

ISSN ONLINE 2782-1919

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



**Том 5
выпуск**

**1
2024**

**VOL. 5
ISSUE 1**

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 5
Выпуск 1**

Ярославль 2024

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «УМНЫЕ КОМПОЗИТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Главный редактор: *С.В. ФЕДОСОВ (акад. РААСН, д.т.н., проф., Москва)*
Заместитель главного редактора: *П.Б. РАЗГОВОРОВ (д.т.н., проф., Ярославль)*
Ответственный секретарь: *В.Б. ДОРОНИНА*

МЕЖДУНАРОДНАЯ РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А.А. АБДЫКАЛЫКОВ (д.т.н., проф., Кыргызстан, Бишкек), П.А. АКИМОВ (акад. РААСН, д.т.н., проф., Москва), М.О. БАКАНОВ (советник РААСН, д.т.н., доц., Иваново), 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., Москва), 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. МОИДРУС (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Москва), А.И. МОХОВ (акад. РАЕН, д.т.н., проф., Москва), Т.А. НИЗИНА (советник РААСН, д.т.н., проф., Саранск), П.И. ПОСПЕЛОВ (д.т.н., проф., Москва), Ю.В. ПУХАРЕНКО (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Санкт-Петербург), С.П. РУДОБАШТА (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), 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

Редактор: М.А. Канакотина
Англ. перевод: Л.А. Тюкина
Компьютерная верстка: А.С. Фролов
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 5

Issue 1

Yaroslavl 2024

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

«SMART COMPOSITE IN CONSTRUCTION»

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief: S.V. FEDOSOV (acad. RAACS, doc.eng.sc., prof., Moscow)
Deputy Editor-in-Chief: P.B. RAZGOVOROV (doc.eng.sc., prof., Yaroslavl)
Executive secretary: V.B. DORONINA

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

A.A. ABDYKALYKOV (doc.eng.sc., prof., Kyrgyzstan, Bishkek), P.A. AKIMOV (acad. RAACS, doc.eng.sc., prof., Moscow), M.O. BAKANOV (adv. RAACS, doc.eng.sc., doc., Ivanovo) 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., Moscow), 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), T.A. NIZINA (adv. RAACS, doc.eng.sc., prof., Saransk), 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), 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

Editor: M.A. Kanakotina
English translator: L.A. Tyukina
Layout designer: A.S. Frolov
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

А.А. Титунин

8
Определение коэффициента теплопроводности деревянных клееных конструкций с учетом макроструктуры и плотности древесины

А.А. Titunin

Thermal conductivity coefficient determination of wooden glued structures taking into account macrostructure and wood density

Строительные материалы и изделия

А.А. Сапунова, А.А. Титунин

19
Влияние древесного наполнителя и магнезита на прочность композиционного материала

А.А. Sapunova, А.А. Titunin

Influence of the share of wood filler and magnesite on the strength of composite

Проектирование и строительство дорог, метрополитенов

Е.С. Буданова, В.А. Ярмолинский, А.С. Борисов, Н.С. Кучинов

31
Проблемы эффективного применения технологии холодного ресайклинга дорожных одежд

E.S. Budanova, V.A. Yarmolinskiy, A.S. Borisov, N.S. Kuchinov

Challenges of effective use of cold-in-place recycling technology of road pavements

С.Ю. Андронов, В.В. Столяров, Я.М. Белозеров, А.В. Кочетков, И.Г. Шашков

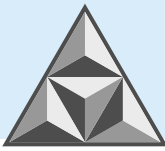
43
Влияние плотности и длины нарезки базальтовой фибры на риск спутывания нитей

S.Yu. Andronov, V.V. Stolyarov, Ya.M. Belozеров, A.V. Kochetkov, I.G. Shashkov

The effect of basalt fiber cutting density and length on the risk of thread entangling

**Архитектура зданий и сооружений.
Творческие концепции архитектурной деятельности**

- 59 *Д.А. Личак, Н.А. Личак*
Духовное кольцо Пскова
D.A. Lichak, N.A. Lichak
The Sacred Heritage of Pskov
- 71 *Н.Н. Кудряшов, С.В. Расторгуев*
Методологический анализ практики фрагментарной регенерации
исторической среды на примере стены Угличского кремля
N.N. Kudryashov, S.V. Rastorguev
Methodological analysis of the fragmentary historical environment
regeneration practice on the example of the Uglich Kremlin wall
- 83 Информация для авторов



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.11:674.028

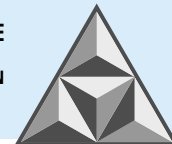
Определение коэффициента теплопроводности деревянных клееных конструкций с учетом макроструктуры и плотности древесины

А.А. Титунин

Андрей Александрович Титунин

Костромской государственный университет, Кострома, Российская Федерация

a_titunin@ksu.edu.ru



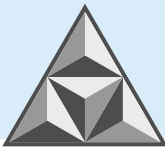
Рассмотрены расчетный и экспериментальный методы определения коэффициента теплопроводности деревянных клееных конструкций. Показано, что при проектировании теплозащиты ограждающих конструкций в виде CLT-панелей или деревянного клееного бруса используют справочные данные о коэффициенте теплопроводности для сосны или ели. На практике значение коэффициента теплопроводности может оказаться меньше справочного; как следствие, получают завышенные параметры ограждающих конструкций по толщине, что не оправдано с точки зрения материалоемкости строительства. Рассматривая древесину как анизотропный материал, при обосновании параметров конструкций следует учитывать особенности макростроения и различия в плотности отдельных слоев, а также породу древесины. На основе физической картины процесса теплопроводности и фундаментальных законов тепломассопереноса выдвинута гипотеза о необходимости проведения корректировки результатов расчетов с учетом фактических значений коэффициента теплопроводности многослойных деревянных клееных конструкций. Представлены результаты экспериментального определения коэффициента теплопроводности древесины сосны и осины с использованием методов стационарного и нестационарного теплового потока. В зависимости от плотности и породы древесины, могут быть получены экспериментальные значения коэффициента теплопроводности от 0.102 до 0.115 Вт·м⁻¹·К⁻¹.

Ключевые слова: деревянные клееные конструкции, деревянное домостроение, теплопроводность, методы определения теплопроводности

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ и администрации Костромской области в рамках научного проекта № 22-29-20267.

Для цитирования:

Титунин А.А. Определение коэффициента теплопроводности деревянных клееных конструкций с учетом макроструктуры и плотности древесины // *Умные композиты в строительстве*. 2024. Т. 5, вып. 1. С. 8-18. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v5n1_2024



SCIENTIFIC ARTICLE

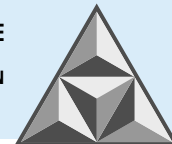
Thermal conductivity coefficient determination of wooden glued structures taking into account macrostructure and wood density

A.A. Titunin

Andrey A. Titunin

Kostroma State University, Kostroma, Russia

a_titunin@ksu.edu.ru



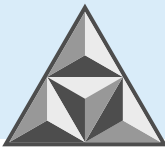
The paper considers calculated and experimental methods of determining the thermal conductivity coefficient of wooden glued structures. The author shows that when designing the thermal protection of building enclosure structures in the form of CLT-panels or wooden glued laminated timber, one uses reference data on the thermal conductivity coefficient for pine or spruce. In practice, the value of the thermal conductivity coefficient may be less than the reference value; as a consequence, the thickness of the building enclosing structures is overestimated. This is not reasonable in terms of material intensity of construction. When considering wood as an anisotropic material, the peculiarities of the macrostructure and differences in the density of individual layers, as well as the wood species, should be taken into account when determining the parameters of structures. Based on the physical description of the thermal conductivity process and the fundamental laws of heat and mass transfer, the author proposes that it is necessary to adjust the results of calculations to the actual values of the thermal conductivity coefficient of multilayer wooden glued structures. The paper presents the results of experimental determination of the thermal conductivity coefficient of pine and aspen wood using steady-state and unsteady heat flow methods. It is shown that, depending on the density and wood species, experimental values of the thermal conductivity coefficient from 0.102 to 0.115 W·m⁻¹·K⁻¹ can be obtained.

Keywords: wooden glued structures, wooden house building, thermal conductivity, methods of thermal conductivity determination

Acknowledgments: The study was financially supported by the Russian Science Foundation and the administration of the Kostroma region within the framework of scientific project No. 22-29-20267.

For citation:

Titunin, A.A. (2024) Thermal conductivity coefficient determination of wooden glued structures taking into account macrostructure and wood density, *Smart Composite in Construction*, 5(1), pp. 8-18 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v5n1_2024

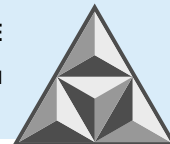


ВВЕДЕНИЕ

В связи с увеличением в России темпов и объемов строительства (в том числе – малоэтажного) растет спрос на новые конструкционные материалы – альтернативы традиционному кирпичу, дереву, бетону и полимерам. Фиксация объемов ввода жилья в 2024 году на уровне 120 млн м² является одной из приоритетных задач для страны. Из них 40 млн м², по данным Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, должно обеспечить деревянное домостроение – как мало-, так и многоэтажное (до семи этажей) [1]. Проектирование и строительство многоэтажных зданий в России, по сравнению с мировой практикой, является инновационным процессом. В основном, встречаются только единичные примеры многоэтажного деревянного домостроения. В качестве примера можно отметить строительство в Новосибирской области многоэтажного 16-квартирного здания с каркасом из LVL-бруса (*Laminated Veneer Lumber* (англ.) – «пиломатериал из слоеного шпона»). Другой пример – строительство и сдача в декабре 2022 года в эксплуатацию в г. Соколе Вологодской области двух четырехэтажных 32-квартирных домов из CLT-панелей (от англ. *Cross-Laminated Timber* – «перекрестно-клееная древесина»). Такие панели уже несколько лет являются предметом исследований российских ученых. Уже доказано, что деревянные клееные конструкции на самом деле не являются столь же пожароопасными, как обычная древесина. Предел огнестойкости у CLT-панелей составляет до 120 мин, что значительно выше, чем у железобетонных или стальных конструкций [2-5]. Многие специалисты отмечают, что клееные конструкции в виде бруса и CLT-панелей могут успешно использоваться не только в малоэтажном строительстве, но и при возведении многоэтажных производственных и гражданских зданий [3, 6-8]. Однако, с точки зрения теплотехнических характеристик деревянных клееных конструкций, до сих пор отсутствует понимание, какое значение коэффициента теплопроводности следует использовать при проектировании теплозащиты зданий и определении толщины ограждающих конструкций.

На сегодняшний день при проектировании теплозащиты пользуются нормами [9], в которых коэффициент теплопроводности λ поперек волокон принимается для конструкций из древесины – сосны и ели, в зависимости от условий эксплуатации зданий, равными 0.14 и 0.18 Вт·м⁻¹·К⁻¹ соответственно. В то же время в ряде источников встречаются значения коэффициента λ от 0.10 [10] до 0.13 Вт·м⁻¹·К⁻¹ [2]. Очевидно, проектировщики должны руководствоваться официально утвержденными нормативными документами. При этом следует учитывать, что, по сравнению с нормативными, пониженные значения коэффициента теплопроводности для различных деревянных клееных конструкций указываются исследователями неслучайно. По сравнению с натуральной, клееная древесина лишена значительной части пороков в виде ложного ядра, крупных сучков, смоляных кармашков и др., которые повышают теплопроводность. Поэтому в ограждающих конструкциях из клееного деревянного бруса, LVL-бруса, CLT-панелей и других аналогичных материалов следует рассматривать следующие виды теплообмена: теплопроводность – молекулярный перенос теплоты, возникающий из-за неоднородности распределения температуры по толщине материала и осуществляемый посредством теплового движения микрочастиц древесины; теплопередача – процесс теплообмена между внутренним и внешним пространством через разделяющую стенку. Явление переноса влаги, возникающее в процессе парообразования и конденсации водяных паров, при влажности древесины $\leq 10\%$ можно не рассматривать.

При теоретическом описании процесса теплопроводности необходим учет макроструктуры древесины. В частности, с увеличением плотности сухой древесины,



обусловленным возрастанием в единице объема доли древесинного вещества, теплопроводность также увеличивается. Это объясняется тем, что древесинное вещество имеет примерно в 20 раз больший коэффициент теплопроводности $\lambda_{д.в.}$, чем воздух. Поскольку микрофибриллы ориентированы преимущественно вдоль оси клеток, теплопроводность в этом направлении в 1.5-2.0 раз выше, чем в поперечном направлении. Увлажнение древесины, то есть замещение содержащегося в ней воздуха водой, имеющей в 23 раза большую теплопроводность, приводит к возрастанию теплопроводности древесины. По мере заполнения полостей клеток водой скорость изменения функции $\lambda = f(W)$ постепенно уменьшается [11-13].

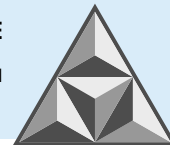
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Целью экспериментальных исследований являлось определение фактического коэффициента теплопроводности деревянных клееных конструкций. Для этого использовали стандартный измеритель теплопроводности ИТП-МГ4 100 (рис. 1), работающий при стационарном тепловом режиме, и образцы, полученные из семислойного деревянного клееного бруса с внутренними ламелями из сосны, наружными – из осины. Принцип работы прибора основан на создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец определенной толщины и направленного перпендикулярно к лицевым граням образца.



Рис. 1. Внешний вид измерителя теплопроводности
Fig. 1. Appearance of the thermal conductivity meter

Образцы композиционного материала для проведения опытов изготавливали в виде прямоугольного параллелепипеда, наибольшие лицевые грани которого имели форму квадрата со стороной 100 мм. Длину и ширину образца измеряли линейкой с погрешностью ≤ 0.5 мм. Толщина измеряемого образца составляла от 3 до 28 мм и контролировалась с помощью штангенциркуля с погрешностью $\leq \pm 0.1$ мм в четырех углах на расстоянии (50 ± 5) мм от вершины угла к центру каждой стороны. За толщину образца принимали среднее арифметическое значение из четырех результатов измерений. Также по стандартной методике определялась плотность образца и его влажность.



На первом этапе эксперимента определяли коэффициент теплопроводности отдельно для каждой породы и образца, выпиленного таким образом, чтобы он имел в средней части клеевой шов. Определение для образцов осуществляли трижды; средние арифметические значения заносили в табл. 1.

Таблица 1. Результаты лабораторных испытаний по определению коэффициента теплопроводности при стационарном тепловом потоке

Table 1. Results of laboratory tests to determine the thermal conductivity coefficient at steady-state heat flux

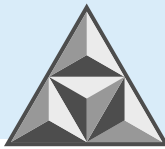
Порода	Толщина образца, мм	Плотность, г·см ⁻³	Среднее арифметическое значение коэффициента теплопроводности, Вт·м ⁻¹ ·К ⁻¹	Среднее квадратическое отклонение результатов опытов	Относительное отклонение от справочных данных, % (для условий эксплуатации Б)
Сосна	20.3	0.379	0.105	0.003	41.67
Осина	20.2	0.450	0.115	0.001	36.11
Сосна + осина	20.0	0.423	0.109	0.002	39.44

На втором этапе методом теплового зонда (нестационарного теплового потока) определяли коэффициент теплопроводности семислойного клееного бруса с толщиной ламелей 20 мм (с наружными ламелями из осины, внутренними – из сосны). При этом зонд в боковой поверхности бруса устанавливали перпендикулярно направлению волокон, с торца бруса – в направлении вдоль волокон (рис. 2).



Рис. 2. Измерение коэффициента теплопроводности цилиндрическим зондом
Fig. 2. Measurement of the thermal conductivity coefficient with a cylindrical probe

Средние арифметические значения коэффициента теплопроводности заносили в табл. 2. Согласно инструкции [14], перед началом каждого опыта учитывали значение удельной теплоемкости древесины и плотность материала. В нашем случае удельная теплоемкость принималась из справочной литературы [15] и составляла 2.1 кДж·кг⁻¹·К⁻¹.



РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе результатов определения коэффициента теплопроводности, приведенных в табл. 1, видно, что наименьшее значение коэффициента $\lambda = 0.105 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ соответствует образцам из сосновой древесины плотностью $\rho = 0.379 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$, а наибольшее $\lambda = 0.115 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ – образцам из осиновой древесины плотностью $\rho = 0.450 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$. По полученным значениям коэффициента теплопроводности выполнен расчет эквивалентного коэффициента $\lambda_{\text{ЭКВ}}$ для образца, склеенного из сосны и осины, с использованием известной формулы [9]:

$$\lambda_{\text{ЭКВ}} = \frac{\sum \delta_i}{\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}},$$

где δ_i – толщина i -слоя материала, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности i -слоя материала, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$;

i – число слоев.

$$\lambda_{\text{ЭКВ}} = \frac{0.02 + 0.02}{\frac{0.01}{0.105} + \frac{0.01}{0.115}} = 0.109 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}.$$

Затем экспериментально определяли коэффициент теплопроводности для образца, склеенного из сосны и осины с общей плотностью $\rho = 0.423 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$. По результатам дублированных опытов получено значение коэффициента теплопроводности $\lambda = 0.109 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$, которое не отличается от расчетного. Близкие по значениям результаты коэффициента теплопроводности многослойных клееных конструкций (в частности, для CLT-панелей) приводятся в публикациях Е.А. Трейбакс [2] и В. Падерина [10].

Полученный результат свидетельствует о целесообразности применения расчетного метода определения коэффициента теплопроводности многослойных клееных конструкций с использованием результатов экспериментальной проверки фактического коэффициента теплопроводности древесины отдельных слоев. В условиях производства такие опыты можно проводить для партии заготовок, отбирая образцы с учетом различной макроструктуры и плотности. Для осиновой древесины, более однородной по макроструктуре, среднее квадратическое отклонение оказалось минимальным (0.001). Наличие в составе годовичных слоев сосны ярко выраженных зон ранней и поздней древесины, отличающихся как по строению, так и по плотности, привело к большому разбросу значений коэффициента теплопроводности (среднее квадратическое отклонение составило 0.003). Поэтому в ходе экспериментальной проверки тепловых свойств хвойной древесины число дублированных опытов следует увеличить.

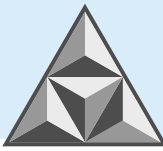
При сравнении значений коэффициента теплопроводности, приведенных в справочной литературе и определенных экспериментально, выявлено их относительное отклонение в пределах 36.11...41.67%. Этот факт указывает на необходимость проведения контрольных измерений коэффициента теплопроводности во избежание перерасхода материалов при устройстве теплоизоляции ограждающих конструкций.

На втором этапе исследований при определении коэффициента теплопроводности методом цилиндрического зонда получены результаты, представленные в табл. 2.

Таблица 2. Результаты лабораторных испытаний по определению коэффициента теплопроводности методом цилиндрического зонда

Table 2. Results of laboratory tests on determination of thermal conductivity coefficient by cylindrical probe method

Положение зонда относительно направления волокон древесины	Среднее арифметическое значение коэффициента теплопроводности, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$	Среднее квадратическое отклонение результатов опытов	Отклонение значений λ , полученных экспериментально, от нормативных, %
Вдоль	0.118	0.004	34.44
Поперек	0.212	0.006	7.82



Из табл. 2 видно, что при установке цилиндрического зонда в боковой поверхности клееного бруса перпендикулярно направлению волокон древесины значение коэффициента теплопроводности получается выше, чем при расположении зонда вдоль волокон, что полностью согласуется с фундаментальными положениями в области переноса тепла в материалах неоднородной структуры [11-13]. В древесине как анизотропном материале содержится большое количество макроэлементов, ориентированных в продольном направлении. При влажности $(10 \pm 2)\%$ в древесине присутствует только связанная влага, находящаяся внутри клеточных стенок, что способствует лучшему переносу тепла в продольном направлении. Полости ранних и поздних трахеид у хвойных, волокон либриформа и сосудов у лиственных пород древесины в воздушно-сухом состоянии заполнены воздухом, который имеет коэффициент теплопроводности $\lambda = 0.0259 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$. В результате общий коэффициент теплопроводности древесины поперек волокон оказывается ниже, чем вдоль волокон.

В ходе опытов установлено, что при расположении цилиндрического зонда вдоль волокон (создаваемый поверхностью тепловой поток направлен преимущественно в поперечном направлении) относительное отклонение составило 34.44%. При расположении зонда в боковой поверхности бруса, когда тепловой поток проходит преимущественно вдоль направления древесных волокон, относительное отклонение составило 7.82%. Оба значения коэффициента теплопроводности многослойного клееного бруса, полученные экспериментальным путем, оказались ниже значений, рекомендуемых для выполнения теплотехнических расчетов при проектировании теплозащиты зданий.

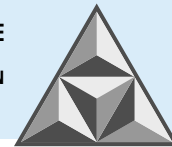
С научной и практической точки зрения, результаты настоящей работы служат основой для проведения дальнейших исследований теплопроводности многослойных клееных конструкций и уточнения справочных значений коэффициента теплопроводности.

ВЫВОДЫ

1. Экспериментальные значения коэффициента теплопроводности многослойных деревянных клееных конструкций (от 0.102 до $0.115 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$) оказались ниже справочных, что подтверждает хорошие теплоизоляционные свойства материалов для их изготовления. Данные для чистых образцов древесины могут быть использованы для получения расчетного коэффициента теплопроводности клееных конструкций, а также подтверждают возможность корректировки результатов теплотехнических расчетов при проектировании теплозащиты зданий (в части снижения толщины ограждающих конструкций). Это положительно скажется на материалоемкости современного деревянного домостроения без ухудшения показателей энергоэффективности зданий.

2. При определении коэффициента теплопроводности многослойных деревянных клееных конструкций методом стационарного теплового потока в процессе отбора образцов рекомендуется учитывать их породный состав и плотность, а также разброс показателей макроструктуры древесины.

3. Для оценки фактического коэффициента теплопроводности ограждающих конструкций в виде CLT-панелей или деревянного клееного бруса зонд целесообразно располагать вдоль волокон древесины, что обеспечивает более полное соответствие реальным условиям теплопереноса в конструкциях в процессе их эксплуатации.



СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. В России будет обеспечено широкое внедрение многоэтажного деревянного домостроения // *Минстрой России*: [сайт]. 2022. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/v-rossii-budet-obespecheno-shirokoe-vnedrenie-mnogoetazhnogo-derevyannogo-domostroeniya/> (дата обращения 10.10.2023).
2. **Трейбак Е.А.** Использование уникальных свойств клееных деревянных панелей CLT в строительстве общественных зданий // *Инновации в науке*. 2017. № 10 (71). С. 68-69.
3. **Леонович О.К., Короб А.Ю.** Перспективные направления в строительстве деревянных малоэтажных зданий // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов*. 2022. № 1 (252). С. 188-198.
4. Каркасные дома. Виды. Плюсы и минусы каркасных домов. URL: <https://www.svojidoma.ru/karkasnye-doma-vidy-plyusy-i-minusy-karkasnykh-domov/> (дата обращения: 15.11.2023).
5. **Волков Р.** Каркасная технология строительства домов: виды домостроения, преимущества и недостатки, фото. URL: <https://m-strana.ru/articles/karkasnoe-domostroeniepreimushchestva-i-needostatki/> дата обращения: 15.11.2023).
6. **Ковальчук Л.М.** Технология изготовления и долговечность деревянных конструкций // *Известия вузов. Архитектура и строительство*. 1988. № 8. С. 22-30.
7. **Варфоломеев Ю., Роальдсет Е.** Разработка экспериментальной модели деревянного модульного дома для севера России // *Устойчивые энергетические решения для Крайнего Севера*. Архангельск, 2011. С. 87-89.
8. **Штембах А.** Современные технологии домостроения с применением конструкций из древесины // *ЛПК Сибири*. 2017. № 3. URL: <https://lpk-sibiri.ru/wooden-construction/sovremennye-tehnologii-domostroeniya-s-primeneniem-konstruktsij-iz-drevesiny> (дата обращения: 10.10.2021).
9. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: Минрегион России, 2012. 95 с.
10. **Падерин В.** Режущие инструменты и оборудование для обработки CLT // *ЛесПромИнформ*. 2021. № 6 (160). URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=6047> (дата обращения 12.10.2023).
11. **Богословский В.Н.** Тепловой режим здания. М.: Стройиздат, 1979. 248 с.
12. **Чудинов Б.С.** Теория тепловой обработки. М.: Наука, 1968. 255 с.
13. **Федосов С.В., Котлов В.Г., Алоян Р.М., Бочков М.В., Иванова М.А.** Методика экспериментального исследования теплопроводных характеристик волокнистых и древесно-волокнистых материалов // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2016. № 5 (365). С. 90-93.
14. Измеритель теплопроводности ИТП-МГ4. Руководство по эксплуатации. Технические характеристики. Екатеринбург, 1998. 24 с.
15. **Боровиков А.М., Уголев Б.Н.** Справочник по древесине: справочник. М.: Лесная промышленность, 1989. 296 с.

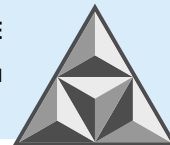
Поступила в редакцию 11.12.2023

Одобрена после рецензирования 01.02.2024

Принята к опубликованию 06.03.2024

REFERENCES

1. Ministry of Construction of Russia. (2022) *Russia will ensure widespread introduction of multi-storey wooden house building* [online]. Available at: <https://minstroyrf.gov.ru/press/v-rossii-budet-obespecheno-shirokoe-vnedrenie-mnogoetazhnogo-derevyannogo-domostroeniya/> (accessed 10.10.2023) (in Russian).
2. **Treybaks, E.A.** (2017) Utilization of unique properties of glued wood CLT panels in the construction of public buildings, *Innovatcii v nauke*, 10(71), pp. 68-69 (in Russian).
3. **Leonovich, O.K. & Korob, A.Yu.** (2022) Promising directions in the construction of wooden low-rise buildings, *Trudy BGTU. Ser. 1, Lesnoe khozyajstvo, prirodopol'zovanie i pererabotka vozobnovlyaemykh resursov*, 1(252), pp. 188-198 (in Russian).

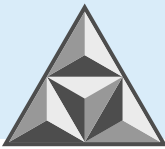


4. *Frame houses. Kinds. Pros and cons of frame houses* [online]. Available at: <https://www.svojidoma.ru/karkasnye-doma-vidy-plyusy-i-minusy-karkasnykh-domov> (accessed 15.11.2023) (in Russian).
5. **Volkov, R.** (2023) *Frame technology of house construction: types of housing construction, advantages and disadvantages, photo* [online]. Available at: <https://m-strana.ru/articles/karkasnoe-domostroenie-preimushchestva-inedostatki> (accessed 15.11.2023) (in Russian).
6. **Kovalchuk, L.M.** (1988) Manufacturing technology and durability of wooden structures, *Izvestiya vuzov. Arkhitektura i stroitel'stvo*, 8, pp. 22–30 (in Russian).
7. **Varfolomeev, Yu. & Roaldset, E.** (2011) Development of an experimental model of a wooden modular house for the north of Russia, *Ustoychivyye energeticheskiye resheniya dlya Kraynego Severa*. Arkhangelsk, pp. 87–89 (in Russian).
8. **Shtembakh, A.** (2017) Modern technologies of housing construction with the use of wood structures, *LPK Sibiri*, 3 [online]. Available at: <https://lpk-sibiri.ru/wooden-construction/sovremennyye-tehnologii-domostroeniya-s-primeneniem-konstruktsij-iz-drevesiny/> (accessed 10.10.2021) (in Russian).
9. SP 50.13330.2012 Thermal protection of buildings. Updated edition of SNiP 23-02-2003. Moscow: Ministry of Regional Development of Russia (in Russian).
10. **Paderin, V.** (2021) Cutting tools and equipment for CLT processing, *LesPromInform*, 6 [online]. Available at: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=6047> (accessed 10.10.2021) (in Russian).
11. **Bogoslovskiy, V.N.** (1979) *Thermal regime of the building*. Moscow: Stroyizdat (in Russian).
12. **Chudinov, B.S.** (1968) *Theory of thermal processing*. Moscow: Nauka (in Russian).
13. **Fedosov, S.V., Kotlov, V.G., Aloyan, R.M., Bochkov, M.V. & Ivanova, M.A.** (2016) Methodology of the experimental study of the mass-conducting characteristics of fibre and wood-fibre materials, *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, 5(365), pp. 90–93 (in Russian)
14. Thermal conductivity meter ITP-MG4. Operation manual. Technical specifications (1998). Ekaterinburg (in Russian).
15. **Borovikov, A.M. & Ugolev, B.N.** (1989) Reference book on wood: reference book. Moscow: Lesnaya Promyshlennost' (in Russian).

Received 11.12.2023

Approved after reviewing 01.02.2024

Accepted 06.03.2024



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.115

Влияние древесного наполнителя и магнезита на прочность композиционного материала

А.А. Сапунова^{1,*}, А.А. Титунин^{1,2}

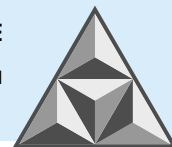
Анастасия Александровна Сапунова

¹Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Кострома, Российская Федерация
*krilovaaa@yandex.ru**

Андрей Александрович Титунин

¹Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Кострома, Российская Федерация

²Костромской государственный университет, Кострома, Российская Федерация
a_titunin@ksu.edu.ru

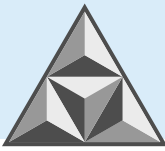


В решении стратегических задач развития строительного комплекса важную роль играют исследования в области создания новых композиционных материалов, в том числе на основе магниезиального вяжущего и древесной стружки – отходов деревообрабатывающих производств. Различия в форме, размерах и фракционном составе стружки и щепы, которая используется при изготовлении материала-аналога (арболита), определяют необходимость обоснования состава основных компонентов смеси. В ходе экспериментальных исследований установлена взаимосвязь прочностных свойств древесно-минерального композита (ДМК) с долей древесного наполнителя в структуре материала. Выявлена особенность изменения прочности ДМК на сжатие и изгиб при увеличении массового содержания древесной стружки. С учетом интенсивности изменения показателей прочностных свойств, при разработке рационального состава ДМК рекомендовано поддерживать отношение древесная стружка : магниезиальное вяжущее на уровне 20 : 80.

Ключевые слова: композиционный материал, магнезит, древесные отходы, прочность при изгибе, прочность при сжатии, состав композита

Для цитирования:

Сапунова А.А., Титунин А.А. Влияние древесного наполнителя и магнезита на прочность композиционного материала // *Умные композиты в строительстве*. 2024. Т. 5, вып. 1. С. 19-30.
URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v5n1_2024



SCIENTIFIC ARTICLE

Influence of the share of wood filler and magnesite on the strength of composite

A.A. Sapunova^{1,*}, A.A. Titunin^{1,2}

Anastasiya A. Sapunova

¹Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma, Russia

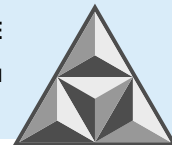
*krilovaaa@yandex.ru**

Andrey A. Titunin

¹Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma, Russia

²Kostroma State University, Kostroma, Russia

a_titunin@ksu.edu.ru

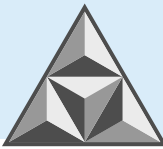


Research in the field of creating new composite materials, including those based on magnesia binder and wood shavings – wood raw material - plays an important role in solving strategic tasks of construction complex development. Differences in the shape, size, and fractional composition of chips and wood shavings, which is used in the manufacture of the material-analogue (arbolite), determine the need to substantiate the composition of mixture main components. According the research, we obtained the relationship between the strength properties of wood-mineral composite (WMC) and the proportion of wood filler in the structure of the material. The study revealed relation of change in the compressive and bending strength indices of WMC with increasing mass content of wood shavings. It is recommended to maintain the ratio of wood shaving : magnesia binder at the level of 20 : 80, taking into account the intensity of strength properties change in the development of rational WMC composition.

Keywords: composite, magnesite, wood waste, flexural strength, compressive strength, composite structure

For citation:

Sapunova, A.A. & Titunin, A.A. (2024) Influence of the share of wood filler and magnesite on the strength of composite, *Smart Composite in Construction*, 5(1), pp. 19-30 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v5n1_2024



ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние строительного комплекса России характеризуется увеличением темпов и объемов малоэтажного строительства. За 2023 год было введено 86 млн м² жилья, 60% из которых составляет малоэтажное строительство [1]. На смену традиционным строительным материалам приходят новые, которые позволяют снизить затраты и сроки строительства за счет своих уникальных свойств.

Одним из таких материалов являются композиты. В целом, мировой рынок композитов оценивается на сегодняшний день в 80 млрд долл. Лидерами этого рынка являются Китай – 32% (25.6 млрд долл.) и США – 26% (21.6 млрд долл.). Сегмент России составляет 1% (1.1 млрд долл.). Основными отраслями-потребителями при этом являются строительство (35%) и гражданское авиа- и судостроение (19%) [2].

Среди многообразия современных материалов особого внимания заслуживают композиты на основе древесного наполнителя и минерального вяжущего. В России и за рубежом накоплен достаточный опыт получения и применения таких композиционных материалов, как арболит, фибролит и различные виды легких бетонов на древесном наполнителе. Они успешно применяются для внутренних перегородок и наружных ограждающих конструкций при каркасном строительстве, также возможно их применение в качестве несущих конструкций при одноэтажном строительстве [3-5].

В отличие от известного аналога – арболита, в исследуемом композиционном материале конструкционно-теплоизоляционного назначения в качестве вяжущего используется магнезиальный цемент, который представляет собой тонкоизмельченный каустический магнезит MgO или каустический доломит MgO·CaCO₃. Его обычно затворяют шестиводным раствором хлористого магния (бишофита MgCl₂·6H₂O). Наполнителем является древесная стружка, образующаяся после строгания заготовок на четырехсторонних станках в производстве деревянных клееных конструкций, клееного профилированного бруса, CLT-панелей и многих других столярно-строительных изделий.

Древесная стружка, с одной стороны, является отходом производства, а с другой стороны – значительным резервом сырьевого обеспечения производства древесно-минеральных композитов (ДМК). Этот резерв во многих регионах России пока используются не более чем на 30% от общего объема [6-8].

Как известно, стружка от четырехсторонних станков по своей форме и фракционному составу существенно отличается от опилок, щепы или дробленки, что оказывает влияние на процесс структурообразования и свойства древесно-минерального композита. В составе древесно-минерального композиционного материала древесные частицы выполняют роль армирующего агента. В процессе структурообразования композита наблюдается возникновение адгезионных связей между древесным наполнителем и вяжущим. Предположительно, с увеличением количества древесных частиц в матрице уменьшается адгезионная связь и, следовательно, прочность.

Одним из условий получения древесно-минерального композита с устойчивыми показателями является стабилизация объема древесного наполнителя. В идеальной модели древесные частицы в матрице имеют равномерное распределение в объеме смеси и ориентированное в горизонтальной плоскости расположение. Расстояние между частицами одинаковое, и вяжущее полностью заполняет пустоты (рис. 1).

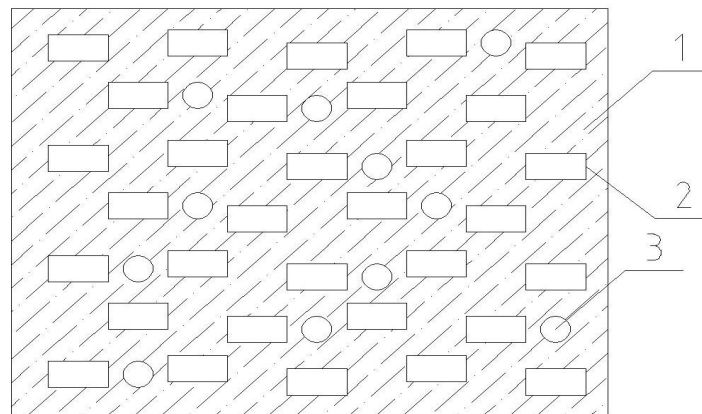
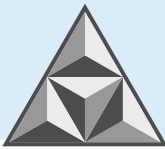


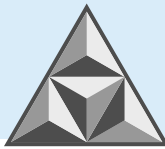
Рис. 1. Структурная модель древесно-минерального композита: 1 – матрица; 2 – древесные частицы; 3 – воздух
Fig. 1. Structural model of wood-mineral composite (WMC): 1 – matrix; 2 – wood particles; 3 – air

Равномерное распределение древесных частиц в матрице достигается за счет качественного перемешивания компонентов. Матрица в древесно-минеральном композите обеспечивает монолитность материала; это один из главных факторов, влияющих на качественные показатели проектируемого композита.

В процессе проектирования древесно-минерального композита особое внимание необходимо уделить физико-механическим процессам, протекающим между древесным наполнителем и магнезиальным вяжущим. Данные процессы являются основополагающими при формировании межфазных связей, влияющих на эксплуатационные характеристики строительного материала. Отечественными [5, 9] и зарубежными [10, 11] учеными установлено, что одним из основных условий, определяющим прочностные свойства композита, является наличие взаимодействия между связующим и частицами наполнителя. Поскольку граница раздела частица-матрица в структуре ДМК является зоной диффузии, фазы матрицы связаны либо химически, либо механически [11-13]. Благодаря наличию межфазной адгезии между частицами и матрицей эта область диффузии больше всего влияет на прочностные свойства композиционных материалов. Взаимодействие магнезиального вяжущего и древесных частиц создает неоднородную систему, образуя на поверхности древесных частиц граничный слой, предопределяющий не характерные для исходных компонентов свойства. Поэтому отношение толщины граничного слоя к толщине общего слоя связующего будет оказывать важное влияние на конечные свойства материала [14].

На основании вышеизложенного физическая картина исследуемого древесно-минерального композита представляет сложное структурное строение материала. Из анализа этой картины видно, что качественные характеристики зависят от отношения количества древесного наполнителя к количеству связующего. Уменьшение граничного слоя между древесными частицами приводит к снижению прочности ДМК.

Из-за различия в насыпной плотности стружки и щепы, а также их формы и размеров расходы компонентов для исследуемого ДМК и арболита, при прочих равных условиях, будут неодинаковыми. В существующей нормативной базе отсутствуют данные о расчете состава композиционных материалов на магнезиальном вяжущем и древесной стружке. Принимая за основу общепринятую методику подбора состава арболитовой смеси [15], авторы провели экспериментальные исследования с целью установления норм расхода компонентов на 1 м³ смеси ДМК в зависимости от соотношения доли древесного заполнителя и магнезиального вяжущего, а также оценки влияния соотношения компонентов на прочностные свойства ДМК.



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В ходе исследований в лабораторных условиях архитектурно-строительного факультета Костромской государственной сельскохозяйственной академии изготавливали образцы ДМК, в состав которых входили: каустический магнезит ПКМ-83, ТУ 2611-001-62571670-2009 АО «Торговый дом «ХИМПЭК». Для затворения использовали: бишофит отечественного производства с содержанием шестиводного хлорида магния ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) 97%; стружка хвойных пород, полученная при строгании древесины с влажностью $(10 \pm 2)\%$; вода. Фракционный состав древесной стружки: фракция 10/5 (доля частиц, просевшихся через сито с отверстиями диаметром 10 мм и оставшихся на сите с диаметром отверстий 5 мм) – 50%; фракция 5/0 (доля частиц, просевшихся через сито с диаметром отверстий 5 мм) – 50%.

С учетом класса древесно-минерального композита на магниальном вяжущем В2,5 (соответствует конструкционному классу арболита), по таблицам СН-549-82. Инструкции по проектированию, изготовлению и применению конструкций и изделий из арболита [15] выбрали максимальный расход компонентов смеси в расчете на 1 м^3 (древесный наполнитель, вяжущее, химическая добавка и вода).

Полученный расчетный расход компонентов на 1 м^3 смеси для трех вариантов соотношения доли древесного наполнителя (Д) влажностью $(10 \pm 2)\%$ и магниального вяжущего (М) при концентрации раствора бишофита 10% представлен в табл. 1.

Таблица 1. Расчетный расход компонентов на 1 м^3 смеси древесно-минерального композита

Table 1. Calculated consumption of components per 1 m^3 of wood-mineral composite (WMC) mixture

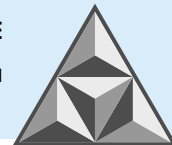
Соотношение компонентов Д:М	Расход компонентов смеси на 1 м^3				
	Заполнитель, кг	Магниальное вяжущее ПКМ-83, кг	Химические добавки: бишофит ХДс (ХДс), кг	Водный раствор химической добавки (ХДс + вода), л	Вода, л
20:80	76.32	288	0.1084	73.8	323.68
35:65	133.56	234			320.44
50:50	381.60	360			306.40

Выполняли пробные замесы и, с учетом выхода смеси, корректировали фактический расход материалов (табл. 2). Для оценки прочностных свойств ДМК готовили образцы в виде балочек размером $40 \times 40 \times 160$ мм. С учетом данных табл. 2, при каждом соотношении Д:М было получено шесть образцов-балочек. Образцы выдерживали в формах в течение 7 сут., извлекали и хранили еще 21 сут. при естественной влажности воздуха внутри помещения.

Таблица 2. Фактический расход компонентов на 1 м^3 смеси древесно-минерального композита

Table 2. Actual consumption of components per 1 m^3 of wood-mineral composite (WMC) mixture

Соотношение компонентов Д:М	Расход компонентов смеси на 1 м^3				
	Заполнитель, кг	Магниальное вяжущее ПКМ-83, кг	Химические добавки: бишофит (ХДс), кг	Водный раствор химической добавки (ХДс + вода), л	Вода, л
20:80	228.52	863.28	0.326	221.04	351.53
35:65	267.58	467.77	0.163	110.74	459.60
50:50	509.21	479.9	0.144	98.54	408.61



Исследование механических свойств ДМК, с учетом размеров и фракционного состава заполнителя, проводили по ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии» в возрасте 28 сут. Испытания образцов на растяжение при изгибе осуществляли на разрывной машине 2166 Р-5 с максимальной нагрузкой 500 кгс (рис. 2).



Рис. 2. Испытания образцов ДМК на установке 2166 Р-5

Fig. 2. Testing of WMC samples on the 2166 R-5 unit

Половинки образцов-балочек были испытаны на сжатие на прессе ПСУ-50 с максимальной нагрузкой 2 т (рис. 3).



Рис. 3. Пресс ПСУ-50 и расположение образца между нажимными пластинками

Fig. 3. PSU-50 press and sample between the pressure plates

Принятая методика определения механических свойств позволила дать предварительную оценку влияния соотношения Д:М на прочностные показатели ДМК.

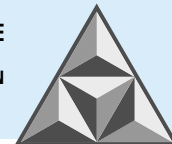
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных нами испытаний образцов-балочек представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты лабораторных испытаний образцов-балочек

Table 3. Results of laboratory tests of beam samples

Состав смеси Д:М	Средняя плотность образцов-балочек ρ , кг·м ⁻³	Средняя прочность на сжатие $R_{сж}$, МПа	Средняя прочность на растяжение при изгибе R_{ib} , МПа
20:80	1128	9.76	3.66
35:65	793	0.96	0.74
50:50	750	0.88	0.51



Из табл. 3 видно, что с увеличением доли древесного заполнителя от 20 до 50% средняя плотность образцов уменьшается. Прочность на сжатие оказалась наибольшая у образцов с содержанием древесного заполнителя 20%, а наименьшая – у образцов с содержанием заполнителя 50%. Возможной причиной является существенное увеличение удельной поверхности древесного наполнителя, в результате чего раствора магнетита оказывается недостаточно для создания на поверхности древесных частиц слоя, необходимого для получения прочной структуры композита. При этом установлено, что с увеличением доли древесного заполнителя прочность при сжатии снижается примерно на 0.6 МПа на каждый процент древесного заполнителя в диапазоне от 20 до 35%. В дальнейшем с увеличением доли древесного заполнителя на 1% в диапазоне от 35 до 50% прочность при сжатии снижается лишь на 0.01 МПа. Характер влияния доли древесного заполнителя в композите на прочность при изгибе несколько иной: при увеличении доли древесного заполнителя на 1% в диапазоне от 20 до 35% прочность при изгибе снижается на 0.2 МПа, а в диапазоне от 35 до 50% – снижается на 0.02 МПа на каждый 1% увеличения доли древесной стружки. Это объясняется тем, что при приложении любой нагрузки в древесно-минеральном композите возникают внутренние напряжения двух видов: 1 – в самих древесных частицах; 2 – на границе «магнетит-древесина». В любом случае они являются касательными по отношению к поверхности частиц – как в сжатой, так и в растянутой зоне образца. С увеличением доли древесного наполнителя существенно возрастает суммарная удельная поверхность наполнителя. Вследствие этого снижается общее число адгезионных связей между компонентами в структуре композита. Данное явление описывали в своих работах как отечественные, так и зарубежные ученые [11–14].

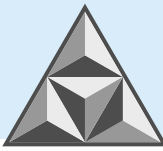
Влияние доли древесной стружки на структуру и прочность композита позволяет оценить внешний вид образцов после испытаний (рис. 4).



Рис. 4. Внешний вид образцов балочек после испытания на растяжение при изгибе:
а – доля опилок 20%; б – доля опилок 35%

Fig. 4. Appearance of beam specimens after bending tensile test:
a – the proportion of sawdust 20%; b – the proportion of sawdust 35%

С увеличением доли опилок в композите меняется характер излома образцов: при доле 20% излом более гладкий, при содержании опилок в композите 35% излом становится раковистым, а структура композита – более рыхлой, связи между древесными частицами и магнетитом носят фрагментарный характер. Вследствие этого при действии нагрузки связи между частицами наполнителя разрушаются быстрее, что объясняет снижение прочности образцов при испытаниях на изгиб. Можно предположить, что для получения конструкционно-теплоизоляционного композита процентное соотношение древесного



наполнителя в составе смеси по отношению к магнезиту должно быть не более 20%. Данное положение вполне согласуется с результатами, приведенными в работах проф. Халил Тургут Шахина [4] и проф. И.Х. Наназшвили [5]. Благодаря применению магнезиального вяжущего, которое обеспечивает при рекомендуемой доле древесного наполнителя создание прочных механических и химических связей между частицами наполнителя, в ходе исследований получены более высокие прочностные показатели композита, чем при использовании цемента. Как указывают многие исследователи, необходимо учитывать совместимость вяжущего и древесного наполнителя при подборе состава композиционных материалов, особенно с учетом вариабельности фракционного состава наполнителя. В частности, теоретические представления о наличии взаимосвязи прочностных свойств готового материала и соотношения «заполнитель : вяжущее», описанные в работе F.C. Jorge, C. Pereira, J.M.F. Ferreira [11], полностью согласуются с результатами исследований российских ученых [5, 9], в том числе – авторами настоящего исследования.

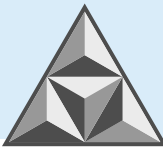
ВЫВОДЫ

Экспериментальным путем определен расход основных компонентов смеси древесно-минерального композита, отличающийся от расчетного значения в общепринятой инструкции для материала-аналога (арболита). Он оказался выше, что объясняется различием размеров частиц, а также фракционных составов древесной стружки и щепы.

При получении строительного материала конструкционно-теплоизоляционного назначения с требуемой прочностью на основе магнезиального вяжущего и древесной стружки рекомендуется не превышать долю древесного наполнителя 20%. Определение рационального состава смеси древесно-минерального композита требует проведения дополнительного каскада исследований по изучению влияния наполнителя на морозостойкость, теплопроводность, водопоглощение и другие эксплуатационные характеристики готового материала.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. В России будет обеспечено широкое внедрение многоэтажного деревянного домостроения // Минстрой России: [сайт]. 2022. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/v-rossii-budet-obespecheno-shirokoe-vnedrenie-mnogoetazhnogo-derevyannogo-domostroeniya/> (дата обращения 11.01.2024)
2. Непростые времена для композитной отрасли или еще один шанс? // *Композитный мир*. 2022. № 4(101). С. 20-28. URL: <https://tech-journals.ru/journals/tech/9669-kompozitnyy-mir-4-2022> (дата обращения 9.01.2024).
3. **Ammari M.S., Belhadj B., Bederina M., Ferhat A., Quéneudec M.** Contribution of hybrid fibers on the improvement of sand concrete properties: Barley straws treated with hot water and steel fibers // *Construction and building materials*. 2020. Vol. 233, no. 8. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117374.
4. **Halil T.S., Yasemin S.** Mineral-bonded wood composites: An alternative building materials // *Engineered Wood Products for Construction*. 2021. 12 August. DOI: 10.5772/intechopen.98988. URL: <https://www.intechopen.com/online-first/78047>
5. **Наназшвили И.Х.** Строительные материалы из древесноцементной композиции. Санкт-Петербург: Стройиздат, 1990. 415 с.
6. Прогноз научно-технологического развития России: 2030. Москва: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2014. 244 с.
7. **Сеничев В.П., Осипов Ю.Р.** Сырьевой потенциал Вологодской области для организации производства древесно-цементных композиционных материалов // *Актуальные проблемы развития лесного комплекса: мат. междунар. науч.-практ. конф. (Вологда, 02–03 декабря 2014 года)*. Вологда: Изд-во Вологод. гос. ун-та. 2015. С. 126–128.



8. **Титунин А.А., Зайцева К.В.** Проектирование и производство строительных материалов из древесины. Комплексный подход. Кострома: Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2009. 185 с.
9. **Звездина Е.В., Трескова Н.В.** Повышение водостойкости теплоизоляционных изделий на основе каустического доломита // *Научно-практический интернет-журнал "Наука. Строительство. Образование"*. 2011. № 1. С. 13. URL: <http://nso-journal.ru/public/journals/1/issues/2011/01/13.pdf> (дата обращения: 11.01.2024).
10. **Aigbomian E.P., Mizi F.** Development of wood-crete from hardwood and softwood sawdust // *The Open Construction and Building Technology Journal*. 2013. Vol. 7. P. 108–117. DOI: 10.2174/1874836801307010108.
11. **Jorge F.C., Pereira C., Ferreira J.** Wood-cement composites: a review // *European Journal of Wood and Wood Products*. 2004. Vol. 62, no. 50. P. 370–377. DOI: 10.1007/s00107-004-0501-2.
12. **Jami T., Karade S.R., Sing L.P.** A Review of the Properties of Hemp Concrete for Green Building Applications // *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 239. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117852.
13. **Raheem A.A., Ikotun B.D.** Incorporation of Agricultural Residues as Partial Substitution for Cement in Concrete and Mortar – A Review // *Journal of Building Engineering*. 2020. Vol. 31, no. 5. DOI: 10.1016/j.jobe.2020.101428
14. **Аминов Л.И., Сафин Р.Г.** Расчет средних толщин прослоек связующего в композиционных материалах // *Мат. междунар. науч.-технич. конф. «Композиционные материалы в авиационной и народном хозяйстве»*, Казань, 2001. Казань: Изд-во Казан. гос. тех. ун-та. С. 32-39.
15. СН 549-82. Инструкция по проектированию, изготовлению и применению конструкций и изделий из арболита // *Госстрой СССР*. М.: Стройиздат, 1983. 47 с.

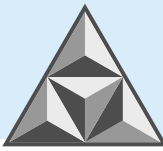
Поступила в редакцию 30.01.2024

Одобрена после рецензирования 16.02.2024

Принята к опубликованию 06.03.2024

REFERENCES

1. Minstroy RF. (2022) In Russia will be ensured the wide introduction of multi-storey wooden house building [online]. Available at: <https://minstroyrf.gov.ru/press/v-rossii-budet-obespecheno-shirokoe-vnedrenie-mnogoetazhnogo-derevyannogo-domostroeniya/> (accessed on 11.01.2024) (in Russian).
2. Difficult times for the composite industry or one more chance? (2022) *Kompozitnyj mir*, 4(101), pp. 20-28 [online]. Available at: <https://tech-journals.ru/journals/tech/9669-kompozitnyy-mir-4-2022.html> (accessed on 9.01.2024) (in Russian).
3. **Ammari, M.S., Belhadj, B., Bederina, M., Ferhat, A. & Quéneudec, M.** (2020) Contribution of hybrid fibers on the improvement of sand concrete properties: Barley straws treated with hot water and steel fibers, *Construction and Building Materials*, 233(8). DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117374.
4. **Halil, T.S. & Yasemin, S.** (2021) Mineral-Bonded Wood Composites: An Alternative Building Materials, *Engineered Wood Products for Construction*, 12 August [online]. Available at: <https://www.intechopen.com/online-first/78047>. DOI: 10.5772/intechopen.98988.
5. **Nanazashvili, I.Kh.** (1990) *Building materials from wood-cement composition*. St. Petersburg: Stroyizdat (in Russian).
6. *Forecast of scientific and technological development of Russia: 2030.* (2014) Moscow: Nacional. issled. un-t «Vyssh. shk. ekonomiki» (in Russian).
7. **Senichev, V.P. & Osipov, Y.R.** (2015) Raw material potential of the Vologda Oblast to organize the production of wood-cement composite materials, *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: mat. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Vologda, 02–03 dekabrya 2014 goda)*. Vologda: Izd-vo Vologod. gos. un-та, pp. 126-128 (in Russian).
8. **Titunin, A.A. & Zaitseva, K.V.** (2009) *Design and production of construction materials from wood. Complex approach*. Kostroma: Izd-vo Kostrom. gos. tekhnol. un-та (in Russian).
9. **Zvezdina, E.V. & Treskova, N.V.** (2011) Water resistance increase of the heat-insulating products on the basis of caustic dolomite, *Nauchno-prakticheskij internet-zhurnal "Наука. Stroitel'stvo. Obrazovanie"*, (1) [online]. Available at: <http://nso-journal.ru/public/journals/1/issues/2011/01/13.pdf> (accessed 11.01.2024) (in Russian).
10. **Aigbomian, E.P. & Mizi, F.** (2013) Development of Wood-Crete from Hardwood and Softwood Sawdust, *The Open Construction and Building Technology Journal*, (7), pp. 108-117. DOI: 10.2174/1874836801307010108.

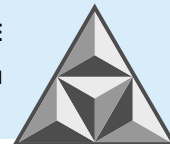


11. **Jorge, F.C., Pereira, C. & Ferreira, J.** (2004) Wood-cement composites: a review, *European Journal of Wood and Wood Products*, 62(50), pp. 370–377. DOI: 10.1007/s00107-004-0501-2.
12. **Jami, T., Karade, S.R. & Sing, L.P.** (2019) A Review of the Properties of Hemp concrete for green building applications, *Journal of Cleaner Production*, 239. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117852.
13. **Raheem, A.A. & Ikotun, B.D.** (2020) Incorporation of agricultural residues as partial substitution for cement in concrete and mortar – A review, *Journal of Building Engineering*, 31(5). DOI: 10.1016/j.jobbe.2020.101428.
14. **Aminov, L.I. & Safin, R.G.** (2001) Calculation of average thicknesses of binder layers in composite materials, *Mat. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Kompozitsionnye materialy v aviastroenii i narodnom hozyajstve»*, Kazan', 2001. Kazan': Izd-vo Kazan. gos. tekhn. un-ta, pp. 32-39 (in Russian).
15. SN 549-82. Instruction for design, manufacture and application of structures and products from arbolite. (1983) *Gostroy of the USSR*. Moscow: Stroyizdat (in Russian).

Received 30.01.2024

Approved after reviewing 16.02.2024

Accepted 06.03.2024



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.731.85

Проблемы эффективного применения технологии холодного ресайклинга дорожных одежд

**Е.С. Буданова^{1,*}, В.А. Ярмолинский²,
А.С. Борисов¹, Н.С. Кучинов¹**

Екатерина Сергеевна Буданова

¹Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация,

²Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва,
Российская Федерация

*budanovaes@ystu.ru**

Владимир Аполенарьевич Ярмолинский

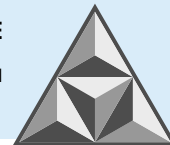
²Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва,
Российская Федерация

1057289@madiasu.onmicrosoft.com

Александр Сергеевич Борисов, Никита Сергеевич Кучинов

¹Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация

Borisovas20011@mail.ru, nikitakuchinov28@gmail.com

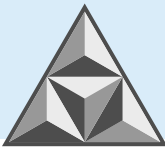


Технология холодного ресайклинга является альтернативой традиционным методам ремонта автомобильных дорог. Изучаются проблемы эффективного применения указанной технологии, связанные с несовершенством регламентирующих стандартов. Важным аспектом эффективности применения холодного ресайклинга является получение однородных и прочных конструктивных слоев дорожной одежды. Физико-механические свойства дисперсных материалов находятся в корреляции с гранулометрическим составом. В органоминеральных смесях большое влияние на агрегатный состав оказывает асфальтовый гранулят, характеризующийся малым содержанием пылеватых фракций. Требования действующих нормативных документов на холодную регенерацию не учитывают данный факт, что приводит к созданию смесей, не оптимальных по составу, и, следовательно, снижению эффективности применяемой технологии. Результаты исследований органоминеральных смесей позволяют оптимизировать их зерновой состав и повысить физико-механические свойства несущих оснований автомобильных дорог.

Ключевые слова: автомобильные дороги, дорожная одежда, холодный ресайклинг, асфальтогранулобетонные и органоминеральные смеси, гранулометрический состав, прочность

Для цитирования:

Буданова Е.С., Яролинский В.А., Борисов А.С., Кучинов Н.С. Проблемы эффективного применения технологии холодного ресайклинга дорожных одежд // *Умные композиты в строительстве*. 2024. Т. 5, вып. 1. С. 31-42. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v5n1_2024



SCIENTIFIC ARTICLE

Challenges of effective use of cold-in-place recycling technology of road pavements

E.S. Budanova^{1,*}, V.A. Yarmolinskiy², A.S. Borisov¹, N.S. Kuchinov¹

Ekaterina S. Budanova

¹Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

²Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia

*budanovaes@ystu.ru **

Vladimir A. Yarmolinskiy

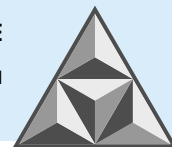
²Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

1057289@madiasu.onmicrosoft.com

Aleksandr S. Borisov, Nikita S. Kuchinov

¹Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

Borisovas20011@mail.ru, nikitakuchinov28@gmail.com

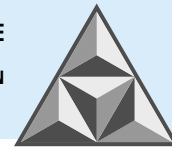


The technology of Cold-in-Place recycling is an alternative to the traditional methods of highway reconditioning. The research problems are the issues of effective application of this technology due to the imperfection of the regulatory standards. An important aspect of the effectiveness of cold recycling is obtaining homogeneous and durable structural layers of road pavement. Physical and mechanical properties of dispersed materials correlate with the particle size distribution. Asphalt granulat with minimum content of dusty fractions has a great influence on the aggregate composition in organomineral mixtures. The requirements of the current normative documents for cold regeneration do not take this fact into account. It causes composing of mixtures with suboptimal composition, and, consequently, a decrease in the efficiency of the applied technology. The results of the conducted researches of organomineral mixtures allow ones' to optimize their grain composition, and to increase physical and mechanical properties of highways' basecourses.

Keywords: highways, pavement, Cold-in-Place recycling, asphalt granular concrete and organomineral mixtures, grain size distribution, strength

For citation:

Budanova E.S., Yarmolinskiy V.A., Borisov A.S. & Kuchinov, N.S. Challenges of effective use of Cold-in-Place recycling technology of road pavements, *Smart Composite in Construction*, 5(1), pp. 31-42 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v5n1_2024



ВВЕДЕНИЕ

Автомобильные дороги играют важнейшую роль в экономическом развитии регионов страны. Себестоимость грузо- и пассажироперевозок напрямую зависит от состояния путей сообщения. Темпы строительства новых участков автомобильных дорог несопоставимы с уровнем автомобилизации населения, что способствует формированию на дорогах тяжелых условий эксплуатации. Существующая автодорожная сеть РФ представлена автомобильными дорогами федерального, регионального, муниципального и местного значения, имеющими преимущественно асфальтобетонное покрытие. Качественное состояние дорог, удовлетворяющих требованиям нормативных документов, не превышает 50%. В отдельных регионах, характеризующихся сезонным переувлажнением, показатель качества автомобильных дорог падает до 30% [1].

В настоящее время в РФ реализуется федеральная программа «Безопасные качественные автомобильные дороги», направленная на восстановление автомобильных дорог в 84 регионах страны. Реализация подобных программ за счет привлечения дополнительного финансирования является актуальной для существующей сети региональных и межмуниципальных дорог.

При выборе экономичных и эффективных методов ремонта автомобильных дорог положительно зарекомендовала себя технология холодного ресайклинга дорожных одежд [2-5]. Выполнение восстановительных работ за счет вторичной переработки конструктивных слоев дорожных одежд без дополнительного нагрева материала отвечает принципам устойчивого развития и является важным этапом реализации государственной программы «Применение вторичных ресурсов, вторичного сырья из отходов в сфере строительства и жилищно-коммунального хозяйства на 2022-2030 годы» [6].

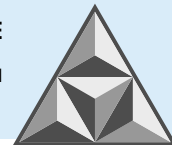
Работы по холодному ресайклингу осуществляют способами «в установке» (ХРУ) и/или «на дороге» (ХРМ). Независимо от выбранных способов, все технологические решения должны быть подчинены общей цели – достижению оптимальных структур получаемых материалов, обеспечивающих их долговечность при минимальных ресурсных затратах. Рациональный подбор состава получаемых материалов особенно важен для условий избыточного увлажнения [1].

В Российской Федерации технологию холодного ресайклинга регламентирует ряд стандартов, основными из которых являются ОДМ 218.6.1.005-2021 «Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог методом холодной регенерации» и ГОСТ Р 70197.1(2,3)-2022 «Смеси органоминеральные холодные с использованием вторичного асфальтобетона».

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

При смешении материалов по технологии холодного ресайклинга, в зависимости от состояния конструктивных слоев существующей дорожной одежды, в частности, толщины асфальтобетонного покрытия, возможно получение асфальтогранулобетонной (АГБС) и/или органоминеральной смеси (ОМС). В настоящее время между АГБС и ОМС отсутствуют конкретные различия.

Согласно ОДМ 218.6.1.005-2021, к АГБС относят материал, содержащий асфальтогранулят в количестве $\geq 60\%$ от общей массы, при этом требование распространяется только на изготовление смеси в стационарных установках (ХРУ). Таким образом, количество асфальтогранулята в смеси, полученной методом ХРМ, не регламентируется.



По ГОСТ Р 70197.1-2022, к ОМС относят смеси, содержащие асфальтовый гранулят в количестве $\geq 15\%$ от общей массы, при этом не регламентируется верхний предел по массе.

Помимо количества асфальтового гранулята, АГБС и ОМС имеют незначительные различия в требованиях к агрегатному составу смеси. На рис. 1 представлены области, ограниченные предельными кривыми для зернового состава смесей АГБС и ОМС с номинально максимальным размером фракции 16.0 мм.

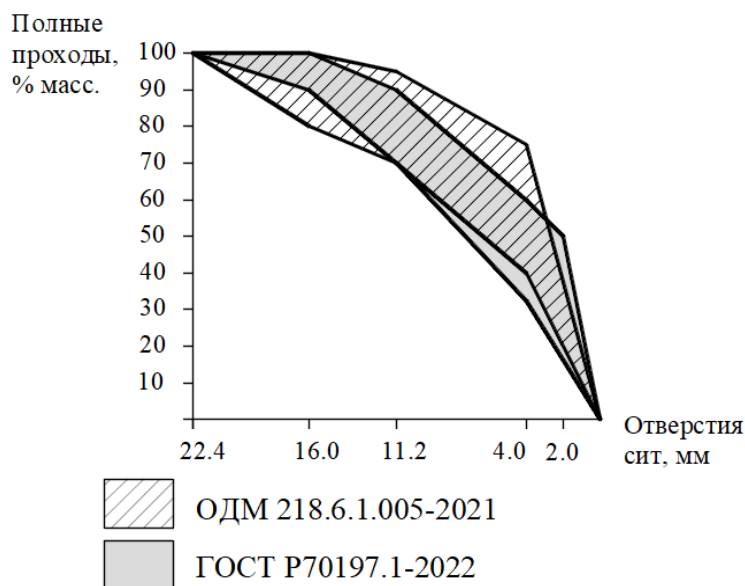


Рис. 1. Области, ограниченные предельными кривыми гранулометрического состава для смесей с номинально максимальным размером заполнителя 16.0 мм в соответствии с нормативными требованиями

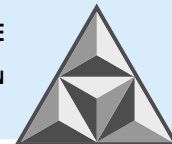
Fig. 1. Areas with the limiting particle size distribution curves for mixtures with a nominally maximum aggregate size of 16.0 mm in accordance with the normative requirements

АГБС и ОМС рассматриваются нами в качестве композиционного материала, в котором заполнителем (грубодисперсной фазой) выступают полизернистые частицы асфальтового гранулята, а дисперсной средой (матрицей) – вяжущее вещество (органическое, минеральное или же комплексное). Особенность АГБС и ОМС – зависимость свойств от структуры, определяемой количеством зерен асфальтового гранулята, их размером, взаимным расположением и характером связей между ними [7].

Рациональное соотношение размеров минерального заполнителя задает тип макроструктуры и обеспечивает необходимую плотность и оптимальные показатели физико-механических свойств материалов дорожных одежд [8-10].

Гранулометрический состав асфальтового гранулята (основного компонента АГБС и ОМС) зависит не только от степени дробления покрытия во время фрезерования, но и от зернового состава исходного асфальтобетонного покрытия. Для выполнения регенерации слоя из ЩМА-15 (по ГОСТ 31015-2002) следует иметь в виду, что исходное содержание зерен размером < 5.0 мм составляет 25–35% и это заведомо не соответствует требуемым значениям (45–75%) для технологии холодного ресайклинга.

Произведен анализ зернового состава асфальтогранулята, полученного путем холодного фрезерования верхнего слоя асфальтобетонного покрытия из ЩМА-15, устроенного в 2013 г. на участке Москва – Ярославль автомобильной дороги М8 «Холмогоры». В табл. 1 представлены требования к зерновому составу АГБС, ОМС и приведены данные фактической гранулометрии слоев фрезерованного асфальтобетонного покрытия и материала верхнего несущего основания.

**Таблица 1.** Агрегатный состав смесей**Table 1.** Aggregate composition of mixtures

Размер ячейки сита, мм	Зерновой состав по стандарту						Фактический зерновой состав материала с дороги	
	АГБС -22		АГБС-16		ОМС-16		Асфальтовый гранулят	Материал основания
	Проходы, %		Проходы, %		Проходы, %		Проходы, %	Проходы, %
22.4	80	100	100	100	100	100	85	91
16.0	70	95	80	100	90	100	66	81
11.2	-	-	70	95	70	90	39	73
4.0	40	75	40	75	35	60	9	52
2.0	0	0	0	0	20	50	0	36

Анализ данных табл. 1 подтверждает полное несоответствие фактического агрегатного состава асфальтового гранулята таковым, требуемым для холодного ресайклинга.

В нормативных документах на холодный ресайклинг корректировка агрегатного состава учитывается, «если зерновой состав асфальтогранулята содержит менее 30% зерен крупнее 4.0 мм, исходя из минимального допустимого количества (не менее 30% по массе в смеси)».

Во фрезерованном асфальтобетонном грануляте с участка автодороги Москва – Ярославль количество зерен минеральной части размером < 4.0 мм находится в пределах 10% при требуемых значениях 40–75%. Следовательно, выполнение холодного ресайклинга на толщину пакета асфальтобетонных слоев без дополнительной корректировки мелкодисперсной фракцией (< 4.0 мм) не отвечает принципу подбора рационального агрегатного состава смеси, что впоследствии приводит к формированию неоптимальной структуры материала.

Помимо разрушения асфальтобетонных слоев, значительные качественные изменения претерпевают слои неукрепленного несущего основания, сопровождаемые процессами дробления и накопления мелкозема [11].

В табл. 1 также представлен фракционный состав пробы слоя несущего основания с участка Москва – Ярославль автомобильной дороги М8 «Холмогоры». По данным гранулометрии, смесь близка к щебеночно-песчаной; при этом следует учесть, что слой был выполнен из щебня, уложенного по способу заклинки. Проба материала основания, взятая по истечении 15–20 лет эксплуатации, содержит большое количество мелких пылеватых частиц.

Для получения составов АГБС, близких к оптимальным, требуется дополнительное введение минерального материала размером < 4.0 мм.

Варьирование гранулометрического состава смесей АГБС методом ХРМ без добавления нового минерального материала можно производить с захватом слоев несущего основания.

Для лабораторного моделирования условий холодного ресайклинга методом ХРМ нами изготовлены три партии образцов с гранулометрическим составом, представленным на рис. 2.

Характерные особенности партий образцов:

- партия 1 – образцы для холодного ресайклинга методом ХРМ на глубину пакета асфальтобетонных слоев;
- партия 2 – образцы получены с захватом части неукрепленного несущего основания;
- партия 3 – образцы с минимальной толщиной асфальтобетонного слоя или при полном его разрушении.

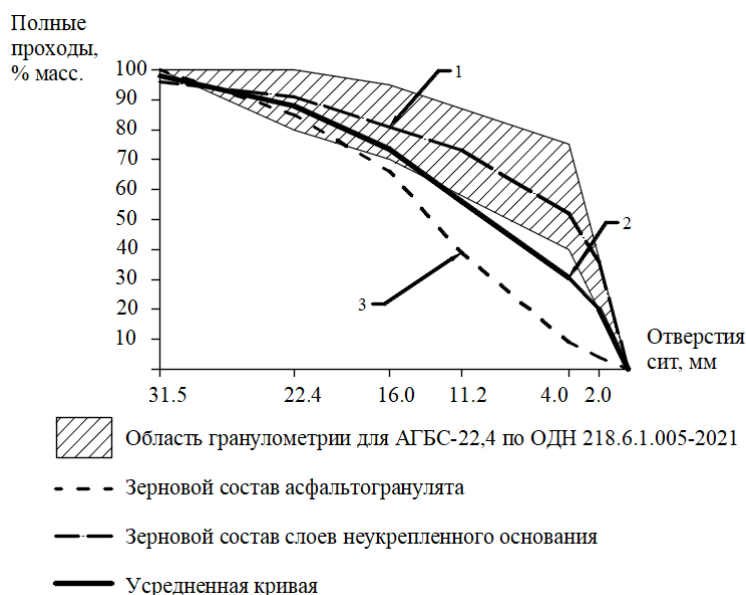
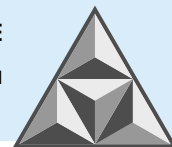


Рис. 2. Кривые зерновых составов слоев дорожной одежды

Fig. 2. Grain composition curves of pavement layers

В качестве исходных материалов применяли:

– фрезерованный асфальтобетон ЩМА-15 с участка Москва – Ярославль автомобильной дороги М8 «Холмогоры»;

– материал основания с участка Москва – Ярославль автомобильной дороги М8 «Холмогоры»;

– портландцемент М500.

Компонентный состав образцов представлен в табл. 2.

Таблица 2. Компонентный состав образцов в соответствующей экспериментальной партии

Table 2. Component composition of experimental batches samples

Партия	Кривая (график рис. 2)	Асфальтогранулят, % масс.	Материал основания с дороги	Портландцемент М500, %, сверх массы
1	3	100	0	3
2	1	0	100	3
3	2	50	50	3

После достижения изготовленными образцами проектного возраста 7 сут. их испытывали на предел прочности при непрямом растяжении на раскол и температуре 20°C.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Экспериментальные образцы диаметром 101.6 мм и высотой (63.5±2.5) мм, изготовленные с применением уплотнителя Маршалла в соответствии с требованиями ОДМ 218.6.1.005-2021, представлены на рис. 3.

Для первой партии образцов характерна крупнозернистая пористая макроструктура. При этом отмечается малая начальная прочность образцов, обусловленная механизмом твердения цементов, а также наблюдается отсутствие адгезии между конгломератами асфальтового гранулята.

С введением мелкодисперсной фракции в образцах третьей партии, а также при изготовлении слоев основания образцов второй партии формируется плотная мелкозернистая песчаная структура.

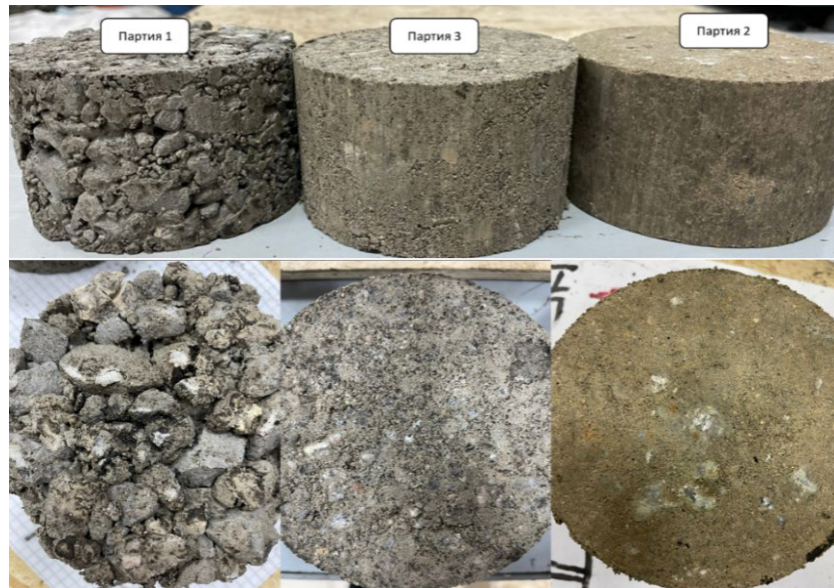
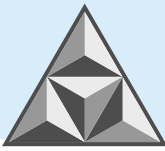


Рис. 3. Образцы экспериментальных партий

Fig. 3. Samples of experimental batches

При использовании в составе органоминеральных смесей портландцемента в качестве связующего вещества зафиксировано существенное снижение пластичности образцов. Роль асфальтогранулята в данном случае нивелируется. Вид образцов из третьей партии после испытания на непрямоe растяжение при расколе представлен на рис. 4.

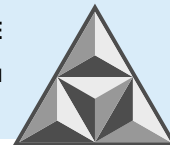


Рис. 4. Образец из третьей партии после испытания

Fig. 4. Sample of the third batch after the test

При анализе полученных экспериментальных данных (см. табл. 3) обнаружена прямая зависимость прочности материалов АГБС и ОМС на основе портландцемента от отношения толщины асфальтобетонного покрытия и глубины захвата слоев основания.

Наличие битумных пленок на зернах асфальтового гранулята, на наш взгляд, препятствует прочному сцеплению цементного камня с поверхностью минерального заполнителя, что объясняет снижение прочности образцов из первой партии. С другой стороны, выявлено, что с введением мелких фракций, имеющих поверхность, свободную от битумных пленок, возрастает прочность образцов из третьей партии.

**Таблица 3.** Результаты экспериментальных исследований прочности образцов**Table 3.** Experimental results of samples strength testing

Партия	Номер образца в партии	Прочность при непрямом растяжении на раскол S , МПа		Минимально требуемая прочность для материалов на основе минерального вяжущего, МПа	
				ОДМ 218.6.1.005-2021	ГОСТ Р 70197.1-2022
1	1-1	0.18	0.20	0.25	0.30
	1-2	0.21			
	1-3	0.21			
2	2-1	0.68	0.64		
	2-2	0.65			
	2-3	0.58			
3	3-1	0.41	0.39		
	3-2	0.31			
	3-3	0.44			

Образцы из второй партии имеют лучшие показатели по гранулометрическому составу, а отсутствие асфальтового гранулята при применении портландцемента в качестве вяжущего положительно сказывается на формировании прочных связей между матрицей и заполнителем, о чем свидетельствуют высокие прочностные характеристики материала.

ВЫВОДЫ

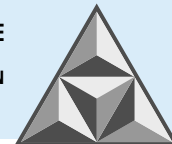
В нормативных документах отсутствуют четкие рекомендации по применению органических и/или неорганических вяжущих в составе материалов, применяемых в технологии холодного ресайклинга дорожных одежд.

Требования к гранулометрическому составу регенерированных материалов не могут быть реализованы при производстве работ методом ХРМ. Регулирование гранулометрического состава получаемых органоминеральных смесей можно осуществлять с захватом слоев неукрепленного несущего основания.

При выполнении холодного ресайклинга дорожных одежд на глубину пакета асфальтобетонных слоев выявлена неэффективность применения портландцемента в качестве вяжущего вещества. Снижение доли асфальтогранулята до 50% в ресайклированном слое обеспечивает возрастание прочности материала на 30%.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Буданова Е.С., Ярмолинский В.А.** Холодный ресайклинг. Повышение эффективности использования на территории РФ // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 2. С. 54-67. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N2_2022. DOI: 10.52957/27821919_2022_2_54
- Аджиева А.А., Чекалина Л.А., Храпова Т.Е.** Приоритетное использование технологии холодного ресайклинга для восстановления дорожной одежды // *Новые технологии в учебном процессе и производстве: мат. XX Междунар. науч.-техн. конф., посв. 165-летию со дня рожд. основоположника космонавтики, создателя теории межпланетных сообщений К.Э. Циолковского*. Рязань, 2022. С. 75-77.
- Баранов И.А., Дерли О.А.** Отечественные и зарубежные инновационные технологии в дорожном строительстве // *Безопасный и комфортный город: сб. науч. тр. по мат. V междунар. науч.-практ. конф. (Орел, 06-08 июня 2022 года)*. Орел: Орловский гос. ун-т им. И.С. Тургенева, 2022. С. 146-149.
- Ленивцев А.Г., Дуданов И.В.** Повышение качества восстановления дорожного покрытия // *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии: сб. статей 79-й Всерос. науч.-техн. конф. (Самара, 18-22 апреля 2022 г.)*. Самара: Самарский гос. техн. ун-т, 2022. С. 926-929.



5. **Никишин В.Е.** Опыт применения ресурсосберегающей технологии холодного ресайклинга // *Техническое регулирование в транспортном строительстве*. 2020. № 1 (40). С. 15-18.
6. **Баруздин А.А., Закревская Л.В.** Перспективы рециклинга в строительстве с целью создания инновационных композиционных материалов // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 3. С. 29-54. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n3_2023
7. **Аль-Карагули М.М.** Устройство дорожных покрытий и оснований с применением холодной регенерации асфальтобетона в установке: дис. ...канд. техн. наук. Москва, 2021. 179 с.
8. **Сузев Н.А., Ширинов А.К.** Влияние зернового состава на эксплуатационные свойства асфальтобетона // *Научные труды ЮКГУ им. М. Ауэзова*. 2019. № 4 (52). С. 32-37.
9. **Траутвайн А.И.** Анализ влияния качественного состава асфальтобетонной смеси на основные показатели характеристик асфальтобетона в покрытии // *Строительные материалы и изделия*. 2019. Т. 2, №1. С. 17-23.
10. **Яконцева О.В., Щепетева Л.С.** Влияние зернового состава асфальтобетона на показатели физико- механических свойств // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2020. № 3. С. 71-76. DOI 10.15593/24111678/2020.03.09.
11. **Кудрявцев А.Н.** Учет структурных разрушений неукрепленного каменного материала оснований при проектировании дорожных одежд: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2021. 213 с.

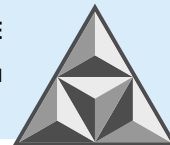
Поступила в редакцию 15.01.2024

Одобрена после рецензирования 21.02.2024

Принята к опубликованию 12.03.2024

REFERENCES

1. **Budanova, E.S. & Yarmolinskiy, V.A.** (2022) Cold recycling. Improving the efficiency of use in the territory of the Russian Federation, *Smart Composite in Construction*, 3(2), pp. 54-67 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N2_2022. DOI: 10.52957/27821919_2022_2_54 (in Russian).
2. **Adzhieva, A.A., Chekalina, L.A. & Khrapova, T.E.** (2022) Priority use of cold recycling technology for pavement rehabilitation, *Novye tekhnologii v uchebnoy protsesse i proizvodstve: mat. XX Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., posv. 165-letiyu so dnya rozhd. osnovopolozhnika kosmonavtiki, sozdatelya teorii mezhp lanetnykh soobshcheniy K.E. Tsiolkovskogo*. Ryazan, pp. 75-77 (in Russian).
3. **Baranov, I.A. & Derli, O.A.** (2022) Domestic and foreign innovative technologies in road construction, *Bezopasniy i komfortniy gorod: sb. nauch. tr. po mat. V mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Orel, 06-08 iyunya 2022 goda)*. Orel: Orlovskiy gos. un-t im. I.S. Turgeneva, pp. 146-149 (in Russian).
4. **Lenivtsev, A.G. & Dudanov, I.V.** (2022) Improving the quality of road pavement rehabilitation, *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arkhitekture. Stroitel'stvo i stroitel'nye tekhnologii: sb. statey 79-j Vseros. nauch.-tekhn.konf. (Samara, 18-22 aprelya 2022 g.)*. Samara: Samarskiy gos. tekhn. un-t, pp. 926-929 (in Russian).
5. **Baruzdin, A.A. & Zakrevskaya, L.V.** (2023) Prospects of recycling in construction to produce innovative composite materials, *Smart Composite in Construction*, 4(3), pp. 29-54 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n3_2023 (in Russian).
6. **Nikishin, V.E.** (2020) Experience in application of resource-saving technology of cold recycling, *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve*, (1), pp. 15-18 (in Russian).
7. **Al-Karaguli, M.M.** (2021) *Construction of road pavements and bases using cold regeneration of asphalt concrete in the plant*. PhD. Moscow (in Russian).
8. **Suzev, N.A. & Shirinov, A.K.** (2019) Influence of grain composition on the operational properties of asphalt concrete, *Nauchnye trudy YUKGU im. M. Auezova*, (4), pp. 32-37 (in Russian).
9. **Trautvain, A.I.** Analysis of the influence of the qualitative composition of asphalt concrete mixture on the basic indicators of asphalt concrete characteristics in the pavement, *Stroitel'nye materialy i izdeliya*, 2(1), pp. 17-23 (in Russian).



10. **Yakontseva, O.V. & Shchepeteva, L.S.** (2020) Influence of asphalt concrete grain composition on physical and mechanical properties, *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*, (3), pp. 71-76. DOI: 10.15593/24111678/2020.03.09 (in Russian).
11. **Kudryavtsev, A.N.** (2021) *Consideration of Structural Fractures of Unreinforced Stone Base Material in Design of Road Pavements*. PhD. Moscow (in Russian).

Received 15.01.2024

Approved after reviewing 21.02.2024

Accepted 12.03.2024



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.7/8

Влияние плотности и длины нарезки базальтовой фибры на риск спутывания нитей

**С.Ю. Андронов¹, В.В. Столяров¹, Я.М. Белозеров¹,
А.В. Кочетков^{2,*}, И.Г. Шашков³**

Сергей Юрьевич Андронов, Виктор Васильевич Столяров, Ярослав Михайлович Белозеров

¹Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, Саратов, Российская Федерация

atomic08@yandex.ru, stolyarov_v_v@mail.ru, ybm-20@mail.ru

Андрей Викторович Кочетков

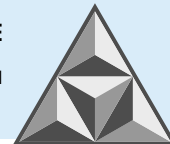
²Российский дорожный научно-исследовательский институт (РОСДОРНИИ), Москва, Российская Федерация

*soni.81@mail.ru**

Игорь Геннадиевич Шашков

³Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Российская Федерация

soni.81@mail.ru

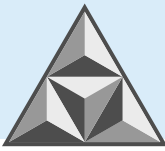


Проведена оценка влияния плотности и длины нарезки базальтовой фибры на риск спутывания нитей. Средние значения длин нитей базальтовой фибры не превышают критических величин. Гистограмма распределения длин базальтовой фибры соответствует нормальному распределению с оценкой «отлично». Установлено наличие предельно допустимой островершинности распределения длин распушенных базальтовых нитей. Ожидаемый риск спутывания нитей меньше допустимого риска. Следовательно, дисперсное армирование фиброй из базальтового волокна при требуемом уровне надежности допустимо.

Ключевые слова: базальтовая фибра, асфальтобетон, армирование, риск, плотность, длина нитей, закон распределения

Для цитирования:

Андронов С.Ю., Столяров В.В., Белозеров Я.М., Кочетков А.В., Шашков И.Г. Влияние плотности и длины нарезки базальтовой фибры на риск спутывания нитей // *Умные композиты в строительстве*. 2024. Т. 5, вып. 1. С. 43-58. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v5n1_2024



SCIENTIFIC ARTICLE

The effect of basalt fiber cutting density and length on the risk of thread entangling

**S.Yu. Andronov¹, V.V. Stolyarov¹, Ya.M. Belozerov¹,
A.V. Kochetkov^{2,*}, I.G. Shashkov³**

Sergey Yu. Andronov, Viktor V. Stolyarov, Yaroslav M. Belozerov

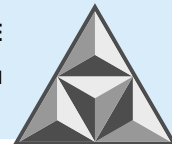
¹Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia
atomic08@yandex.ru, stolyarov_v_v@mail.ru, ybm-20@mail.ru

Andrey V. Kochetkov

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

Igor G. Shashkov

³Military Educational and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin", Voronezh, Russia
soni.81@mail.ru

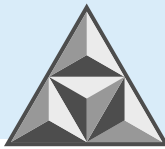


The paper concerns with an assessment of the effect of basalt fiber cutting density and length on the risk of thread entangling. The average lengths of basalt fiber filaments do not exceed critical values. The histogram of the basalt fiber length distribution corresponds to the normal distribution with an excellent rating. The research ascertained the maximum permissible imperfection of the distribution of lengths of fluffed basalt filaments. Hence, expected risk of thread entangling is lower than permissible one. Therefore, it is acceptable to implement dispersed reinforcement of this fiber from basalt fiber at the required level of reliability.

Keywords: basalt fiber, asphalt concrete, reinforcement, risk, density, thread length, distribution law

For citation:

Andronov S.Yu., Stolyarov V.V., Belozerov Ya.M., Kochetkov A.V., Shashkov I.G. (2024) The effect of basalt fiber cutting density and length on the risk of thread entangling. *Smart Composite in Construction*, 5(1), pp. 43-58 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v5n1_2024



ВВЕДЕНИЕ

Как показали результаты лабораторных испытаний, при нарезке волокон базальтовой фибры даже при тщательной настройке режущего оборудования невозможно обеспечить постоянную длину нитей. Нарезаемое волокно поступает из жгута (ровинга), скрученного в нескольких плоскостях. В связи с этим нарезки базальтового волокна остаются изогнутыми, а выпрямленные искусственно, имеют некоторый разброс по длине. Это вызывает необходимость оценить влияние плотности и длины нарезки базальтовой фибры на риск спутывания нитей.

Целью настоящего исследования является разработка теоретического обоснования возможности стабильного и устойчивого характера производства фиброасфальтобетонных смесей и функциональной устойчивости фиброасфальтобетона.

Для достижения этой цели необходимо выполнить статистический анализ длин нарезки базальтовой фибры и установить закон распределения длин нитей. Согласно установленному закону распределения, следует определить требуемую точность нарезки нитей, используя оценку риска их скручивания в узлы, что приводит к потере однородности армирования асфальтобетонной смеси.

В такой постановке тема исследования обладает признаками научной новизны и практической ценности.

Допустимый разброс длин базальтовых нитей, как и среднее значение, близкое к оптимальной длине для армирования асфальтобетона, будем оценивать с учетом риска в процессе нарезки и перемешивания (армирования) смеси.

Оптимальная длина базальтовой фибры определяется экспериментально и зависит от вида волокнистого материала, его дозировки в процентах по массе асфальтобетонной смеси и плотности волокна.

Краткий обзор по теме исследований проведен [1-6] и закреплен документально [7, 8]. Публикации в зарубежных наукометрических базах данных представлены перечнем [9-15].

Работа является продолжением начатого цикла исследований в указанной области [16].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве нормативного документа приняты «Методические рекомендации по технологии армирования асфальтобетонных покрытий добавками базальтовых волокон (фиброй) при строительстве и ремонте автомобильных дорог (распоряжение Росавтодора от 11.01.2002 № 12-р)», разработанные при участии авторов настоящей статьи.

Нарезку нитей производили слайсером итальянской фирмы «Beckers» под углом 90°. В данном типе слайсера электрический привод обеспечивал вращение дискового ножа, а каретка с нарезаемой фиброй передвигалась вручную к вертикально расположенному лезвию. При этом фибру на подходе к дисковому ножу прижимали к каретке мастерком.

Для обоснования закона распределения использованы статистические методы определения средней длины и среднеквадратического отклонения для нитей базальтовой фибры. На рис. 1, а, б и 2, а, б показано, как работает теория риска при сравнении фактического закона с критическим распределением, когда среднее значение фактического параметра l_{cp}^{ϕ} ниже значения критического параметра $l_{cp}^{кр}$. Критическое распределение представляет собой распределение параметра, соответствующего риску 50%, и неподвижно, если значения u , l_{opt} и C_V^1 , описанных в [1, 2] и ниже, являются неизменными.

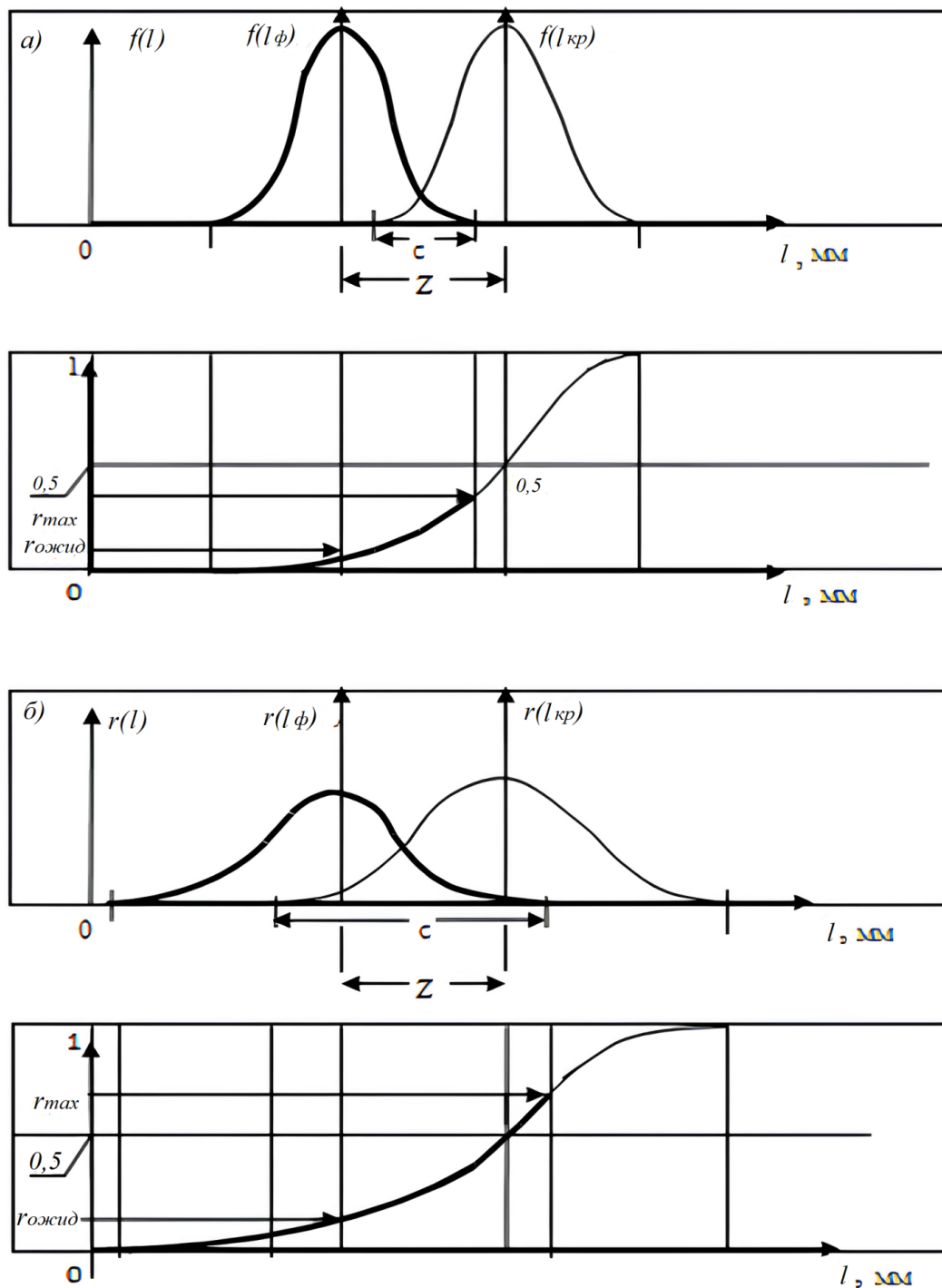
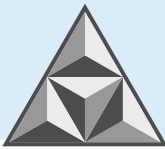


Рис. 1. Оценка риска нарушения дисперсного армирования асфальтобетонной смеси, подготовленной (нарезанной) фиброй по условию $l_{cp} < l_{кр(max)}$: а - при полном или близком соответствии средней длины нитей оптимальной длине ($l_{cp} \cong l_{опт}$) и соответствии среднеекватрического отклонения длин нитей допустимому среднеекватрическому отклонению ($\sigma_{l_\phi} \cong \sigma_{l_{доп}}$); б - при полном или близком соответствии средней длины нитей оптимальной длине ($l_{cp} \cong l_{опт}$) и значительном несоответствии среднеекватрического отклонения нитей допустимому среднеекватрическому отклонению ($\sigma_{l_\phi} \gg \sigma_{l_{доп}}$)

Fig. 1. Assessment of dispersion reinforcement disturbance of an asphalt concrete mixture prepared (cut) with fiber according to the condition $l_{cp} < l_{кр(max)}$: а - at full or close compliance of the average thread length with the optimum thread length ($l_{cp} \cong l_{опт}$) and compliance of the average square deviation of thread lengths with the permissible average square deviation ($\sigma_{l_\phi} \cong \sigma_{l_{доп}}$); б - at full or close compliance of the average thread length with the optimum thread length ($l_{cp} \cong l_{опт}$) and significant non-compliance of the average standard deviation of threads with the permissible standard deviation ($\sigma_{l_\phi} \cong \sigma_{l_{доп}}$)

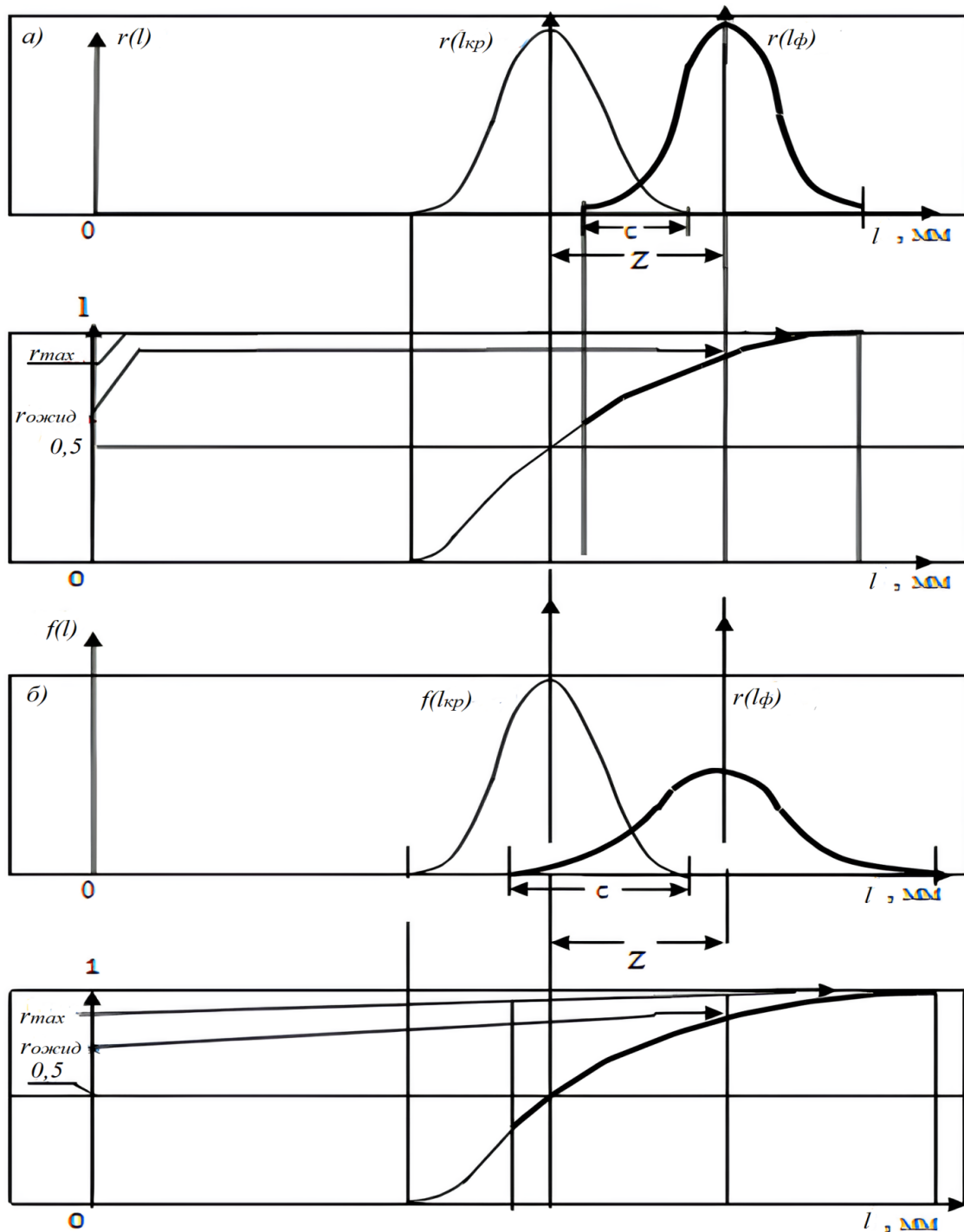
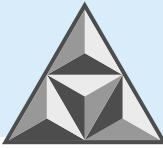
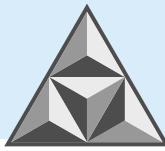


Рис. 2. Оценка риска нарушения дисперсного армирования асфальтобетонной смеси нарезанной фиброй:
 а – при превышении средней длины нитей среднего значения критической длины и при соответствии среднеквадратического отклонения длин нитей допустимому значению среднеквадратического отклонения ($\sigma_{l_\phi} \cong \sigma_{l_{доп}}$);
 б – при том же соотношении нарезанных и критических средних длин нитей и максимальном превышении среднеквадратического отклонения нарезанных длин нитей над допустимым среднеквадратическим отклонением ($\sigma_{l_\phi} \gg \sigma_{l_{доп}}$)

Fig. 2. Assessment of dispersion reinforcement disturbance of an asphalt concrete mixture prepared with (cut) fiber:
 a – at exceeding the average thread length of the average critical length value at compliance of the average standard deviation of thread lengths with the permissible value of the average standard deviation ($\sigma_{l_\phi} \cong \sigma_{l_{доп}}$); b – with the same ratio of the cut and critical average lengths of the threads and at maximum excess of the average standard deviation of cut threads over the permissible standard deviation ($\sigma_{l_\phi} \gg \sigma_{l_{доп}}$)



Среднее значение критического параметра l_{cp}^{kp} для случая, когда требуется выдерживать соотношение $l_{cp}^{\phi} < l_{cp}^{kp}$, определяли по формулам [2]:

- при коэффициенте вариации фактических и критических длин нитей, отвечающих неравенству $C_V^l \neq l/u$:

$$l_{кр(макс)} = 2 \cdot l_{опт} - \frac{\sqrt{l_{опт}^2 + [u^2 \cdot (C_V^l)^2 - 1] \cdot (l_{опт}^2 - u^2 \cdot \sigma_{l_{опт}}^2)} - l_{опт}}{u^2 \cdot (C_V^l)^2 - 1}; \quad (1)$$

- при коэффициенте вариации фактических и критических длин нитей, равных по значению $C_V^l = l/u$:

$$l_{кр(макс)} = 2 \cdot l_{опт} - \frac{l_{опт}^2 - u^2 \cdot \sigma_{l_{опт}}^2}{2 \cdot l_{опт}}, \quad (2)$$

где $l_{опт}$ – оптимальная длина нарезаемых нитей (для базальтового волокна 15 мм, установлена по лучшим физико-механическим показателям);

$\sigma_{l_{опт}}$ – среднеквадратическое отклонение оптимальной длины нитей фибры, которое отвечает оптимальным значениям при коэффициентах вариации этих длин, соответствующих $C_V^{l_{опт}} = 0.155$ для базальтового волокна.

Статистические данные и расчеты по формулам теории риска показали, что допустимые отклонения оптимальных длин нитей от центров группирования, рассчитанные совместно при всех оптимальных плотностях, не должны превышать 20.8% и быть меньше 15.5% для полиакрилонитрильного и базальтового волокна соответственно; то есть, при всех рассмотренных в данном исследовании плотностях нитей, среднеквадратические отклонения для оптимальных длин нитей определяются в базальтовом волокне как

$$\sigma_{l_{опт}} = 0.155 \cdot l_{опт};$$

u – квантиль подинтегральной функции, который математически зависит от требуемого уровня надежности [1, 3] (или величины допустимого риска) для последнего года службы покрытия с дисперсным армированием (табл. 1).

Таблица 1. Оценка допустимого риска при требуемом уровне надежности

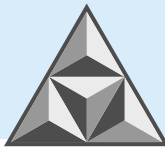
Table 1. Assessment of acceptable risk at reliability goal

Требуемая надежность	P_n	0.98	0.95	0.9	0.85	0.8	0.75
Допустимый риск	r	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25
Функция Лапласа	$\Phi(u)$	0.48	0.45	0.4	0.35	0.3	0.25
Квантиль	u	2.05	1.645	1.283	1.034	0.844	0.675

Например, при уровне надежности $P_n = 0.95$ получаем $u = 1.645$. Следовательно, допустимая величина риска снижения качества армирования составит $r_{доп} = 1 - P_n = 1 - 0.95 = 0.05$.

При $C_V^l = l/u$ во втором многочлене формулы (1) возникает неопределенность типа 0/0. Второй многочлен формулы (2) раскрывает эту неопределенность. Для этого в формуле (1) берут частные производные числителя и знаменателя по переменной C_V^l и оставляют их в числителе и знаменателе новой формулы, если при условии $C_V^l = l/u$ отношение производных не приводит к неопределенности 0/0. В противном случае берут вторые производные (возможно, и более высоких степеней), пока данный тип неопределенности не раскроют. В данном случае первые производные дали ожидаемый результат.

По формуле (2) определяют значение параметра $l_{кр}$ в точке с переменной $C_V^l = l/u$, в которой основная формула (1) не дает ответа. При всех других значениях коэффициента



вариации (даже при бесконечно близком к $1/u$) критический параметр определяется, в данных исследованиях – это критическая длина нитей.

Среднеквадратическое отклонение критического модуля упругости определяют по формуле:

$$\sigma_{l_{кр(макс)}} = C_V^{l_{кр(макс)}} \cdot l_{кр(макс)}, \quad (3)$$

где $C_V^{l_{кр(макс)}} = C_V^{l_\phi} = \sigma_{l_\phi} / l_{ср}$; только при этом равенстве закон распределения критической переменной $l_{кр(макс)}$ будет обладать эквивалентной однородностью с законом распределения фактической переменной (l_ϕ), а все расчетные показатели $l_{ср}$ и $l_{кр(макс)}$, σ_{l_ϕ} и $\sigma_{l_{кр}}$ – принадлежать к одной совокупности (сопоставимы).

Поэтому перед использованием формул (1) – (3) необходимо определить значение коэффициента вариации длин нитей в нарезанной фибре по зависимости $C_V^{l_\phi} = \sigma_{l_\phi} / l_{ср}$, используя для этого статистические данные (например, приведенные в табл. 2, 4).

На рис. 3, а, б показано сравнение фактического распределения $f(l_\phi)$ с критическим распределением $f(l_{кр})$ нитей, при котором среднее значение длин нитей равно оптимальному значению (или близко к нему) и среднеквадратическое отклонение длин нитей либо равно допустимому значению (см. рис. 1, а), либо незначительно отличается от него (см. рис. 1, б). Нити при смешивании с асфальтобетоном начнут спутываться друг с другом, но риск нарушения армирования, даже в области длинных нитей, будет ниже 50%, (см. рис. 1, а). В том случае, когда среднеквадратическое отклонение нитей ощутимо превысит допустимое значение (см. рис. 1, б), максимальные длины нитей приведут к превышению риска их спутывания в 50%. Следует помнить, что ожидаемый риск всегда соответствует среднему значению длин нарезанных нитей (см. рис. 1, а, б и рис. 2, а, б).

На рис. 2, а, б показаны случаи, когда среднее значение нарезанных нитей больше среднего значения их критического распределения. При этом риск спутывания максимальных длин нитей стремится к единице, а ожидаемый риск (соответствует среднему значению длин нитей) находится на участке от 0.5 до 1.0. Допускать ситуацию, отражаемую на рис. 2, а, б, нельзя: такая нарезка неминуемо приведет к браку.

Во всех перечисленных случаях формула теории риска едина и при нормальном распределении имеет вид:

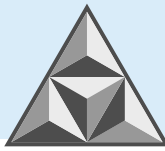
$$r = 0.5 - \Phi \left(\frac{l_{кр(макс)} - l_{ср}}{\sqrt{\sigma_{l_{кр(макс)}}^2 + \sigma_{l_{ср}}^2}} \right), \quad (4)$$

где r – риск нарушения дисперсного армирования, определяемый в зависимости от требуемого уровня надежности (P_n), вида фибры, оптимальной длины нитей ($l_{опт}$), которая входит в расчетные формулы (1) и (2), а также от средней длины и среднеквадратического отклонения длин нитей, определяемых методами математической статистики. Формула (4) описывает нормальную работу армированного асфальтобетона, когда выполняется условие $l_{кр(макс)} \gg l_{ср}$, и выдает неприемлемые значения при соотношении $l_{ср} > l_{кр(макс)}$ и тем более при $l_{ср} \gg l_{кр(макс)}$;

$l_{кр(макс)}$ – среднее значение критической длины фибры, определяемое в зависимости от требуемого уровня надежности P_n , оптимальной длины нитей $l_{опт}$ и фактического коэффициента вариации нарезанных нитей $C_V^{l_{ср}}$;

$l_{ср}$ и $\sigma_{l_{ср}}$ – параметры распределения нарезанных нитей, определяемые методами математической статистики;

$\sigma_{l_{кр(макс)}}$ – параметр критического распределения (устанавливается по максимальному ограничению длин нитей), определяемый по формуле (3).



Для обоснования видов фибры, которую можно будет применять при различных уровнях надежности дорожных одежд нежесткого типа, выполним ряд расчетов ожидаемого риска недостижения требуемого уровня армирования по описанным алгоритмам. Эти расчеты также необходимы для подтверждения работоспособности формул (1)–(3) и обоснования требуемых параметров нарезки нитей. Выполним также оценку риска спутывания длинных нитей в процессе дискретного армирования фиброй асфальтобетонной смеси, приготовленной для устройства нежесткого армированного покрытия.

Оптимальная дозировка базальтового волокна в ровингах производства ООО «Ижбазальт» в асфальтобетонной смеси составляла 0.4% (по массе смеси). Плотность базальтового волокна – 240 текс, оптимальная длина нарезки – 15 мм.

Описание технологических процессов приготовления базальтовой фибры аналогично алгоритму приготовления нарезок полиакрилонитрильного волокна [16]. Отличие заключается лишь в том, что оптимальная и приближающаяся к ней средняя длина нарезок базальтового волокна отвечает 15.00 мм, а среднеквадратическое отклонение длин нарезок – как правило, в несколько раз меньше. Изначально готовили 60 нарезок, измеряли длины нитей, определяли их среднее значение и среднеквадратическое отклонение [16].

При этом стремились, чтобы среднее значение длин базальтовых нитей было близким к 15 мм (оптимальная длина, установленная на основе анализа физико-механических свойств армированного асфальтобетона). При расчетном параметре σ_l и заданных значениях параметров t и Δ определяли требуемое число нитей (n). При условии $n \leq 60$ число выполненных измерений (60) считали достаточным. В противном случае (при $n > 60$) определяли (в первом приближении) дополнительное число измерений по выражению $m = n - 60$ и нарезали недостающее число нитей (m). Повторно определяли среднее значение и среднеквадратическое отклонение по всему массиву выборки ($n_2 = 60 + m$).

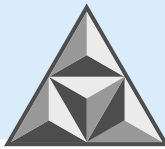
Исследования для проверки действующего закона распределения длин распущенных нитей проводили при каждой плотности трижды с базальтовым волокном (при оптимальной длине нитей). Лучше всех других законов (Вейбулла, гамма-распределения, Шарлье) подходил нормальный закон распределения (с оценками «удовлетворительно» и «хорошо»). Всего нами получено 12 распределений оптимальных длин нитей (15 мм) базальтового волокна.

В табл. 2 дан пример статистической обработки длин базальтовых нитей.

Таблица 2. Пример статистической обработки длин распущенных кусочков фибры базальтового волокна со средним значением близким к оптимальной длине

Table 2. Statistical data processing of lengths of basalt fiber fluffed pieces with an average values close to the optimal lengths

Разряды интервалов	Середина разряда, U_m	Абсолютная частота, h_m	Частичная сумма, S_m	Накопленная частота, T	Середина условного интервала, l_m	Произведения		
						$l_m \cdot h_m$	l_m^2	$l_m^2 \cdot h_m$
11÷12	11.5	1	1	1	-3	-3	9	9
12÷13	12.5	6	7	8	-2	-12	4	24
13÷14	13.5	18	25	33	-1	-18	1	18
14÷15	14.5 = X_A	30	55	88	0	0	0	0
15÷16	15.5	19	74	162	1	19	1	19
16÷17	16.5	6	80	242	2	12	4	24
17÷18	17.5 = U_K	3	83	325	3	9	9	27
$d = 1$		$n = 83$	$M = 325$	$\Sigma T = 859$		$B = 7$		$A = 121$



Следует отметить, что предельно допустимая асимметрия гистограмм, приводящая к появлению удовлетворительной сходимости нормального распределения с гистограммами, фиксировалась редко. Она возникала как следствие предельно допустимой островершинности распределения длин распущенных нитей. Однако ниже средней («удовлетворительная сходимость») оценка соответствия нормальному закону не опускалась [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Статистические расчеты выполнены нами с использованием следующих методов.

Метод суммирования:

– среднее значение:

$$l_{cp} = U_K - d \left(\frac{M}{n} - 1 \right) = 17.5 - 1 \left(\frac{325}{83} - 1 \right) = 14.58 \text{ мм};$$

– дисперсия:

$$\sigma_1^2 = \frac{d^2}{n-1} \left(2 \sum T - M - \frac{M^2}{n} \right) = \frac{1^2}{83-1} \left(2 \cdot 859 - 325 - \frac{325^2}{83} \right) = 1.468;$$

– среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma_1 = 1.212 \text{ мм};$$

Мультипликативный метод:

– среднее значение:

$$l_{cp} = X_A + \frac{d}{n} B = 14.5 + \frac{1}{83} \cdot 6 = 14.57 \text{ мм};$$

– дисперсия:

$$\sigma_1^2 = \frac{d^2}{n-1} \left(A - \frac{B^2}{n} \right) = \frac{1^2}{83-1} \left(121 - \frac{7^2}{83} \right) = 1.468;$$

– среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma_1 = 1.212 \text{ мм};$$

где U_k, D, M, X_a, A, B – показатели из табл. 2.

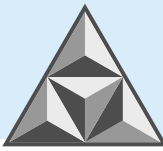
Сравнение эмпирического распределения с нормальным законом распределения по критерию Пирсона представлено в табл. 3.

Таблица 3. Сравнение фактического распределения длин нарезанных кусочков нитей базальтовой фибры с законом нормального распределения

Table 3. Comparison of the actual length distribution of cut pieces of basalt fiber threads with the law of normal distribution

Разряды интервалов	Абсолютная частота, h_m	Вероятность попадания измерений в разряд, P_i	Теоретическое количество измерений в разряде ($n_t = P_i \cdot n$)	Критерий Пирсона $\chi^2 = \frac{(h_m - n_t)^2}{n_t}$
11÷13	7	0.0961	7.9763	0.1195
13÷14	18	0.2222	18.4426	0.0106
14÷15	30	0.325	26.9750	0.3392
15÷16	19	0.2443	20.2769	0.0804
16÷17	6	0.0922	7.6526	0.3569
17÷18	3	0.0202	1.6766	1.0446
$d=1$	$n=83$	$\sum P_i=1.0$		$\sum \chi^2=1.9512$

Примечание: Первый разряд имеет интервал $d=2$, так как меньше трех попаданий в графу h_m в данной таблице не допускается.



В свою очередь, на рис. 3 показано сравнение гистограммы длин нитей базальтовой фибры с плотностью нормального распределения.

Для теоретического распределения число степеней свободы (ν) определяли по формуле:

$$\nu = k - r, \quad (5)$$

где k – число разрядов ($k = 6$); r – число наложенных связей (для нормального закона распределения $r = 3$). Таким образом, $\nu = 6 - 3 = 3$.

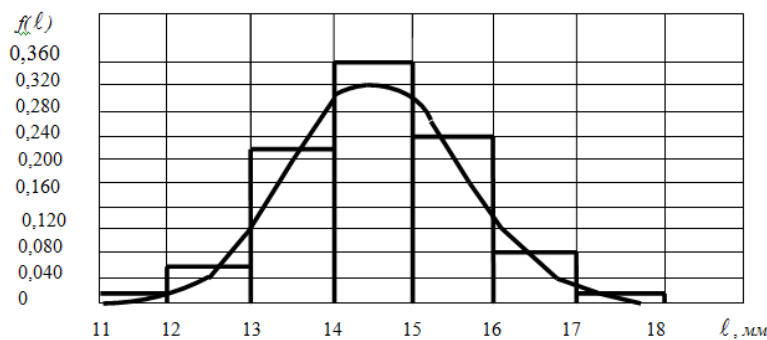


Рис. 3. Гистограмма длины волокон нарезанной базальтовой фибры и плотность нормального распределения
Fig. 3. Histogram of fibre length of cut basalt fibres and normal distribution density

По таблицам χ^2 -распределения (таблица Пирсона; <https://www.matematicus.ru/teoriya-veroyatnosti/tablisty/tablistsa-pirsona>), при $\chi^2 = 1.9512$ и $\nu = 3$, получили вероятность $P = 0.62$. Так как при $P > 0.5$ соответствие теоретического закона распределения результатам измерений (гистограмме) считается отличным, зафиксирована наивысшая оценка соответствия.

По критерию Романовского, получено полное соответствие фактического распределения длин базальтовых нитей нормальному закону:

$$R = \frac{\chi^2 - \nu}{\sqrt{2\nu}} = \frac{1.9512^2 - 3}{\sqrt{2 \cdot 3}} = 0.33.$$

Как видим, $R = 0.33 < 3$ [17, 18] (Хуснутдинов, Р.Ш. Математическая статистика: учеб. пособие. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2019. 205 с.). Гистограмма распределения длин базальтовой фибры соответствует нормальному распределению с оценкой «отлично».

На основе проведенных исследований установлено влияние плотности нитей базальтового волокна на разброс распределения длин нитей (табл. 4).

Таблица 4. Влияние плотности нитей базальтового волокна на разброс распределения длин нитей

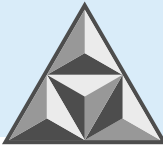
Table 4. Effect of basalt fibre thread density on the variability of thread length distribution

Плотность, текс	54	120	240
Средняя длина нитей, мм	14.49	14.58	14.45
Среднеквадратическое отклонение длин нитей, мм	1.385	1.212	1.194

Его можно кратко сформулировать следующим образом: чем выше плотность нитей базальтового волокна (текс), тем меньше среднеквадратическое отклонение длин нарезанной фибры (мм) (см. данные табл. 4).

Расчет и оценка риска спутывания длинных нитей при армировании асфальтобетона базальтовой фиброй

Исходные данные: плотность базальтового волокна равна 120 текс; средняя длина нитей $l_{cp} = 14.58$ мм; среднеквадратическое отклонение длин нитей $\sigma_{l_{\phi}} = 1.212$ мм; требуемый уровень надежности на последний год срока службы $P_n = 0.95$ и значение квантиля $u = 1.645$,



что соответствует требуемому уровню надежности; допустимая величина риска снижения качества армирования: $r_{\text{доп}} = 1 - P_n = 1 - 0.95 = 0.05$; оптимальная длина нитей базальтовой фибры $l_{\text{опт}} = 15$ мм; коэффициент вариации оптимальных длин нитей при всех плотностях базальтовой фибры $C_V^{l_{\text{доп}}} = 0.155$.

1. На основе исходных данных устанавливаем фактический коэффициент вариации длин нарезанных нитей фибры по зависимости:

$$C_V^l = \frac{\sigma_{l_\phi}}{l_{\text{ср}}} = \frac{1.212}{14.58} = 0.086.$$

Фактический коэффициент вариации нарезанных нитей фибры при данной плотности находится в допуске коэффициента вариации оптимальных длин нитей ($0.086 < 0.155$). Коэффициент вариации 0.155 является максимально допустимым, так как он установлен по совокупности всех возможных плотностей нитей базальтового волокна.

2. Определяем среднеквадратическое отклонение оптимальных длин нитей при максимально допустимом коэффициенте вариации:

$$\sigma_{l_{\text{доп}}} = C_V^{l_{\text{доп}}} \cdot l_{\text{опт}} = 0.155 \cdot 15 = 2.325 \text{ мм.}$$

Так как фактическое среднеквадратическое отклонение длин нитей фибры, установленное методами математической статистики, равно 1.212 мм, неравенство $1.212 < 2.325$ показывает, что все статистические параметры длин нитей допустимы.

3. По требуемому уровню надежности на последний год эксплуатации данного дорожного покрытия определяем значение отношения $1/u$, с которым сравниваем параметр $C_V^l = 0.086$ при выборе расчетной формулы (1) или (2).

Так как $1/u = 1/1.645 = 0.608$ и имеем неравенство $0.086 \neq 0.608$, расчетной является формула (1), для применения которой выполняется условие $C_V^l \neq 1/u$:

$$l_{\text{кр(макс)}} = 2 \cdot l_{\text{опт}} - \frac{\sqrt{l_{\text{опт}}^2 + [u^2 \cdot (C_V^l)^2 - 1] \cdot (l_{\text{опт}}^2 - u^2 \cdot \sigma_{l_{\text{опт}}}^2)} - l_{\text{опт}}}{u^2 \cdot (C_V^l)^2 - 1} =$$

$$= 2 \cdot 15 - \frac{\sqrt{15^2 + [1.645^2 \cdot 0.086^2 - 1] \cdot (15^2 - 1.645^2 \cdot 2.325^2)} - 15}{1.645^2 \cdot 0.086^2 - 1} = 19.123 \text{ мм.}$$

4. Определяем среднеквадратическое отклонение критических длин нитей:

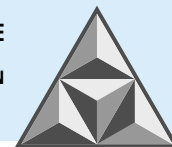
$$\sigma_{l_{\text{кр(макс)}}} = C_V^{l_{\text{кр}}} \cdot l_{\text{кр(макс)}} = 0.086 \cdot 19.123 = 1.644 \text{ мм.}$$

5. Риск спутывания нитей в процессе дисперсного армирования устанавливаем по формуле (4):

$$r = 0.5 - \Phi\left(\frac{l_{\text{кр(макс)}} - l_{\text{ср}}}{\sqrt{\sigma_{l_{\text{кр(макс)}}}^2 + \sigma_{l_{\text{ср}}}^2}}\right) = 0.5 - \Phi\left(\frac{19.123 - 14.58}{\sqrt{1.644^2 + 1.212^2}}\right) = 0.5 - \Phi(2.224) = 0.5 - 0.4870 = 0.013.$$

Ожидаемый риск спутывания нитей меньше допустимого риска ($0.013 < 0.050$). Следовательно, дисперсное армирование данной фиброй из базальтового волокна при требуемом уровне надежности 0.950 возможно (допустимо).

6. Фактический уровень надежности армирования базальтовой фиброй $P_{n_\phi} = 1 - r_\phi = 1 - 0.013 = 0.987$ больше требуемого уровня надежности ($0.987 > 0.950$). Утверждать, что и следующий уровень надежности (0.980) достигнут, нельзя, пока не будут



выполнены расчеты по формуле (1) при соответствующем значении квантиля ($u = 2.05$) и определены расчетные значения фактического риска спутывания нитей и фактического уровня надежности армирования.

7. Выполним по этой же методике проверку риска спутывания нитей и уровней надежности при других плотностях базальтовых нитей (табл. 5).

Таблица 5. Проверка риска спутывания нитей и уровней надежности при других плотностях базальтовых нитей

Table 5. Verifying thread entangling risk and safety levels at other basalt thread densities

Плотность волокна, текс	Фактические параметры нитей фибры		Критические параметры нитей фибры		Риск потери армирования (риск спутывания нитей)	Уровень надежности армирования
	средняя длина, l_{cp} , мм	стандарт отклонения, σ_{l_f} , мм	средняя критическая длина, l_{kp} , мм	стандарт критических длин, $\sigma_{l_{kp(max)}}$, мм		
54	14.49	1.385	19.182	1.822	0.020	0.980
120	14.58	1.212	19.123	1.212	0.013	0.987
240	14.45	1.194	19.101	1.578	0.009	0.991

Если при нарезании базальтовых нитей будет получено соотношение $l_{cp} > l_{kp(max)}$, возникнет ситуация, показанная на рис. 2, а, б, то есть ожидаемый риск превысит 50%. При большом увеличении среднего значения нитей относительно критического значения ($l_{cp} \gg l_{kp(max)}$) риск стремится к единице. Будет получен результат, отраженный на рис. 2, а, б. Отметим, что средние длины нитей базальтовой фибры никогда не превышали критических величин и группировались около отметки 15.00 мм.

ВЫВОДЫ

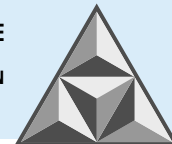
1. Оптимальная длина нитей при всех плотностях базальтового волокна равна 15.00 мм. Общее решение, учитывающее возникновение при трех значениях плотностей (54, 120 и 240 текс) одного оптимального значения длин нитей (15 мм), устанавливает предельно допустимое значение среднеквадратического отклонения оптимальных длин нитей базальтового волокна $\sigma_l^{opt} = 2.325$ мм при $C_V^{l_{opt}} = 0.155$. Средние значения длин нитей базальтовой фибры не превышали критических величин.

2. Гистограмма распределения длин базальтовой фибры соответствует нормальному распределению с оценкой «отлично». В распределении длин распушенных базальтовых нитей установлена предельно допустимая островершинность.

3. Ожидаемый риск спутывания нитей меньше допустимого ($0.013 < 0.050$); следовательно, дисперсное армирование асфальтобетона фиброй из базальтового волокна при требуемом уровне надежности 0.950 возможно (допустимо).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Янковский Л.В., Кочетков А.В., Кокодеева Н.Е. Техническое нормирование макрошероховатости дорожных покрытий автомобильных и лесовозных дорог: монография / под общ. ред. Л.В. Янковского. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2019. 321 с.
2. Андронов С.Ю., Иванов А.Ф., Кочетков А.В. Ремонт автомобильной дороги с применением фибросодержащих асфальтобетонных смесей с диспергированным вяжущим // Строительные материалы. 2020. № 4-5. С. 62-67.

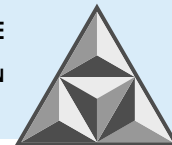


3. **Андронов С.Ю., Иванов А.Ф., Кочетков А.В.** Технология производства и применения дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей с базальтовой фиброй // Строительные материалы. 2020. № 3. С. 70-75.
4. **Андронов С.Ю., Алферов В.И., Кочетков А.В.** Совершенствование методов введения фиброволокон в горячие и холодные асфальтобетонные смеси // Вестник евразийской науки. 2020. Т. 12, № 2. С. 2.
5. Патент на полезную модель № 170486 У1 РФ. Приставка для обработки фиброволокна перед введением его в дорожно-строительную армируемую смесь / **Андронов С.Ю., Артеменко А.А., Кокодеева Н.Е. и др.** Оpubл. 26.04.2017.
6. Патент на полезную модель № 171296 У1 РФ. Узел подготовки фиброволокна для приготовления дорожно-строительной смеси / **Андронов С.Ю., Артеменко А.А., Арзамасцев С.В. и др.** Оpubл. 29.05.2017.
7. **Кочетков А.В., Андронов С.Ю., Иванов А.Ф., Кокодеева Н.Е., Козин А.С., Пачина О.В.** Битумная суспензия: монография / под ред. Ю.Э. Васильева, Н.Е. Кокодеевой. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2019. 192 с.
8. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020612667 РФ. TST-РИСК / **Акулова Н.Е., Щеголева Н.В., Столяров В.В.** Оpubл. 28.02.2020.
9. **Andronov S., Kokodeeva N., Vasiliev Y., Kotlyarsky E., Kochetkov A.** Impact study of basalt and polyacrylonitrile fibercon performance characteristics of asphalt concrete // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2021. Т. 1258. С. 473-485.
10. **Di Yu, Wensheng Wang, Yongchun Cheng, Yafeng Gong.** Laboratory investigation on the properties of asphalt mixtures modified with double-adding admixtures and sensitivity analysis // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 2016. DOI: 10.1016/j.jtte.2016.09.002.
11. **Yongchun Cheng, Di Yu, Guojin Tan and Chunfeng Zhu.** Low-Temperature Performance and Damage Constitutive Model of Eco-Friendly Basalt Fiber-Diatomite-Modified Asphalt Mixture under Freeze-Thaw Cycles // Materials. 2018. Vol. 11(11). P. 2148. DOI: 10.3390/ma11112148.
12. **Clara Celauro, Filippo Praticò.** Asphalt mixtures modified with basalt fibres for surface courses // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 170. P. 245-253. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.058.
13. **Yafeng Gong, Haipeng Bi, Chunyu Liang, Shurong Wang.** Microstructure Analysis of Modified Asphalt Mixtures under Freeze-Thaw Cycles Based on CT Scanning Technology // Applied Sciences. 2028. Vol. 8(11). P. 2191. DOI: 10.3390/app8112191.
14. **Xiao Qin, Ai Qin Shen, Yinchuan Guo, Zhennan Li.** Characterization of asphalt mastics reinforced with basalt fibers // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 159. P. 508-516. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.11.012.
15. **Yafeng Gong, Haipeng Bi, Zhenhong Tian, Guojin Tan.** Pavement Performance Investigation of Nano-TiO₂/CaCO₃ and Basalt Fiber Composite Modified Asphalt Mixture under Freeze-Thaw Cycles // Applied Sciences. 2018. Vol. 8(12). P. 2581. DOI: 10.3390/app8122581.
16. **Андронов С.Ю., Столяров В.В., Валиев Ш.Н., Кочетков А.В.** Обоснование закона распределения и статистических характеристик длины нитей фибры для армирования асфальтобетонной смеси // Умные композиты в строительстве. 2023. Т. 4, № 3. С. 55-65.
URL: https://drive.google.com/file/d/14QOFySop_RkqhnBY5BZ-gPqnCbgBJM8a/view (in Russian).
17. Таблица Пирсона. URL: <https://www.matematicus.ru/teoriya-veroyatnosti/tablisty/tablistsa-pirsona> (дата доступа: 19.02.2024).
18. **Хуснутдинов Р. Ш.** Математическая статистика: учебное пособие. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2019. 205 с.

Поступила в редакцию 01.02.2024

Одобрена после рецензирования 06.03.2024

Принята к опубликованию 11.03.2024



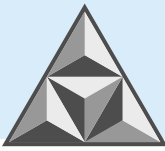
REFERENCES

1. **Yankovskiy, L.V., Kochetkov, A.V. & Kokodeeva, N.E.** (2019) *Technical regulation of the macro-roughness of road surfaces of automobile and logging roads*. Perm: Izd-vo Perm. nats. issled. politekhn. un-ta (in Russian).
2. **Andronov, S.Yu., Ivanov, A.F. & Kochetkov, A.V.** (2020) Highway repair with the use of fiber-containing asphalt concrete mixtures with dispersed binder, *Stroitel'nye materialy*, (4-5), pp. 62-67 (in Russian).
3. **Andronov, S.Yu., Ivanov, A.F. & Kochetkov, A.V.** (2020) Technology of production and application of dispersed reinforced asphalt concrete mixtures with basalt fiber, *Stroitel'nye materialy*, (3), pp. 70-75 (in Russian).
4. **Andronov, S.Yu., Alferov, V.I. & Kochetkov, A.V.** (2020) Improving the methods of introducing fiber fibers into hot and cold asphalt concrete mixtures, *Vestnik evrazijskoj nauki*, 12(2), p. 2 (in Russian).
5. **Andronov, S.Yu., Artemenko, A.A., Kokodeeva, N.E. et al.** (2017) *An attachment for processing fiber before introducing it into a road-building reinforced mixture*. Utility model patent RU 170486 U1 (in Russian).
6. **Andronov, S.Yu., Artemenko, A.A., Arzamascev S.V. et al.** (2017) *An attachment for processing fiber before introducing it into a road-building reinforced mixture*. Utility model patent RU 171296 U1 (in Russian).
7. **Kochetkov, A.V., Andronov, S.Yu., Ivanov, A.F., Kokodeeva, N.E., Kozin, A.S. & Pachina, O.V.** (2019) *Bitumen suspension*. Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t (in Russian).
8. **Akulova, N.E., Shchegoleva, N.V. & Stolyarov, V.V.** (2020) *TST-RISK*. Certificate of registration of the computer program RU 2020612667 (in Russian).
9. **Andronov, S., Kokodeeva, N., Vasiliev, Y., Kotlyarsky, E. & Kochetkov, A.** (2021) Impact study of basalt and polyacrylonitrile fibercon performance characteristics of asphalt concrete, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1258, pp. 473-485.
10. **Di, Yu, Wensheng, Wang, Yongchun, Cheng & Yafeng, Gong** (2016) Laboratory investigation on the properties of asphalt mixtures modified with double-adding admixtures and sensitivity analysis, *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. DOI: 10.1016/j.jtte.2016.09.002.
11. **Yongchun, Cheng, Di, Yu, Guojin, Tan & Chunfeng, Zhu** (2018) Low-Temperature Performance and Damage Constitutive Model of Eco-Friendly Basalt Fiber-Diatomite-Modified Asphalt Mixture under Freeze-Thaw Cycles, *Materials*, 11(11), 2148. DOI: 10.3390/ma11112148.
12. **Clara, Celauro, Filippo, Praticò** (2018) Asphalt mixtures modified with basalt fibres for surface courses, *Construction and Building Materials*, 170, pp. 245-253. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.058
13. **Yafeng, Gong, Haipeng, Bi, Chunyu, Liang & Shurong, Wang** (2018) Microstructure Analysis of Modified Asphalt Mixtures under Freeze-Thaw Cycles Based on CT Scanning Technology, *Applied Sciences*, 8(11), 2191, DOI: 10.3390/app8112191.
14. **Xiao, Qin, Aiqin, Shen, Yinchuan, Guo & Zhennan, Li** (2018) Characterization of asphalt mastics reinforced with basalt fibers, *Construction and Building Materials*, 159, pp. 508-516. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.11.012.
15. **Yafeng, Gong, Haipeng, Bi, Zhenhong, Tian & Guojin, Tan** (2018) Pavement Performance Investigation of Nano-TiO₂/CaCO₃ and Basalt Fiber Composite Modified Asphalt Mixture under Freeze-Thaw Cycles, *Applied Sciences*, 8(12), p. 2581. DOI: 10.3390/app8122581.
16. **Andronov, S.Yu., Stolyarov, V.V., Valiev, Sh.N. & Kochetkov, A.V.** (2023) The length of fiber strands for reinforcing asphalt concrete mix, *Smart composites in construction*, 4(3), pp. 55-65 [online]. Available at: https://drive.google.com/file/d/14QOFySop_RkqhnBY5BZ-gPqnCbgBJM8a/view (in Russian).
17. Pearson's table | Matematicus [online]. Available at: <https://www.matematicus.ru/teoriya-veroyatnosti/tablitzy/tablitza-pirsona> (accessed: February 19, 2024) (in Russian).
18. **Khusnutdinov, R. S.** (2019) *Mathematical statistics*. Moscow: *Infra-M* (in Russian).

Received 01.02.2024

Approved after reviewing 06.03.2024

Accepted 11.03.2024



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 910.4

Духовное кольцо Пскова

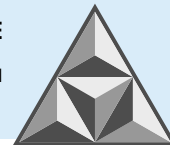
Д.А. Личак^{1,*}, Н.А. Личак²

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

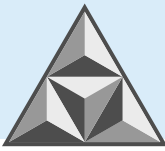


Псков известен уникальной архитектурой и богатейшим историко-культурным наследием, ежегодно привлекающим множество туристов. Примеры псковского зодчества являются неотъемлемой частью русской культуры и искусства. Представлен краткий обзор туристического пешеходного маршрута по г. Пскову, образующего своеобразное духовное кольцо. Оно включает внешний пояс каменных стен Крома как образец уникальной архитектурной школы военного зодчества, храмового наследия и фресковой живописи. Показано, что на основе сформированных ярких решений в развитии отечественного искусства псковичи сохранили глубокие духовные традиции с древнейших времен до наших дней.

Ключевые слова: архитектурное наследие Пскова, культура, религия, туристический маршрут

Для цитирования:

Личак Д.А., Личак Н.А. Духовное кольцо Пскова // *Умные композиты в строительстве*. 2024. Т. 5, вып. 1. С. 59-70. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v5n1_2024



SCIENTIFIC ARTICLE

The Sacred Heritage of Pskov

D.A. Lichak^{1,*}, N.A. Lichak²

Dmitry A. Lichak

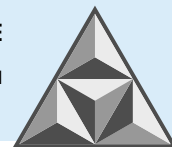
¹Yaroslavl State University named after K.D. Ushinsky, Yaroslavl, Russia

*d_lichak@mail.ru**

Nataliya A. Lichak

²Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

lichakna@ystu.ru

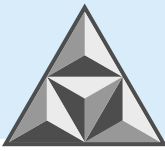


Pskov is an ancient Russian city known for its unique architecture, rich historical and cultural heritage. It attracts many tourists annually. Pskov architecture is an integral part of Russian culture and art. The paper presents brief overview of the tourist walking route around Pskov. However, this route forms a kind of sacred ring, including the external band of stone walls of the Kroma stone. It is an example of a unique architectural school of military architecture, temple heritage, and fresco painting. Hence, Pskovites preserved sacred traditions from ancient times, and successfully involved the modern architectural decisions into national art development.

Keywords: *architectural heritage of Pskov, culture, religion, tourist route*

For citation:

Lichak, D.A. & Lichak, N.A. (2024) The Sacred Heritage of Pskov, *Smart Composite in Construction*, 5(1), pp. 59-70 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v5n1_2024



ВВЕДЕНИЕ

За последние несколько лет развитие культурно-познавательного туризма в России, особенно в провинциальных городах страны, стало привлекать повышенное внимание со стороны архитекторов, представителей научного сообщества, туризма и бизнеса, что вполне оправдано. Огромный архитектурный, историко-культурный и природный туристический потенциал территории Российской Федерации используется пока не более чем на 20% [1]. Это свидетельствует о необходимости сочетания мощи государственной политики с активным участием в решении вопроса бизнес-структур, представляющих туризм.

Следует отметить, что география внутреннего туризма России стала разнообразнее. Путешественников интересуют и маршруты Золотого кольца, и круизные туры по Волге, и приграничные территории. В данной статье основное внимание уделено части «Серебряного маршрута» – городу Пскову.

Псков, известный своими памятниками, богатейшим архитектурным и историко-культурным наследием, привлекает туристов со всей страны.

Обязательными для посещения точками в древнем городе считаются Псковское городище, Кром (местный кремль) и Вечевая площадь – символ первого опыта демократического правления в нашем государстве. С городом соседствует два других древнерусских города – Великий Новгород и Изборск, упоминавшиеся в «Повести временных лет» в 862 году.

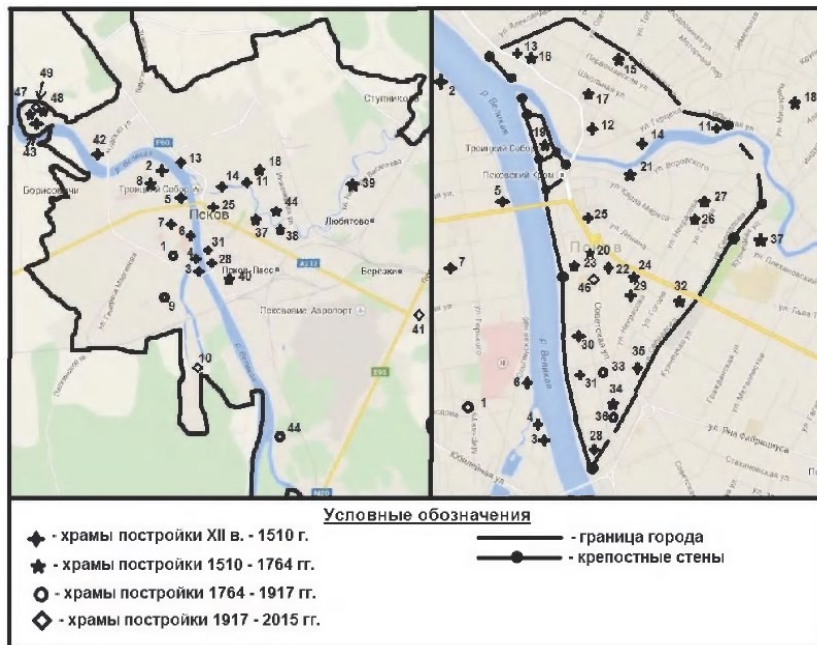
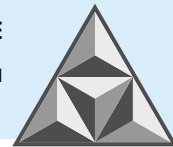
На территории Пскова располагается около полусотни православных храмов и монастырей. Десять церквей, уникальных в архитектурном, историческом и культурном плане объектов, входят в список мирового наследия ЮНЕСКО. Авторами настоящей работы приведена подборка памятников искусства и старины [2, 3], способных заинтересовать туриста с архитектурной и историко-культурной позиции и рекомендуемых для посещения.

Следует отметить, что исследование особенностей архитектуры в данном регионе России началось более ста пятидесяти лет назад [4]. В XX в. археологи и реставраторы вернули в историко-культурный оборот данные о большом количестве памятников зодчества средневекового города, обновили датировки и создали привлекательный туристический маршрут. Вместе с тем историческая территория Пскова к настоящему времени остается не до конца изученной [4]. Исследователи оперируют новыми архивными данными, постепенно вводя их в научный оборот.

ВОЕННАЯ МОЩЬ ДРЕВНЕГО ПСКОВА

Река Великая разделяет Псков на две части. По одну сторону реки расположен псковский Кром, представляющий собой крепостное военное сооружение древнего пограничного города. На противоположном берегу находятся небольшие церкви, представляющие собой центры духовного наследия старинного Пскова (рис. 1). Рассмотрим наиболее привлекательные архитектурные объекты, образующие своеобразное духовное «кольцо» псковской земли.

Исследователи, сообщая о псковских городских достопримечательностях, рассматривают Кром как центр притяжения историков, урбанистов, паломников, музейщиков, туристов, любителей военной истории.



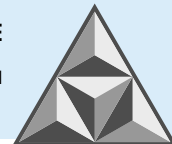
оригинал	перевод
Храмы постройки XII в.	Temples built in the XII century
Храмы постройки 1510-1764 гг.	Temples built in 1510-1764
Храмы постройки 1764-1917 гг.	Temples built in 1764-1917
Храмы постройки 1917-2015 гг.	Temples built in 1917-2015

Рис. 1. Размещение храмов на территории Пскова на современном этапе [5].

Цифрами обозначены церкви: 1 – А. Невского; 2 – Собор Иоанна Предтечи; 3 – Спасо-Преображенский собор; 4 – Стефана; 5 – Успения с Парома; 6 – Климента; 7 – Николы с Каменной ограды; 8 – Жен-мироносиц; 9 – Успения в Бутырках; 10 – Воскресения Христова; 11 – Козьмы и Дамиана с Гремячей горы; 12 – Козьмы и Дамиана с Примостья; 13 – Варлаама Хутынского; 14 – Богоявления с Запсковья; 15 – Образа с Жабьей Лавицы; 16 – Воскресения со Стадица; 17 – Ильи Мокрого; 18 – Иоанна Богослова; 19 – Троицкий собор; 20 – Троицкий собор; 20 – Николы с Усохи; 21 – Петра и Павла с Бую; 22 – Василия на Горке; 23 – Одигитрии; 24 – Анастасии Римлянки; 25 – Михаила Архангела; 26 – Покрова с торго; 27 – Николы с Торга; 28 – Покрова и Рождества с Пролома; 29 – Новое Вознесение; 30 – Преполовления Пятницы; 31 – Георгия со Взвоза; 32 – Сергия с Залужья; 33 – Успения с Полонища; 34 – Иоакима и Анны; 35 – Старое Вознесение; 36 – Рождества Богородицы; 37 – Варвары Великомученицы; 38 – Дмитрия в Поле; 39 – Николы в Любятово; 40 – Алексея с Поля; 41 – Веры, Надежды, Любви и матери их Софии; 42 – Петра и Павла на Брезе; 43 – Собор Рождества Богородицы; 44 – Константина и Елены; 45 – Пантелеймонов монастырь; 46 – Трех Святителей (домовая); 47 – Вознесения Господня (руины); 48 – Николы Чудотворца; 49 – Иосафа Снеготорского.

Fig. 1. Placement of churches, monasteries, and cathedrals, present time, Pskov, Russia [5]

Numbers indicate following churches: 1 – Alexander Nevskiy Cathedral; 2 – Cathedral of St. John Prodromos; 3 – Cathedral of the Transfiguration of the Saviour; 4 – Church of Stephen; 5 – Temple of Assumption (Paromeniye); 6 – Church of Clement; 7 – Church of Nikoloy ot Kamennoi Ogrady; 8 – Church of Zhen-Mironosits; 9 – Church of the Assumption in Butirki; 10 – Church of the Resurrection; 11 – Church of Kozmy and Damiana s Gremyachey Gory; 12 – Church of Kozmy and Damiana s Primostiya; 13 – Church of Varlaama Khutynskogo; 14 – Church of the Epiphany With Zapskovye; 15 – Church of Holy Picture from Zhabya Lavitsa; 16 – Church of the Resurrection so Stadischa; 17 – Temple of Elijah Proroka Mokrogo s Luga; 18 – Church of St. John the Evangelist; 19 – Holy Trinity Cathedral; 20 – Church of St. Nicholas the Wonderworker s Usoxki; 21 – Church of the Holy Apostles Peter and Paul s Buya; 22 – Basil Church on the Hill; 23 – Church of Odigitria; 24 – Church of Anastasia the Roman; 25 – Church of Archangel Michael; 26 – Church of the Intercession s Torga; 27 – Church of St. Nikolas s Torga; 28 – Church of Intercession and Christmas s Proloma; 29 – Church of New Ascension; 30 – Church of Mid-Pentecost of Good Friday; 31 – Church of St. George from Importation; 32 – Church of St. Sergiy s Zaluzhya; 33 – Church of the Assumption s Polonischa; 34 – Church of Ioakim and Anna; 35 – Church of Old Ascension; 36 – Church of Nativity of the Mother of God; 37 – Church of St. Barbara the Great Martyr; 38 – Church of St. Dmitry v Pole; 39 – Church of Nikoloy Chudotvortsya v Lyubyatovo; 40 – Church of St. Aleksey s Polya; 41 – Church of Faith, Hope, Charity and Their Mother Sophia; 42 – Church of Peter and Paul na Breze; 43 – Cathedral of Nativity of the Mother of God; 44 – Church of St. Konstantine and Elena; 45 – Monastery of St. Panteleimon; 46 – Family Chapel of Three Hierarchs; 47 – Church of the Ascension of our Lord Jesus Christ (ruins); 48 – Church of St. Nicholas the Wonderworker; 49 – Church of Iosaf Snegotorski



Попадая в мир средневекового повествования, путешественник окунается в то пространство и время, когда псковские жители жили по принципу «один год воюем, один год горим, один год мирно живем и строимся». Соответственно, кремлевскую территорию следует рассматривать как полис, который имел свой быт, строительство и военную парадигму, которая давала возможность местным жителям сохранять определенный уровень безопасности с древнейших времен до XVI в. [6]. Пять поясов девятикилометровых укреплений из дикого камня являлись защитным механизмом Довмонта города. Сорок башен, четырнадцать ворот, настенные и подземные переходы – сооружения, без которых псковское укрепление не смогло бы выстоять. Стены Кремля покорились завоевателям только однажды. В XV в. было завершено строительство пятой линии укрепления, в ходе которого деревянные крепости были заменены на каменные [6]. Материалом для строительства послужила хорошо обработанная известняковая плита – главный строительный материал псковских укреплений.

Постоянная фортификация привела к расширению города под надежной защитой. Псковский Кремль по праву считался самым безопасным как на Руси, так и за рубежом. Наибольший интерес в данном отношении вызывает Покровская башня, которая находилась на берегу реки Великой в юго-западном углу Кремля. Данное сооружение примечательно тем, что ее фундамент вырублен непосредственно в скале, на которой стоит башня (рис. 2).

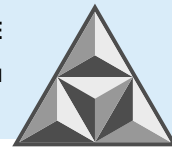


Рис. 2. Покровская башня Псковской крепости, 2023 (фото автора)
Fig. 2. Pokrovskaya Tower of the Pskov Fortress, 2023 (photo of the author)

Если попасть внутрь сооружения, можно увидеть пространство, защищенное толстыми стенами. На его территории в наши дни может свободно развернуться автомобиль. Высота башни вместе с венчающим ее шатром достигает 40 м.

ДУХОВНОЕ НАСЛЕДИЕ ПСКОВА В XXI СТОЛЕТИИ

Десять памятников древнего Пскова внесены в Список всемирного наследия на 43-й сессии Комитета ЮНЕСКО (2019, г. Баку), посвященной урегулированию спорных вопросов. В число охраняемых объектов вошли собор Иоанна Предтечи Ивановского монастыря (XIII в.), Преображенский собор (XII в.) Спасо-Мирожского монастыря, собор Рождества Богородицы (XIV в.) Снетогорского монастыря и церковь Михаила Архангела с колокольней (XIV в.), церковь Покрова от Пролома (XV-XVI вв.), церковь Космы и Дамиана с Примостья (XV-XVII вв.),



церковь Георгия со Взвоза (XV в.), церковь Богоявления со звонницей (XV в.), церковь Василия на Горке (XV в.), храм Николы со Усохи (XV-XVI в.). Остановимся подробнее на описании особенностей некоторых памятников из данного списка.

Сооружение псковских храмов изначально осуществлялось под руководством новгородских зодчих. С XIV-XV вв. псковские мастера начинают реализовывать собственные принципы военного, храмового и гражданского строительства, ускоряя возведение объектов на берегах рек Псковы и Великой. В этот период стали проявляться уникальные и утилитарные черты в строительстве храмов на той или иной территории, которые впоследствии были заимствованы московскими, троице-сергиевскими, казанскими, свияжскими мастерами [7].

Гости Пскова, паломники и местные жители посещают Мирожский монастырь, чтобы прикоснуться к единственным сохранившимся фрескам на стенах памятника мирового искусства XII в. – Спасо-Преображенского собора (1137–1143 гг.) (рис. 3).

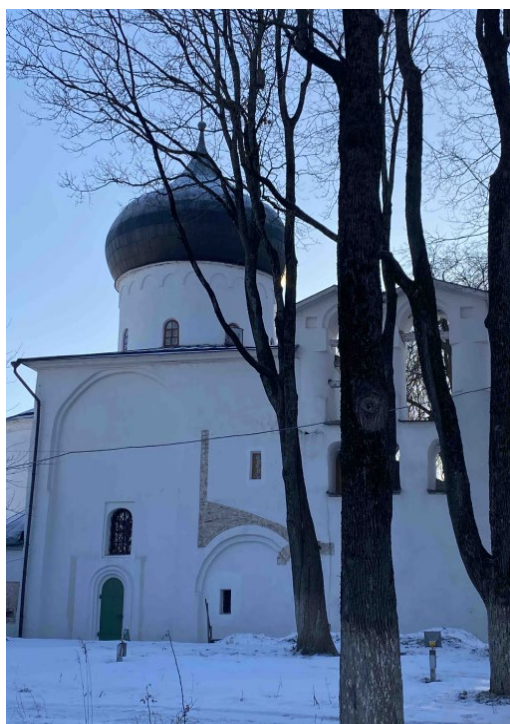


Рис. 3. Спасо-Преображенский собор Мирожского монастыря, 2023 (фото автора)

Fig. 3. Cathedral of the Transfiguration of the Savior of the Mirozh Monastery, 2023 (photo of the author)

Примечателен тот факт, что современные авторы используют традиции и механизмы написания икон, расшифровывая формулы состава древних красок и приготавливая их вручную. На мастер-классах иконописцы показывают возможности применения золотого покрытия в росписи икон, которые затем освящаются в храме [8].

Архитектурная композиция Мирожского монастыря включает в себя братские кельи и помещения, колокольню, монастырскую церковь, Спасо-Мирожский собор и различные деревянные постройки. Спасо-Преображенский собор отличается планировкой. Это связано с трансформацией канонов строительства – деления алтаря на две части (вместо трех). Потом «ошибку» исправили, трехчастное деление сохранили.

Псковская школа архитектуры была сформирована благодаря мастерам монастыря. Кроме того, фресковая живопись Спасо-Преображенского собора Мирожского монастыря считается уникальным памятником древнерусского искусства домонгольского периода (рис. 4).

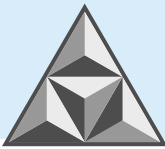


Рис. 4. Фресковая живопись Спасо-Преображенского собора Мирожского монастыря, 2023 (фото автора)

Fig. 4. Frescoes of the Cathedral of the Transfiguration of the Savior of the Mirozh Monastery, 2023 (photo of the author)

Иисус Христос на представленной фреске предстает реальным посредником между миром божественным и людским, принося себя в жертву человечеству [9]. Эти сохранившиеся изображения – жемчужины художественного цикла, оформленные с помощью иконографической программы в содержательной части гармоничного исполнения псковских мастеров.

Храм Георгия на Взвозе является единственным из пяти сохранившихся Георгиевских храмов Пскова (рис. 5). Церковь построена в XV в. (1494 г.) и с тех пор реже других подвергалась перестройкам. Поэтому реставраторы считают ее образцом псковской храмовой архитектуры данного периода.

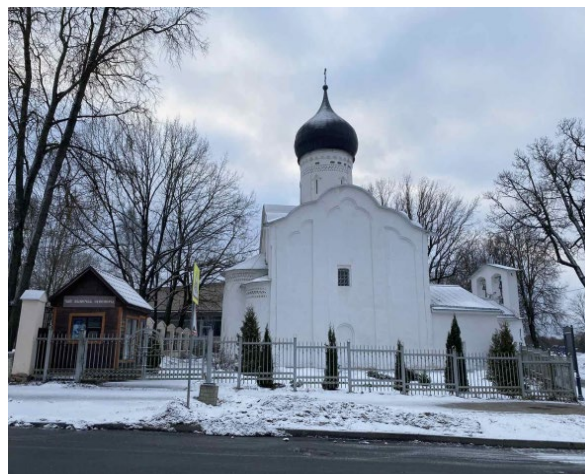
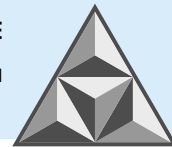


Рис. 5. Церковь Георгия со Взвоза, 2023 (фото автора)

Fig. 5. Church of St. George from Importation, 2023 (photo of the author)

Происхождение названия «со Взвоза» связано с местом – подъемом («взвозом») от реки к берегу, к которому торговцы подвозили иноземные товары и разгружали их для проведения таможенных процедур. Торговать на территории города зарубежные купцы не имели права. Таким образом, именно во Пскове появилась первая таможня на Руси.

На барабане храма расположены примечательные печные изразцы с изображениями двух мужчин – с бородой и безбородого, а также птицы и барса.



История церкви Покрова от Пролома (рис. 6) связана с событиями Ливонской войны (1558-1583 гг.), в ходе которой литовский князь Стефан Баторий осадил Псков (1581 г.).



Рис. 6. Церковь Покрова от Пролома, 2023 (фото автора)

Fig. 6. Church of the Intercession of Proloma, 2023 (photo of the author)

Единственный раз за всю военную историю Псковщины враг разрушил неприступную юго-западную башню и проломил вход в крепостной стене. Однако, согласно преданию, псковичи заранее были готовы к осаде. Старец Дорофей, опираясь на видение, связанное с ликом Богородицы, предположил, где и как будет нарушена целостность крепостных укреплений, указав место установки орудий. В благодарность за победу псковичи пристроили к церкви Покрова Богородицы еще одну. Приставка же «у Пролома» до сих пор напоминает о том времени и месте, где крепостная стена была проломлена польско-литовскими войсками.

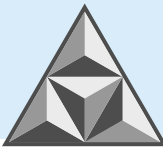
Как и другие храмы Пскова, этот памятник архитектуры возведен из местной известняковой плиты, которая сверху обмазана обожженной глиной и побелена (см. рис. 6). Декоративная внешняя отделка отсутствует, главы и апсиды украшены поясами из поребриков и бегунцов, орнаментом, характерным для псковского зодчества. Церковные главы покрыты лемехом – узорчатой дранью, которая имеет особое свойство сиять на солнце и кажется серебряной.

Завершить маршрут по духовному кольцу Пскова предлагаем рассмотрением уникального храмового комплекса начала XIX в. (1810 г.) – церкви Успения Пресвятой Богородицы с Полонища (рис. 7).



Fig. 7. Church of the Assumption from Polonishche, 2023 (photo of the author)

Fig. 7. Church of the Assumption s Polonischa, 2023 (photo of the author)



Храм в стиле провинциального классицизма выстроен в виде прямоугольника со скругленными углами. Объемно-планировочная композиция близка к симметрично-осевой. Главный вход – с запада, запасные входы (с северной и южной сторон) отмечены на фасадах четырехколонными портиками дорического ордера с треугольными фронтонами. Центральная композиционная ось отмечена широким световым барабаном, на котором равномерно расположены двенадцать световых проемов с ажурной расстекловкой, по очертанию близких к овалу. Барабан завершается карнизом простого профиля с дентикулами. Последний увенчан куполом, на котором установлен небольшой обшитый жстью барабанчик, несущий яблоко и крест. План построен по законам центральной и осевой симметрии; завершают его красивые арки [10].

ВЫВОДЫ

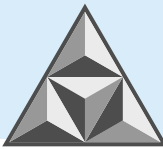
Псков – один из древних городов России, во многом недооцененный современными туристами. Сердцем Пскова является древний кремль с Троицким собором в живописном месте, на слиянии рек Псковы и Великой. Он упоминается в летописях 903 года от Рождества Христова в связи с женитьбой князя Игоря на Ольге, родом из поселения Выбуты, расположенного недалеко от Пскова.

За последние одиннадцать веков город сформировал глубокие духовные традиции. Попадая в мир псковской архитектурной традиции, очаровываешься как простотой художественных форм, так и глубочайшим смыслом и посылом, переданными средневековыми архитекторами своим потомкам. Монументальность композиционных решений, яркость красок во фресковых композициях создают потребность в поиске ответов на вопросы о смысле человеческого существования и бесконечности жизни.

Псковское искусство характеризуется соединением архитектурных находок в стиле новгородской школы с выражением уникальных направлений в строительстве фортификационных сооружений и древнерусских храмовых комплексов, формированием ярких оригинальных решений отечественного зодчества, известных с древнейших времен и до наших дней.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Культурный туризм – перспектива развития учреждений культуры // *Справочник руководителя учреждения культуры*. 2006. № 11. С. 72.
2. **Личак Н.А., Тюкина Л.А.** Память и воспоминания как необходимые элементы развития общества // *Государство, общество, церковь в истории России XX-XXI веков: мат. XVIII Междунар. науч. конф., (Иваново 03-04 апреля 2019 года)*. Иваново: Иван. гос. ун-т, 2019. С. 314-318.
3. **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.
4. **Антипов И.В., Скобкарева Д.С.** Архитектура Пскова XIV-XVI в.: основные итоги и перспективы изучения // *Древняя Русь. Вопросы медиевистики*. 2020. № 2. С. 172-188.
5. **Петракова А.Д.** Псковский Кремль // *Студенты - науке и практике АПК: мат. 107-й Межд. науч.-прак. конф. студентов и магистрантов (Витебск, 20 мая 2022 года)*. В 2 ч. Ч. 2. Витебск: Витеб. гос. акад. ветеринарной медицины, 2022. С. 237-238.
6. **Аракчеева Ж.М., Кушакова Н.В.** Псковский кремль как исторический центр и новое креативное пространство // *Национальные приоритеты России*. 2021. № 1 (40). С. 98-101.
7. **Дементьев В.С.** Памятники культовой архитектуры в историко-культурном наследии Нижневеликоречского региона // *Вестник Псковского государственного университета. Естественные и физико-математические науки*. 2015. № 6. С. 32-49.



8. **Ефимова Е.А.** Жемчужина Пскова – Спасо-Преображенский Мирожский мужской монастырь // *Гуманитарные науки в современном вузе: вчера, сегодня, завтра: мат. III Междунар. науч. конф. (Санкт-Петербург, 11 декабря 2020 года)*. СПб: Санкт-Петербург. гос. ун-т промышл. технологий и дизайна, 2020. С. 250-253.
9. **Киселева Н.А.** Художественные особенности фона фресок Мирожского монастыря // *Псков*. 2018. № 49. С. 135-142.
10. Объект культурного наследия федерального значения «Церковь Успения с Полонища», XIX в. // *Комитет по охране объектов культурного наследия Псковской области*: [сайт]. URL: <https://gkn.pskov.ru/press-centre/news/3255> (дата обращения 04.01.2024).

Поступила в редакцию 25.01.2024

Одобрена после рецензирования 06.03.2024

Принята к опубликованию 15.03.2024

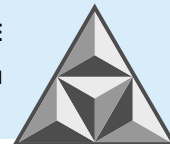
REFERENCES

1. Cultural tourism – a perspective for the development of cultural institutions. (2006) *Spravochnik rukovoditelya uchrezhdeniya kul'tury*, (11) (in Russian).
2. **Lichak, N.A. & Tyukina, L.A.** (2019) Memory and memories as necessary elements of the development of society, *Gosudarstvo, obshchestvo, cerkov` v istorii Rossii XX-XXI vekov: mat. XVIII Mezhdunar. nauch. konf. (Ivanovo, 03–04 aprelya 2019 goda)*, Ivanovo: Ivan. gos. un-t, pp. 314-318 (in Russian).
3. **Lichak, D.A. & Lichak, N.A.** (2023) Manor culture of the Yaroslavl region: on the issue of renovation of monuments, *Smart composites in construction*, 4(2) pp. 77-86 (in Russian).
4. **Antipov, I.V. & Skobkareva, D.S.** (2020) Architecture of Pskov of the XIV-XVI centuries: the main results and prospects of study, *Drevnyaya Rus'. Voprosy medievistiki*, (2), pp. 172-188 (in Russian).
5. **Petrakova, A.D.** (2022) Pskov Kremlin, *Studenty - nauke i praktike APK: mat. 107-j Mezhd. nauch.-prak. konf. studentov i magistrantov. (Vitebsk, 20 maya 2022 goda)*. Vitebsk: Viteb. gos. akad. veterinarnoy meditsiny, 2(2), pp. 237-238 (in Russian).
6. **Arakcheeva, Zh.M. & Kushakova, N.V.** (2021) Pskov Kremlin as a historical center and a new creative space, *Natsional'nye priority Rossii*, 1(40), pp. 98-101 (in Russian).
7. **Dementiev, V.S.** (2015) Monuments of cult architecture in the historical and cultural heritage of Nizhnevelikoretsky district, *Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye i fiziko-matematicheskie nauki*, (6), pp. 32-49 (in Russian).
8. **Efimova, E.A.** (2020) Pearl of Pskov – Спасо-Преображенский Мирожский Монастырь, *Gumanitarnye nauki v sovremennom vuze: vchera, segodnya, zavtra: mat. III Mezhdunar. nauch. konf. (Sankt-Peterburg, 11 dekabrnya 2020 goda)*, SPb: Sankt-Peterburg. gos. un-t promyshl. tekhnologiy i dizaiyna, pp. 250-253 (in Russian).
9. **Kiseleva, N.A.** (2018) Artistic features of the background of the frescoes of the Mirozhsky monastery, *Pskov*, (49), pp. 135-142 (in Russian).
10. Object of cultural heritage of federal significance "Church of the Assumption of the Blessed Virgin Mary from Polonishche", XIX century, *Комитет по охране объектов культурного наследия Псковской области* [online]. Available at: <https://gkn.pskov.ru/press-centre/news/3255> (accessed 04.01.2024) (in Russian).

Received 25.01.2024

Approved after reviewing 06.03.2024

Accepted 15.03.2024



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 72.03

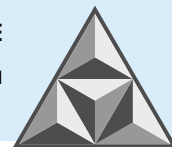
Методологический анализ практики фрагментарной регенерации исторической среды на примере стены Угличского кремля

Н.Н. Кудряшов*, С.В. Расторгуев

Николай Николаевич Кудряшов, Семен Васильевич Расторгуев

Ярославский государственный технический университет, Институт архитектуры и дизайна,
Ярославль, Российская Федерация

*knnaid@mail.ru**, *rastorguevsv@ystu.ru*

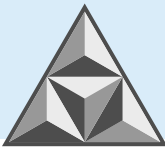


Рассматривается процесс проектирования регенерации исторической среды в методическом аспекте. Систематизируются основные принципы и методы контекстуального подхода к проектированию реконструкции – регенерации исторической среды. Приводятся рекомендации по оптимизации проектных решений объектов регенерации исторической среды. В качестве примера методологического анализа рассматривается проект фрагментарной реконструкции – регенерации рубленой стены Угличского кремля.

Ключевые слова: историческая среда, регенерация, методологический анализ, процесс проектирования, эстетическая оценка, Угличский кремль, стена рубленой крепости

Для цитирования:

Кудряшов Н.Н., Расторгуев С.В. Методологический анализ практики фрагментарной регенерации исторической среды на примере стены Угличского кремля // *Умные композиты в строительстве*. 2024. Т. 5, вып. 1. С. 71-82. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v5n1_2024



SCIENTIFIC ARTICLE

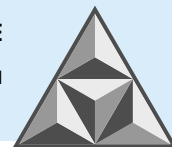
Methodological analysis of the fragmentary historical environment regeneration practice on the example of the Uglich Kremlin wall

N.N. Kudryashov*, S.V. Rastorguev

Nikolay N. Kudryashov, Semyon V. Rastorguev

Yaroslavl State Technical University, Institute of Architecture and Design, Yaroslavl, Russia

*knnaid@mail.ru**, *rastorguevsv@ystu.ru*

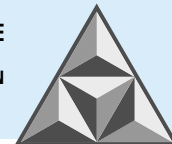


The paper considers the designing process of historical environment regeneration from a methodological point of view. The authors present a systematisation of the main principles and methods of the contextual approach to the design of historical environment reconstruction and regeneration. The authors also give recommendations for optimising the design solutions of the regeneration objects in the historical environment. The project of fragmentary reconstruction – regeneration of the Uglich Kremlin log wall is considered as an example of methodological analysis.

Keywords: historical environment, regeneration, methodological analysis, designing process, aesthetic assessment, Uglich Kremlin, log fortress wall

For citation:

Kudryashov, N.N. & Rastorguev, S.V. (2024) Methodological analysis of the fragmentary historical environment regeneration practice on the example of the Uglich Kremlin wall, *Smart Composite in Construction*, 5(1), pp. 71-82 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v5n1_2024



ВВЕДЕНИЕ

«Места, которые мы помним, и места, которые мы ожидаем увидеть, сопрягаются в настоящем – реальном времени. Память и ожидание фактически составляют подлинную перспективу пространства, сообщая ему глубину»

(А. Ван Эйк).

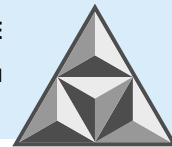
Регенерация исторической среды стала значительным направлением градостроительной практики с конца шестидесятых годов прошлого века, сохраняя свою актуальность вплоть до настоящего времени. Научная и практическая деятельность в сфере регенерации исторической среды изначально опиралась на постмодернистскую теорию «средового подхода», концепцию формирования «коллаж-сити» и методику тематического единства градостроительной композиции. Окончательное научно-методическое обоснование регенерации исторической среды сформировалось в теории контекстуализма. Контекстуализм является инклюзивным градостроительным процессом, соединяющим старое и новое, консервацию аутентичных объектов исторической среды и реконструкцию – возрождение ее (среды) утраченных фрагментов. Методология контекстуализма основана на тематическом и художественном единстве градостроительной композиции, эстетическом принципе «сложного целого» как единства в многообразии, включая метод урбанистического палимпсеста.

ФРАГМЕНТАРНАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ ИСТОРИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Процесс контекстуальной реконструкции – регенерации исторической среды основан на двуединстве ее сохранения и развития [1]. Дуализм «сохранения и развития», где развитие заключается в возрождении утраченных фрагментов и элементов исторической среды, утверждается в градостроительной практике на основе сочетания методов «ад хок» (ad hoc) [2] как воспроизведения местных особенностей и урбанизма ревитализации исторической среды. Биполярность процесса регенерации с программно-целевой установкой «сохраняя – развивать» или «развивая – сохранять» является концептуальной базой множества архитектурно-градостроительных практик, требующих глубокого методологического анализа и внимательного изучения.

Практика контекстуальной регенерации исторической среды является многогранным процессом, включающим следующий комплекс методических процедур и приемов:

1. Компенсационное строительство взамен утраченных элементов среды на исторической подоснове в условиях признания доминирующей ценности исторической среды в целом по правилам воспроизведения местных особенностей (ad hoc). При воспроизведении местных особенностей ключевым принципом является правило соблюдения трех основных параметров исторической среды – масштаба, модуля и ритма застройки по формуле минимумов или строгих неравенств: не больше большего и не меньше меньшего из соответствующих параметров исторической среды.



2. Адхократический подход (adhocracy) к процессу регенерации исторической среды реализуется на практике методами и средствами:

– неовернакуляра как формалистического воспроизведения композиционных (тектонических, пластических, ритмических и пропорциональных) характеристик исторической застройки (как правило, в условно-абстрактном, обобщенно-опосредованном виде);

– архитектурного палимпсеста, то есть совмещения в одном пространстве или объекте, наслаивания старого и нового как способа раскрыть, экспонировать историю места со стремлением выразить сущность «genius loci» («гения или духа места») [3];

– тематического единства градостроительной композиции как средства достижения смыслового и художественно-образного единства среды с «говорящей» историей, понятной драматургией и сценографией пространства при формировании визуальных коммуникаций с историей, памятью места;

3. Режим признания доминирующей ценности исторической среды в целом как рамочное условие контекстуальной регенерации с приоритетом локального над универсальным, принципиальной значимостью коренной, генетической связи новых – компенсационных сооружений с местом их создания, традиционной и сложившейся структурой градостроительной композиции [4].

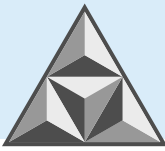
Использование данных методических принципов и приемов в градостроительной практике является условием гармоничного соединения старого и нового, элементов сохранения и развития в процессе регенерации исторической среды, устраняет возможность появления локальных диссонансов и деструктивных фрагментов.

Объективная профессиональная критика при анализе архитектурных проектов и существующих объектов всегда опирается на четыре фундаментальных вопроса в следующей, по степени важности, последовательности: зачем, где, что и как. Следуя этой логике, в качестве примера рассмотрим проект фрагментарной регенерации кремлевской стены как часть концептуальной программы возрождения Углича «Крепость, которой нет: возвращение реки городу» (рис. 1), разработанной Фондом архитектуры исторического Углича.

1. ЗАЧЕМ. Этот наиболее принципиальный вопрос является необходимым при обосновании целей и задач проектирования, важнейшим в определении проблем социального, экономического и градостроительного характера, которые должен решить тот или иной проект, то есть основополагающим вопросом в определении смыслов проектирования.

Ответ на вопрос о целесообразности данного проекта в буквальном смысле лежит на поверхности – поверхности территории под названием «Угличский кремль» (рис. 1) и содержится в самом названии проекта («Крепость, которой нет»).

Кремль (кром) – это всегда город в городе, огороженная, обнесенная стенами крепость, что ясно выражено этимологией самого слова «кремль»: КРОМлех, КРОМка, заКРОМа, УКРОМный и указывает на суть, истинный смысл явления – быть скрытым или же закрытым, защищенным, ограниченным объектом.



Эскизный проект фрагмента крепостной стены со стороны музея «Угличский кремль»



Проект фрагмента крепостной стены со стороны Казанской церкви



Проект фрагмента крепостной стены со стороны музея «Угличский кремль»

Рис. 1. Проект фрагментарной регенерации стены Угличского кремля

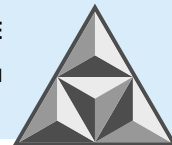
Fig. 1. Project of fragmentary regeneration of the Uglich Kremlin wall

В настоящее время территория бывшей крепости является открытым пространством без видимых границ (рис. 2), превратившись в ландшафтный парк без четкого периметра, и только старый заросший ров, прежде заполненный водой и превращавший территорию кремля в остров, напоминает о крепости [5].



Рис. 2. Панорама Угличского кремля

Fig. 2. Uglich Kremlin Panorama



Регенерация крепостной ограды вернет кремлевской территории ее исконный, истинный смысл, композиционную ясность и завершенность кремлевского ансамбля, сделает историю места физически ощутимой, реалистичной и, наконец, возродит и закрепит *genius loci* – «дух или гений места». Кроме того, с учетом мнения авторитетных специалистов Фонда архитектуры исторического Углича [6], фрагментарная реконструкция кремлевской стены станет одним из факторов расширения сервисной инфраструктуры туризма и создания новых рабочих мест на основе принятой стратегии развития общественных пространств и дизайн-кода историко-туристической среды. Фрагментарная реконструкция крепостной стены станет визуальной коммуникацией между прошлым и настоящим данного места, соединит реальность и воображение, станет основным элементом тематического парка как Центра событийного туризма с площадкой проведения фестивалей исторической реконструкции.

2. ГДЕ. В условиях регенерации исторической среды локация объектов регенерации должна максимально соответствовать исторической подоснове [7]. Определение локации объектов регенерации обычно уточняется методами архитектурной археологии и, при необходимости, физико-химическим анализом грунтовых слоев на месте предполагаемого строительства. В данном проекте реконструкция фрагмента крепостной стены может быть, с высокой вероятностью, локализована на кромке существующего крепостного рва в его западном или юго-западном секторе (иначе говоря, на западной или юго-западной границе открытого ландшафтного парка, существующего ныне). Этот участок парковой территории является оптимальным местом фрагментарной реконструкции крепостной стены, поскольку он максимально удален от историко-градостроительного комплекса Угличского кремля и отделен от него плотным массивом парковых деревьев. Эта природная кулиса выступит оптимальным нейтральным фоном для возводимого фрагмента рубленой крепостной стены и, являясь естественной ширмой-экраном, разделяющим стену и кремлевский ансамбль, устранив любую вероятность диссонанса между существующим и возводимым (старым и новым), диссонанса между исторической правдой – подлинностью и мифом-гипотезой в случае визуальной фальсификации истории.

3. ЧТО. Ответ на этот вопрос относится к области архитектурной типологии и определяет как функциональную структуру объекта, так и его объемно-пространственные параметры, совместно с общими характеристиками архитектурно-конструктивного решения. В типологическом аспекте регенерация фрагмента крепостной стены является объектом дизайна городской среды без внутреннего пространства, выступая в роли визуальной коммуникации – элемента тематического парка со сценографическим эффектом натурной иллюстрации истории, «гения места и духа времени». Оптимальным конструктивным решением может служить быстровозводимое некапитальное сооружение с возможностью его мобильной трансформации. Такое решение реализуется, в частности, путем использования сборно-разборной конструкции блок-модульного типа.

4. КАК. Это вопрос архитектурной формы, архитектурно-композиционного решения объекта регенерации – исторической реконструкции.

Основой эстетической оценки данного проекта является признание факта неизбежности гипотетического характера объекта регенерации, поскольку нет ни аутентичных примеров – аналогов и образцов строительства деревянных крепостей (рис. 3, 4), ни объективной базы для научной реставрации, кроме гипотетических графических и натуральных реконструкций. Существующие аналоги рубленых крепостей сформированы на основе графических реконструкций – образами из литературных источников по истории архитектуры.

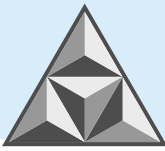


Рис. 3. Реконструкция фрагмента Лухской крепости, Ивановская область

Fig. 3. Reconstruction of a part of Lukh fortress, Ivanovo region

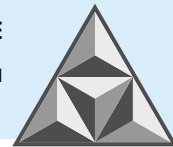
Таким образом, любая гипотеза в сфере исторической реконструкции – регенерации относится к направлению стилизации в жанре откровенного ретроспективизма постмодернистской архитектуры [8].



Рис. 4. Реконструкция Яблоновской крепости, Белгородская область, Белгородский историко-краеведческий музей

Fig. 4. Reconstruction of the Yablonovskaya fortress, Belgorod region, Belgorod Museum of Local History

Архитектурные формы в жанре откровенного ретроспективизма воплощают неоромантическую идеологию и национально-романтическое течение в русской архитектуре конца XIX – начала XX в. (неорусский стиль). Историческая стилизация в жанре откровенного ретроспективизма эффективно реализует принцип постмодернистской архитектуры «двойного кодирования», демонстрируя, с одной стороны, академическую чистоту стиля и, с другой стороны, простые и легко узнаваемые метафоры – мифологические и сказочные образы, воплощенные в популярных аттракционах тематических парков и сценических декорациях [9].



Историческое визионерство данной архитектуры полностью сообразно заявленным программным целям проекта фрагментарной регенерации стен Угличского кремля по созданию историко-архитектурного аттракциона с частичной компенсацией утраченного элемента кремлевского ансамбля и визуального воплощения «гения места» (genius loci).

Методика контекстуальной регенерации исторической среды предполагает визуализацию не только фрагмента крепостной стены Углича, но и сигнацию – закрепление средствами ландшафтной архитектуры и средового дизайна всей или максимально возможной ленты крепостных стен по границе территории кремля (рис. 5).

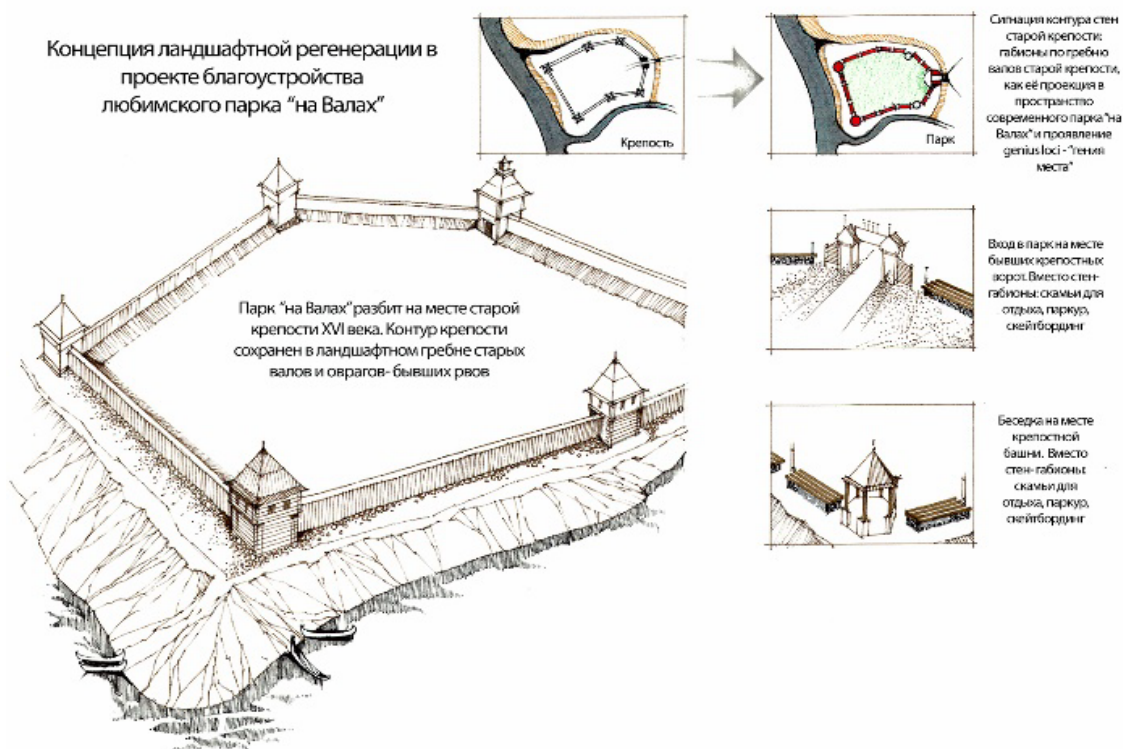


Рис. 5. Концепция сигнации стен Любимской крепости, город Любим Ярославской области.

Рисунок автора (Кудряшов Н.Н.)

Fig. 5. The wall signalling concept of the Lyubim fortress, Lyubim town, Yaroslavl region.

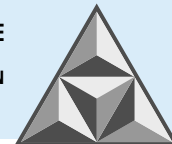
Drawing by the author (Kudryashov N.N.)

При таком подходе возведенный фрагмент не воспринимается как случайная деталь без соответствующего фона или контекста [10].

ВЫВОДЫ

Методологический анализ – лишь инструмент проектирования, а итог процесса регенерации исторической среды зависит от личного кредо архитектора.

В эстетическом и этическом аспекте результаты применения методических рекомендаций в проектировании могут быть различными – от академической чистоты архитектурной археологии до коллажирования в жанре поп-арт. Любая новая постройка меняет, трансформирует место. Эта трансформация, ранее уже описанная нами [11, 12], может обезличить, уничтожить «дух места», создав диссонанс в случае утраты чувства меры «переработанной» архитектуры, или же, как в данном случае, подчеркнуть особенности и ярко выразить сущность места.



СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Белоусов В.Н., Бочарова Н.Н., Васильченко В.А.** Реконструкция центров исторических городов. М.: Стройиздат, 1987.
2. **Проценко В.Б.** По месту (AD-HOC) // *Архитектурный альманах «Корпус»* №3. Раздел 8. [сайт]. URL: <https://cih.ru/k3/hoc.html>
3. Дух места (genius loci) М.: SPEECH, 2012. № 9. 288 с.
4. ООН. Конвенции и соглашения. Конвенция об охране всемирного культурного и природного наследия (Принята 16 ноября 1972 г. генеральной конференцией ООН по вопросам образования, науки и культуры). URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/heritage.shtml
5. Углич. Дыхание веков. М.: ООО Издательство «ПЛАНЕТА», 2007.
6. Фонд архитектуры исторического Углича [сайт]. URL: <https://ouglich.ru/>
7. **Яргина З.Н.** Градостроительный анализ. М.: Стройиздат, 1984. 245 с.
8. **Егорычев И.А., Кудряшов М.Н.** Историзм // *Архитектурный альманах «Корпус»* №3. Раздел 6. [сайт]. URL: <https://cih.ru/k3/ist.html>
9. **Кудряшов М.Н.** Анализ объектов Всемирного Наследия в условиях регенерации исторической среды. // *Сб. «Реставрация крупных архитектурных комплексов – путь к восстановлению исторической городской среды»*. ГМЗ «Ростовский кремль». 2020. С. 37-49.
10. **Яргина З.Н.** Эстетика города. М.: Стройиздат, 1991. 365 с.
11. **Кудряшов Н.Н.** Современные архитипы исторической среды в процессе ее реконструкции // *Умные композиты в строительстве*. 2021. Т. 2. Вып. 4. С. 84-94. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/V2N4_2021
12. **Кудряшов Н.Н.** Девизуализация как метод нейтрализации воздействия нового строительства на историческую среду в процессе ее регенерации // *Умные композиты в строительстве*. 2020. Т.1. Вып. 1. С. 81-88 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/V1N1_2020.

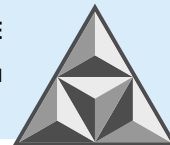
Поступила в редакцию 26.02.2024

Одобрена после рецензирования 07.03.2024

Принята к опубликованию 15.03.2024

REFERENCES

1. **Belousov, V.N., Bocharova, N.N., & Vasilchenko, V.A.** (1987) *Reconstruction of the centers of historical cities*. Moscow: Stroyizdat (in Russian).
2. **Protsenko, V.B.** At the place (AD-HOC) *Architectural almanac "Corpus" no. 3*. Section 8 [online]. Available at: <https://cih.ru/k3/hoc.html> (accessed 10.02.2024) (in Russian).
3. Spirit of place (genius loci) (2012) Moscow: SPEECH, (9) (in Russian).
4. UN. Conventions and agreements. Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage (Adopted on November 16, 1972 by the UN General Conference on Educational, Scientific and Cultural Affairs). [online]. Available at: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/heritage.shtml (accessed 02.02.2024).
5. Uglich. Breath of centuries. (2007) Moscow: "PLANETA" (in Russian).
6. Historical Uglich Architecture Fund [online]. Available at: <https://ouglich.ru/> (accessed 02.02.2024) (in Russian).
7. **Yargina, Z.N.** (1984) *Urban planning analysis*. Moscow: Stroyizdat (in Russian).
8. **Egorychev, I.A. & Kudryashov, M.N.** Historicism. *Architectural almanac "Corpus"*, (11). Section 6 [online]. Available at: <https://cih.ru/k3/ist.html> (accessed 10.02.2024) (in Russian).
9. **Kudryashov, M.N.** Analysis of World Heritage sites in the context of the historical environment regeneration (2020) *Sb. "Restavraciya krupnyh arxitekturnyh kompleksov – put` k vosstanovleniyu istoricheskoy gorodskoj sredy"*. SMR "Rostov Kremlin", pp. 37-49 (in Russian).
10. **Yargina, Z.N.** (1991) *Aesthetics of the city*. Moscow: Stroyizdat (in Russian).

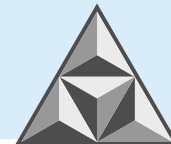


11. **Kudryashov, N.N.** (2021) Modern architecture types of the historical environment during its reconstruction. *Smart Composite in Construction*, 2(4), pp. 84-94 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/V2N4_2021 (accessed 10.01.2024) (in Russian).
12. **Kudryashov, N.N.** (2020) Devisualization as a method of neutralizing the impact of new construction on the historical environment during its regeneration. *Smart Composite in Construction*, 1(1), pp. 81-88 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/V1N1_2020 (accessed 10.02.2024) (in Russian).

Received 26.02.2024

Approved after reviewing 07.03.2024

Accepted 15.03.2024



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

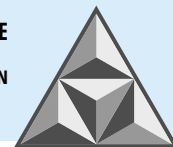
Имена и адреса электронной почты, введенные на сайте этого журнала, будут использованы исключительно для целей, обозначенных журналом; доступ к ним иных лиц и организаций для других целей не предоставляется.

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]:

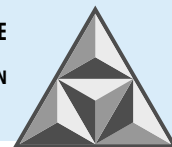
1 Фамилия, И.О. (англ.) & 2 Фамилия, И.О. (англ.) (Год) *Название монографии*. Город: Издательство. Общее число страниц (например, 456 с.) [1 Familiya, I.O. & 2 Familiya, I.O. (Год) *Перевод названия монографии на англ. язык*. Город: Издательство (транслитерация) Gorod: Izdatel'stvo. God izdaniya. 456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

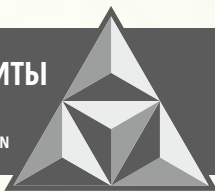
ЛИТЕРАТУРА

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., Khvastunov, 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 5, ВЫПУСК 1, 2024 | VOL. 5, ISSUE 1

