzhelskij gosudarstvennyj universitet", pp. 168-169 (in Russian).
5. **Kaulen, M.E.** *Museumification is one of the main directions of museum activity* [online] Available at: <https://www.borodino.ru/spetsialistam/izdaniya-muzeya-zapovednika/ekologicheskie-problemy-razvitiya-muzeev-zapovednikov/> (in Russian).
6. *Ten Yaroslavl estates will be restored as part of a federal project* [online]. Available at: <https://1yar.tv/article/desyat-yaroslavskih-usadep-vosstanovyat-v-ramkah-federalnogo-proekta> (in Russian).

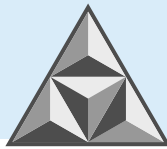


7. **Ubed, S.A. & Kokueva, A.** *Who lives well in Russia: reconstruction of the estate "Karabikha" ruins to a museum visit center and an orangery with a coffee shop* [online]. Available at: <https://prorus.ru/interviews/itogi-2022-ot-renovacii-oranzherei-do-kosmicheskoy-derevni> (in Russian).
8. **Kiselev, A.A.** *Renovation of the Cherelisino estate territory* [online]. Available at: <https://cad.ru/support/bz/projects/3ds-max/renovatsiya-territorii-usadby-cherelisino> (in Russian).
9. *How the renovation of an old manor helped to increase the city attractiveness for the tourists* [online]. Available at: <http://cmokhv.ru/materials/mat20210216> (in Russian).
10. *Estates of the Yaroslavl region* [online]. Available at: <https://vk.com/yaroslavskayausadba> (in Russian).
11. **Volkov, K.A.** (2019) Renovation of abandoned estates near Moscow. Archipelago of Lost Culture, *Nauka, obrazovanie i eksperimentalnoe proektirovanie v MARXI: Tezisy dokladov mezhdunar. nauch.-prakt. konf. prof.-prepod. sostava, mlad. uchen. i stud., 08–12 aprelya 2019*. Ch. 1. M.: Moskovskij arhitekturnyj institut (gosudarstvennaya akademiya), pp. 480-481 (in Russian).
12. **Aduevskaya, Yu.I.** (2017) Analysis of domestic and foreign experience in the estate renovation - architectural, historical, and cultural monuments, *Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "DISK-2017": sbornik materialov (Moskva, 20–24 noyabrya 2017)*. Ch. 2. M.: Rossijskij gosudarstvennyj universitet im. A.N. Kosygina (Tehnologii. Dizajn. Iskusstvo), pp. 153-156 (in Russian).

Received 02.05.2023

Approved after reviewing 15.06.2023

Accepted 20.06.2023



ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция строго придерживается норм и правил международной публикационной этики.

Правовую основу обеспечения публикационной этики составляют международные стандарты: положения II Всемирной конференции по вопросам соблюдения добросовестности научных исследований, положения Комитета по этике научных публикаций (The Committee on Publication Ethics – COPE) и нормы раздела «Авторское право» Гражданского кодекса РФ.

Представление статьи в журнал подразумевает следующее:

- работа не была опубликована ранее в другом журнале;
- не находится на рассмотрении в другом журнале;
- все соавторы согласны с публикацией статьи;
- получено согласие (в явной или неявной форме) организации, в которой было проведено исследование.

При представлении рукописи в журнал авторы должны убедиться, что все цитирования оформлены корректно, указаны заимствованные источники в подписях к рисункам и надписям таблиц. Если таковые не приведены, предполагается, что рисунки и таблицы представляют собой плод авторской деятельности. Редакция осуществляет проверку статей на антиплагиат (не менее 70% оригинальности).

Авторские права

Авторы, направляющие свои работы в журнал, соглашаются со следующим:

- 1) Авторы сохраняют за собой авторские права на работу и предоставляют журналу право первой публикации работы.
- 2) Авторы сохраняют право заключать отдельные контрактные договоренности, касающиеся распространения версии работы в опубликованном виде (например, размещение ее в институтском хранилище, публикация в книге), со ссылкой на оригинальную публикацию в этом журнале.

Приватность

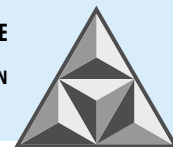
Имена и адреса электронной почты, введенные на сайте этого журнала, будут использованы исключительно для целей, обозначенных журналом; доступ к ним иных лиц и организаций для других целей не предоставляется.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

В журнале «Умные композиты в строительстве Smart Composite in Construction» печатаются работы преподавателей и сотрудников высших учебных заведений РФ, РАН, РААСН, а также других учебных и исследовательских подразделений стран, работающих в сфере промышленного и гражданского строительства и архитектуры.

Перечень специальностей с указанием отраслей науки, которым отвечают рубрики журнала

- 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические);
- 2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические);
- 2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические);
- 2.1.12. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура; технические)



Статьи, направляемые в журнал, должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Работа должна соответствовать профилю журнала, обладать актуальностью, новизной, иметь прикладное значение (и/или теоретическое обоснование). Вопрос об опубликовании статьи или отклонении решает редакционная коллегия журнала, и ее решение является окончательным.

2. Статьи должны представлять конкретное изложение полученных автором результатов, без повторения одних и тех же данных в тексте, рисунках и таблицах.

3. Основной текст статьи должен быть подготовлен 12 кеглем, шрифт *Times New Roman*, интервал 1.1. Поля: верхнее и нижнее – 3 см, левое и правое – 2.5 см. Абзацный отступ – 0.75 см. Объем статьи – 7-15 страниц, включая список источников, таблицы (не более 5, ширина 8 см) и рисунки (не более 5, для обзорной статьи – не более 10, ширина 8 см), в том числе помеченные буквами *a*, *b*, *v* и т.д. Рисунки – в редакторе в *MS Excel* или *Origin*, без рамок, формулы – в *Chem Wind*. Они размещаются, как и подписи к ним, таблицы и заголовки, примечания, по тексту статьи. В раздел «Обзорные статьи» принимаются материалы объемом от 20-25 страниц.

При оформлении статьи рекомендуется избегать употребления любых сокращений, кроме общепринятых. При первом упоминании сокращенного термина обязательно приводится его расшифровка в полном виде. Рукописные вставки не допускаются. Кавычки оформляются елочкой. Текст набирается без нумерации страниц.

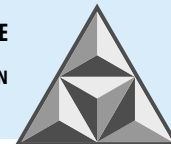
Структура статьи

На первой странице рукописи слева проставляется индекс по универсальной десятичной классификации (УДК, шрифт 10 пт, прямой, *Verdana*, без отступа. После УДК пропускается строка, дается наименование работы по центру (шрифт 12 пт, прямой, полужирный, все буквы прописные, шрифт *Verdana*). Ниже по центру – инициалы, фамилия авторов (шрифт 11 пт, курсив, *Verdana*, полужирный). После фамилий авторов указываются их место работы: подразделение и название организации, почтовый адрес (шрифт 10 пт, курсив, *Verdana*). Отдельной строкой указывается электронный адрес авторов (курсив). Далее через интервал (1 строка) размещается аннотация (150-200 слов, выравнивание по ширине, размер шрифта 10 пт, курсив, отступ слева 1 см, шрифт *Times New Roman*). После аннотации и интервала (1 строка) полужирным шрифтом курсивом набирается *Ключевые слова* и приводят шрифтом *Times New Roman*, размер шрифта 10 пт, 5-8 словосочетаний (не курсив), без точки в конце.

Эти же данные, кроме УДК, представляются на английском языке, на отдельной странице.

Затем располагается текст статьи (шрифт 12 пт, прямой, *Times New Roman*), в котором через интервал выделяются разделы: ВВЕДЕНИЕ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ, РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ, ВЫВОДЫ (в обзорной статье выделяются ВВЕДЕНИЕ, названия подразделов курсивом, ВЫВОДЫ). Подписи к рисункам и названия таблиц представляют на русском и английском языке. Числа, не являющиеся целыми (десятичные), указывают через точку, например: 5.3 или 395.18.

Статья заканчивается разделом СПИСОК ИСТОЧНИКОВ (шрифт 10 пт, *Times New Roman*). Количество цитированных источников – не менее 10, оптимальное – от 15 до 20. Желательно включать работы из журналов, входящих в список ВАК РФ, и не менее 2-3 работ, входящих в международные базы. В обзорных работах принимаются ссылки от 40-50 источников и выше. Под списком литературных источников через интервал слева курсивом приводятся слова: *Поступила в редакцию*, на следующей строке: *Одобрена после рецензирования*, на следующей



строке: *Принята к опубликованию*. Раздел Список источников дополнительно представляется на английском языке (REFERENCES, см. **Оформление литературных ссылок**).

4. В адрес редакции, кроме электронного варианта, по электронной почте направляют сведения об авторах, с указанием их ученой степени, ученого звания, места работы и занимаемой должности, адреса, телефона и e-mail, а также подписями, означающими согласие на опубликование работы.

Формат

Редакция принимает тексты, сохраненные в программе *Microsoft Word* в форматах .doc или .docx. Материалы, не соответствующие вышеуказанным требованиям, не рассматриваются.

Оформление литературных ссылок

Все русскоязычные литературные источники должны быть указаны на английском языке. Издания, которые не переводятся, необходимо указать транслитерацией в соответствии с общепринятыми международными правилами, в конце каждого такого источника должна стоять пометка (in Russian) (см. <http://www.cas.org/expertise/cascontent/caplus/corejournals.html>).

Для журнальной статьи должны быть указаны фамилии и инициалы всех авторов, название статьи, сокращенное название журнала, год, номер тома, номер или выпуск, диапазон страниц и DOI (при наличии), например, DOI: 10.6060/2012.01.01.

Ссылки на статьи из иностранных источников:

1 Фамилия И.О. (англ.), 2 Фамилия И.О. (англ.) Название статьи (англ.). *Название журнала (англ.)*. Год. Том (Vol.) цифрами, например, Vol. 5, номер (no.) цифрами, например, no. 3. Диапазон страниц через дефис (например, P. 465-472). DOI (при наличии), например, DOI: 10.13655/1.6.1234567).

Ссылки на статьи на русском языке [перевод на английский]:

1 Фамилия, И.О., 2 Фамилия, И.О. (Год) Название статьи (на англ. языке), *Название журнала (транслитерация)*, Том (Номер) цифрами, диапазон страниц. [1 Familia, I.O., 2 Familia, I.O. (Год) Перевод названия статьи. *Транслитерация названия журнала*, Том (Номер) цифрами, например, 5(3), диапазон страниц, например, pp. 17-23 (in Russian)].

Ссылки на монографии и учебники / учебные пособия на иностранном языке:

1 Фамилия И.О. (англ.), 2 Фамилия И.О. (англ.) *Название книги (англ.)*. Номер переиздания. Город (англ.): Издательство (англ.). Год. Общее число страниц (например: 372 p.)

Ссылки на монографии на русском языке [перевод на английский]:

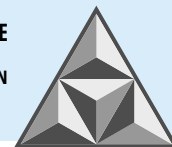
1 Фамилия, И.О. (англ.) & 2 Фамилия, И.О. (англ.) (Год) *Название монографии*. Город: Издательство. Общее число страниц (например, 456 с.) [1 Familiya, I.O. & 2 Familiya, I.O. (Год) *Перевод названия монографии на англ. язык*. Город: Издательство (транслитерация) Gorod: Izdatel'stvo. God izdaniya. 456 p. (in Russian)].

Ссылки на интернет-ресурсы (рус.):

Фамилия И.О. Название материала на сайте [сайт]. Название сайта; 2021 [обновлено 17 октября 2021; процитировано 29 октября 2021]. URL: <http://www.example.ru>

Ссылки на интернет-ресурсы (англ.):

Фамилия, И.О. (англ.) (Год) *Название материала на сайте (англ.)*. *Название сайта (англ.)*; [обновлено 17 октября 2021; процитировано 29 октября 2021 на англ.] [online]. Available at: <http://www.example.ru>



Примеры оформления ссылок на литературные источники

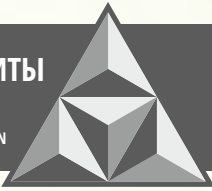
ЛИТЕРАТУРА

1. **Dvorkin L.I.** The influence of polyfunctional modifier additives on properties of cement-ash finegrained concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2020. Vol. 93, no. 1. P. 121-133. DOI: 10.18720/MCE.93.10.
2. **Калашников В.И., Мороз М.Н., Нестеров В.Ю., Хвастунов В.Л., Макридин Н.И., Василик П.Г.** Металлоорганические гидрофобизаторы для минерально-шлаковых вяжущих // *Строительные материалы*. 2016. № 10. С. 38-39.
3. **Разговоров П.Б., Горшков В.К.** Технологическое оборудование отрасли: расчеты в масложировых производствах: учеб. пособие. Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т. 2009. 48 с.
4. **Киселев А.А.** Реновация территории усадьбы Черелисино. URL: <https://cad.ru/support/bz/projects/3ds-max/renovatsiya-territorii-usadby-cherelisino/?ysclid=lh25z2rtja319315116>

REFERENCES

1. **Dvorkin, L.I.** (2020) The influence of polyfunctional modifier additives on properties of cement-ash fine-grained concrete, *Magazine of Civil Engineering*, 93(1), pp. 121-133. DOI:10.18720/MCE.93.10
2. **Kalashnikov, V.I., Moroz, M.N., Nesterov, V.Yu., Hvastunov, V.L., Makridin, N.I. & Vasilik, P.G.** (2016) Organometallic hydrophobizers for mineral-slag binders, *Stroitel'nye materialy*, (10), pp. 38-39 (in Russian).
3. **Razgovorov, P.B. & Gorshkov, V.K.** (2009) *Processing equipment of industry: calculations in oil and fat productions*. Ivanovo: Ivan. gos. khim.-tekhnol. un-t (in Russian).
4. **Kiselev, A.A.** *Renovation of the Cherelisino estate territory* [online]. Available at: <https://cad.ru/support/bz/projects/3ds-max/renovatsiya-territorii-usadby-cherelisino/?ysclid=lh25z2rtja319315116> (in Russian).

**УМНЫЕ КОМПОЗИТЫ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**
SMART COMPOSITE IN CONSTRUCTION



ТОМ 4, ВЫПУСК 2, 2023 | VOL. 4, ISSUE 2

