

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.51.2>

## ПРОБЛЕМЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БАЗАЛЬТОФИБРОБЕТОННЫХ РАСТВОРОВ

Научная статья

Матус Е.П.<sup>1,\*</sup>, Косолапов Г.В.<sup>2</sup><sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-0632-8280;<sup>1,2</sup> Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, Новосибирск, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (matus\_evlg[at]mail.ru)

## Аннотация

Проведен краткий анализ литературных данных основных особенностей приготовления базальтофибробетонных смесей. Сопоставляются прочностные и деформативные свойства базальтовых волокон и бетона с базальтовой фиброй. Рассмотрено влияние предварительной обработки фибр растворами соляной кислоты и гидроксида натрия. Опробованы способы введения фибр в смесь с предварительным помолом волокон с цементом и с использованием миксера с двумя насадками. Выявлено, что использование миксера с двойной насадкой позволяет получить смесь с большей долей распушенных волокон. Предварительная обработка фибр приводила к уменьшению подвижности смеси и снижению прочности на растяжение при изгибе на 10% при использовании щелочи и на 5% при использовании кислоты. Помол цемента с фиброй приводит к равномерному распределению фибр и увеличению активности цемента, но время помола с фиброй должно быть ограничено вследствие разрушения волокон.

**Ключевые слова:** мелкозернистый бетон, базальтовые фибры, прочность при растяжении, перемешивание строительных растворов, сцепление фибр с бетоном.

## PROBLEMS OF BASALT-FIBRE CONCRETE SOLUTIONS' PREPARATION

Research article

Matus Y.P.<sup>1,\*</sup>, Kosolapov G.V.<sup>2</sup><sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-0632-8280;<sup>1,2</sup> Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk, Russian Federation

\* Corresponding author (matus\_evlg[at]mail.ru)

## Abstract

A brief analysis of literature data of the main features of basalt-fibre concrete mixtures preparation is carried out. Strength and deformation properties of basalt fibres and concrete with basalt fibres are compared. The influence of pre-treatment of fibres with hydrochloric acid and sodium hydroxide solutions is examined. The methods of fibres introduction into the mixture with preliminary grinding of fibres with cement and using a mixer with two nozzles have been tested. It was found that the use of a mixer with a double nozzle allows to obtain a mixture with a higher proportion of pulverized fibres. Pre-treatment of the fibres resulted in a reduction in the mobility of the mix and a 10% reduction in flexural tensile strength when using alkali and 5% when using acid. Grinding cement with fibres results in a uniform distribution of fibres and increased cement activity, but the grinding time with fibres should be limited due to fibre breakdown.

**Keywords:** fine-grained concrete, basalt fibres, tensile strength, mortar mixing, adhesion of fibres to concrete.

## Введение

Одним из способов повышения прочностных свойств бетона является введение на стадии формирования базальтовой фибры [1], [2]. По заявлениям производителей фибры, ее введения позволяет увеличить прочность на растяжения при изгибе в 2 раза [3]. При этом рекомендуемый расход фибры составляет от 1 до 25 кг/м<sup>3</sup> (до 1% от объема). Учитывая типичные значения модулей упругости и пределов прочности на растяжение базальтовых фибр [4] в 60 ГПа и 3 ГПа и неармированного бетона 30 ГПа и 2 МПа соответственно, теоретически, при условии полного разрыва всех фибр в сечении испытываемого образца, его предел прочности на растяжение может увеличиться в 15 раз. Однако практика показывает, что рост предела прочности на растяжение при изгибе у бетона, армированного базальтовой фиброй рекомендованными способами, далек даже от заявляемых производителями значений и составляет не более 35% [5], [6], [7].

Столь далекие от теоретически возможных значений прочности обусловлены рядом факторов. Наиболее важным является достижение равномерности распределения волокон в бетоне. Так, в работе [8] рассмотрены несколько способов введения фибр: одновременная загрузка всех компонентов в смеситель; предварительное перемешивание фибр с цементом и водой; введение в раствор заранее подготовленной смеси диспергированных фибр с пластификатором и остаточной водой с использованием высокоскоростного роторного смесителя. В последнем случае удалось увеличить прочность на растяжение при изгибе до 65%.

Также важным фактором, влияющим на прочность фибробетона, является прочность сцепления волокон с цементным камнем. Механизмы сцепления могут быть как сугубо механическими, так и иметь химическую природу. Технология производства фибры включает в себя нанесения на их поверхность органических замасливателей. Очевидно, что наличие замасливателя существенно влияет как на процессы перемешивания так и на сцепление фибр с бетоном, а также на их коррозионную стойкость. Так, в работе [9] показано, что модификация состава замасливателя позволяет изменять осадку конуса фибробетонного раствора в диапазоне от 5 до 10 см. В работах [10], [11], [12]

рассмотрены проблемы выщелачивания базальтовых фибр в цементных бетонах и пути модификации поверхности фибр для ее предотвращения.

Однако в большинстве работ слабо рассмотрено влияние нанесения покрытий на прочность сцепления волокон с цементной матрицей и механизмы разрушения образцов при нагружении. В настоящей работе рассматриваются различия некоторых свойств базальтофибробетона с фибрами без защитных покрытий и с таковыми.

#### Методика исследования

Для приготовления образцов использовались базальтовые фибры Семтiх длиной 12 мм, диаметром 15 мкм, песок строительный сеяный ООО «Диола», фракция до 1,2мм, портландцемент ООО «Ачинский цемент» ЦЕМ II/A-Ш 32,5Б. Одновременно формовались три образца-балочки 40×40×160 мм. Состав компонентов на один замес: песок 1000 г, цемент 500 г, вода 250 мл, фибры 10 г. Использовались три вида фибр: а) в промышленном замасливателе; б) выдержанные 24 часа в 10% растворе NaOH; в) выдержанные 24 часа в 10% растворе NaCl. После выдерживания фибры промывались дистиллированной водой и высушивались в естественных условиях.

Для улучшения равномерности распределения фибр в мелкозернистом бетоне применялись два способа: а) одновременное перемешивание всех компонентов миксером с двойной насадкой (со встречным вращением); б) предварительный помол цемента с фибрами в ножевоймельнице длительность 5 и 10 с (одна загрузка цемента 50 г и фибр 1 г).

Образцы твердели в нормальных условия 28 суток, после чего определялся предел прочности на растяжение при изгибе.

#### Результаты и их обсуждение

С помощью оптического микроскопа были получены изображения фибр до и после обработки щелочью и кислотой, рис. 1.

На необработанных фибрах видны неравномерно распределенные пятна замасливателя. На фибрах, обработанных щелочью замасливателя практически не наблюдается. После обработки кислотой замасливателя также нет, но изменился цвет фибр: он стал более светлым.

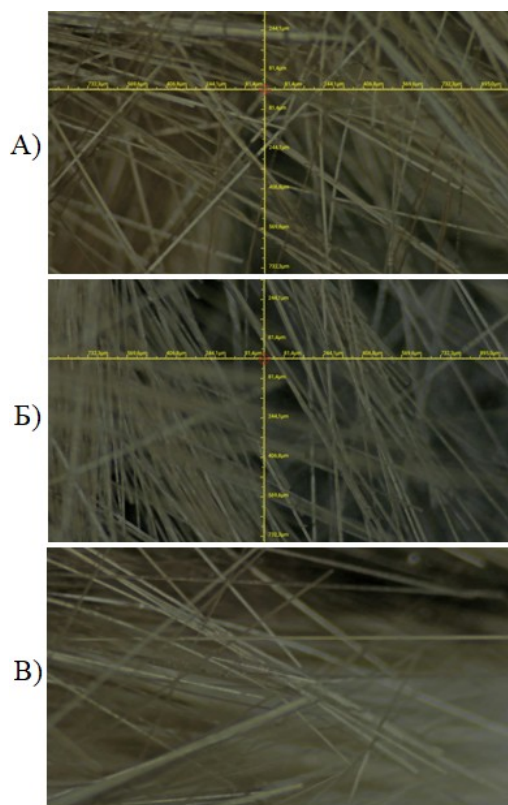


Рисунок 1 - Микрофотографии фибр  
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.51.2.1>

*Примечание: А) без обработки; Б) выдержанные в растворе NaOH; В) выдержанные в растворе NaCl*

Изображение партий обработанных фибр показано на рис. 2. Видно, что после обработки кислотой фибры равномернее распушены. Объем, занимаемый фибрами значительно увеличился по сравнению с исходным.

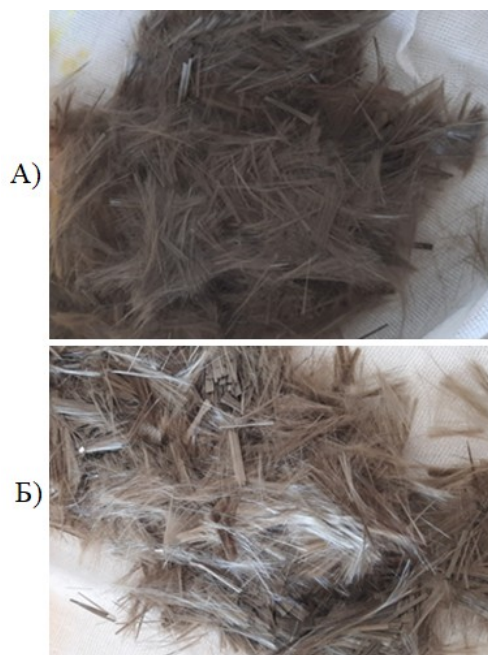


Рисунок 2 - Фибры, обработанные кислотой и щелочью  
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.51.2.2>

*Примечание: А) обработанные кислотой; Б) обработанные щелочью*

На рис. 3 показаны образцы фибр, смоченных водой. Необработанные фибры хорошо впитали воды. Необходимо отметить, что они образуют блоки из большого количества плотно упакованных волокон с продольным расположением. Фибры, обработанные щелочью, хуже впитывают воду, а фибры, обработанные кислотой, практически не смачиваются. Также было установлено, что предварительная промывка фибр водой не приводила к удалению замаслевателя с их поверхности.

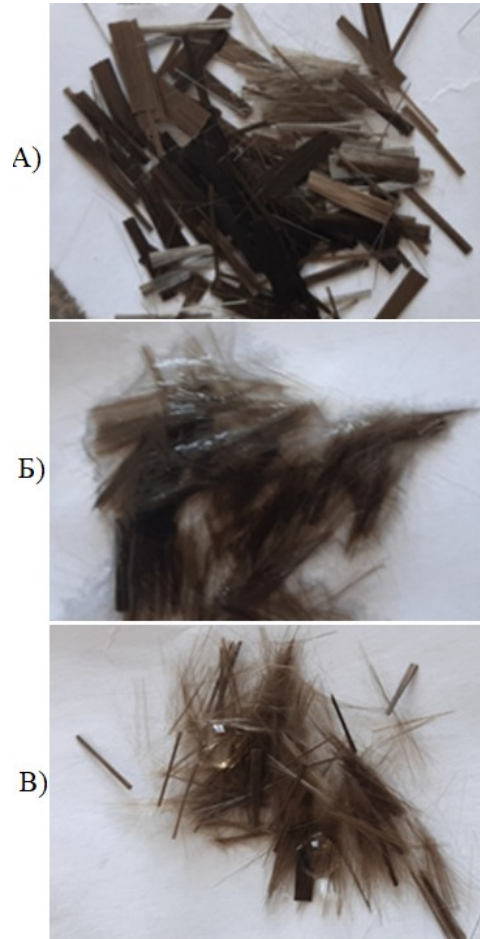


Рисунок 3 - Примеры смачивания фибр водой  
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.51.2.3>

*Примечание: А) не обработанные; Б) обработанные щелочью; В) обработанные кислотой*

В процессе перемешивания смеси с фибрами было выявлено значительное уменьшение подвижности обработанных фибр, особенно кислотой, что может быть объяснено их большей «распушенностью» и гидрофобностью. Однако использование погружного миксера с двойной насадкой позволяет улучшить равномерность распределения волокон в растворе. На рис. 4(а) видны блоки «нераспушенных» фибр в растворе при стандартном замешивании, тогда как на рис. 4(б) такие блоки практически отсутствуют.

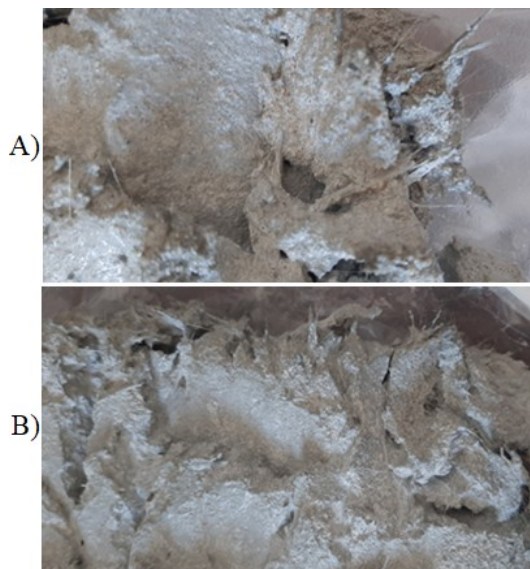


Рисунок 4 - Фотографии раствора с фибрами  
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.51.2.4>

*Примечание: А) после замешивания лопаткой; Б) после замешивания миксером с двойной насадкой*

Также для «разбивания» блоков необработанных фибр был применен способ их предварительного помола с цементом в ножевой мельнице. На рис. 5 представлены изображения типичных поверхностей разрушения различных образцов после испытаний. На поверхности образцов перемешанных традиционным способом видны выходы отдельных блоков нераспушенных фибр. После перемешивания миксером с двумя насадками значительно уменьшилось количество таких блоков. На образцах, в которых фибры предварительно были перемолоты с цементом, блоков фибр не наблюдается. С другой стороны, на этих образцах практически не видны и одиночные фибры, особенно в случае более длительного помола (10 с). Это может быть объяснено не только разрывом фибр при разрушении, но и их меньшей длиной в результате помола.

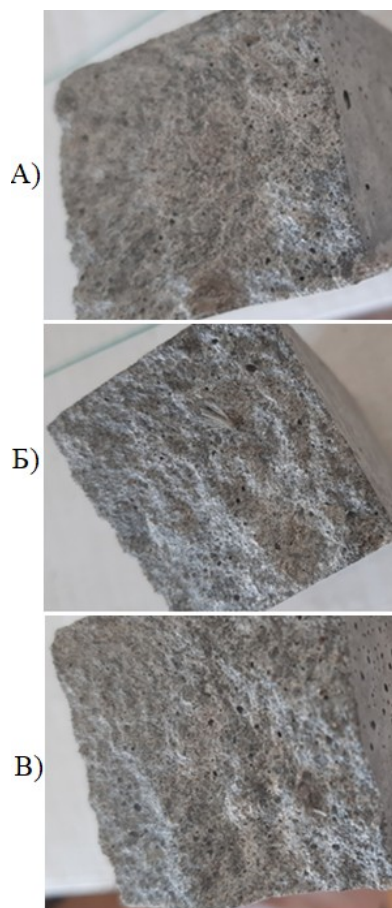


Рисунок 5 - Образцы после разрушения  
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.51.2.5>

*Примечание: А) раствор перешивался миксером; Б) раствор перемешивался лопаткой; В) состав с предварительным помолом*

В таблице приведены результаты испытаний образцов. В целом можно сделать заключение что, прочность образцов с предварительным помолом цемента оказалась выше на 5-15%, что может быть объяснено увеличением активности самого цемента в связи с ростом удельной поверхности зерен. При этом более длительный помол (10 с) с фибрами привел к снижению прочности до значений неармированных образцов, по-видимому, из-за значительного помола самих фибр. Наибольшая прочность оказалась у образцов с помолом длительностью 5 с.

Таблица 1 - Прочность образцов базальтофибробетона

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.51.2.6>

Состав №	Наличие фибр	Обработка фибр	Время помола с фибрами, с	Перемешивание миксером с двойной насадкой	Предел прочности при изгибе, МПа
1	-	-	-	+	6,6±0,2
2	+	-	-	+	6,9±0,3
3	+	HCl	-	+	6,5±0,2
4	+	NaOH	-	+	6,2±0,3
5	-	-	10 с	-	7,2±0,2
6	+	-	-	-	7,5±0,3
7	+	-	10 с	-	7,2±0,3
8	+	-	5 с	-	8,0±0,4

Что касается использование обработки фибр щелочью и кислотой, то прочность образцов с такими фибрами наоборот снизилась до 5% по сравнению с неармированными образцами. А использование необработанных фибр привело к увеличению прочности лишь на те же 5%. Предполагалось, что обработка фибр приведет не только к удалению замаслевателя, ухудшающего прочность сцепления, но и за счет создания неровностей на поверхности приведет к ее увеличению. Необходимо отметить, что характер разрушения базальтофибробетонных образцов не отличался от разрушения неармированного бетона, а именно разрушение было хрупким, без типичной «полки» пластичного разрушения, характерного для дисперсно-армированного бетона. С другой стороны, не наблюдалось и «выдергивания» значительного количества фибр при разрушении. Некоторая парадоксальность результатов снижения прочности с увеличением дисперсности распределения волокон указывает на отсутствие их совместной работы с матрицей. Фактически базальтовые фибры как бы вносят участки дефектов в бетон.

### Заключение

Таким образом, вопрос о целесообразности использования базальтовой фибры именно для увеличения предела прочности на растяжение бетона, на наш взгляд, остается открытым. Необходимо отметить, что теоретические прогнозы, основанные на значениях модуля упругости волокон и их предела прочности не совсем обоснованы, так как приводимые в литературе значения относятся возможно к самому начальному модулю упругости, а предел прочности волокон достигается при значительных удлинениях, не доступных для бетонной матрицы. Поэтому дальнейшую корректировку способов использования таких фибр в бетоне можно будет сделать только после полных дополнительных исследований механических свойств волокон, а также непосредственных экспериментов по определению их прочности сцепления с цементным камнем.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. Перфилов В.А. Мелкозернистые базальтофибробетоны / В.А. Перфилов, М.О. Зубова // Вестник ВГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. — 2014. — №38. — С. 85-93.
2. Нажуев М. П. Влияние рецептурных факторов на прочностные характеристики базальтофибробетонов / М.П. Нажуев, М.С. Самофалова, Д.М. Ельшаев и [др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2021. — №7. — С. 24-32.
3. Фибра базальтовая CemFibra R // Каталог продукции компании Cemmix. — URL: <https://cemmix.ru/catalog/dobavki-dlya-betona/fibra-bazaltovaya-cemfibra-r-paket-200g> (дата обращения: 25.06.2024).
4. Кузьмин К.М. Влияние химического состава и поверхностной модификации на механические свойства алюмосиликатных волокон : дисс. ... канд. хим. наук : 02.00.21 / Кузьмин Константин Львович. — Москва. — 2017. — 148 с.
5. Матус Е.П. Трещиностойкость сталефибробетона с малым процентом армирования / Е.П. Матус, А.П. Пичугин // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2015. — №11-12. — С. 85-90.
6. Мандрыгина А.А. Прочностные характеристики мелкозернистого и тяжелого бетона, армированного базальтовой фиброй / А.А. Мандрыгина, В.А. Шаманова // Инженерный вестник Дона. — № 5. — 2019. — С. 44.
7. Матус Е.П. Влияние фибрового армирования на прочностные свойства грунтобетона / Е.П. Матус // Актуальные вопросы архитектуры и строительства : материалы XV Международной научно-технической конференции, Новосибирск, 19–21 апреля 2022 года. — Новосибирск: НГАСУ. — 2022. — С. 266-274.
8. Кудяков А.И. Совершенствование технологии изготовления базальтофибробетона с повышенной однородностью / А.И. Кудяков, В.С. Плевков, К.Л. Кудяков // Строительные материалы. — 2015. — № 10. — С. 44-48.
9. Джалилов А.Т. Изучение модификации базальтовых волокон и влияние модифицированных волокон на свойства бетонных смесей / А.Т. Джалилов, Э.С. Соттикулов, М.У. Каримов // Universum: технические науки. — 2023. — №10. — С. 7-12.
10. Кнотько А.В. Модификация поверхностного слоя базальтового волокна для увеличения коррозионной стойкости в фиброцементных композитах / А.В. Кнотько, А.А. Меледин, В.В. Судьин и [др.] // Строительные материалы. — № 9. — 2010. — С. 89-93.
11. Рыбин В.А. Физико-химическое исследование базальтового волокна с защитными щелочестойкими покрытиями : автореферат дис. ... степени канд. хим. наук : 02.00.21 / Рыбин Вячеслав Андреевич. — Новосибирск. — 2016. — 22 с.
12. Урханова Л.А. Базальтофибробетон с улучшенными физико-механическими и экс-плуатационными свойствами с применением нанодисперсных модификаторов / Л.А. Урханова, С.А. Лхасаранов, В.Е. Розина и [др.] // iPolytechJournal. — № 11. — 2014. — С.175-180.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Perfilov V.A. Melkozernistye bazal'tofibrobetony [Fine-grained basalt fiber concrete] / V.A. Perfilov, M.O. Zubova // Vestnik VGASU. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura [Bulletin of VSUACE. Series: Construction and architecture]. — 2014. — No.38. — P. 85-93. [in Russian]
2. Nazhnev M. P. Vlijanie recepturnyh faktorov na prochnostnye harakteristiki bazal'tofibrobetonov [Influence of formulation factors on the strength characteristics of basalt fiber concrete] / M. P. Nazhnev, M. S. Samofalova, D. M. Elshaev [et. al] // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova [Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov]. — 2021. — No. 7. — P. 24-32. [in Russian]
3. Fibra bazal'tovaja CemFibra R [Basalt fiber CemFibra R] // Katalog produkcii kompanii Cemmix [Product catalog of the Cemmix company]. — URL: <https://cemmix.ru/catalog/dobavki-dlya-betona/fibra-bazaltovaya-cemfibra-r-paket-200g> (accessed: 25.06.2024). [in Russian]
4. Kuzmin K.M. Vlijanie himicheskogo sostava i poverhnostnoj modifikacii na mehanicheskie svojstva aljumosilikatnyh volokon [Effect of chemical composition and surface modification on mechanical properties of aluminosilicate fibers] : diss. ... of PhD in Chemical Sciences : 02.00.21 / Kuzmin Konstantin Lvovich. — Moscow. — 2017. — 148 p. [in Russian]
5. Matus E.P. Treshhinostojkost' stalefibrobetona s malym procentom armirovanija [Crack resistance of steel fiber concrete with a low percentage of reinforcement] / E.P. Matus, A.P. Pichugin // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo [News of higher educational institutions. Construction]. — 2015. — No.11-12. — P. 85-90. [in Russian]
6. Mandrygina A.A. Prochnostnye harakteristiki melkozernistogo i tjazhelogo betona, armirovannogo bazal'tovoj fibroj [Strength characteristics of fine-grained and heavy concrete reinforced with basalt fiber] / A.A. Mandrygina, V.A. Shamanova // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. — No. 5. — 2019. — P. 44. [in Russian]
7. Matus E.P. Vlijanie fibrovogo armirovanija na prochnostnye svojstva gruntobetona [Influence of fiber reinforcement on the strength properties of soil concrete] / E.P. Matus // Aktual'nye voprosy arhitektury i stroitel'stva : materialy HV Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoi konferencii, Novosibirsk, 19–21 aprelja 2022 goda [Actual issues of architecture and construction: materials of the XV International Scientific and Technical Conference, Novosibirsk, April 19-21, 2022]. — Novosibirsk: NSASU. — 2022. — P. 266-274. [in Russian]
8. Kudyakov A.I. Sovershenstvovanie tehnologii izgotovlenija bazal'tofibrobetona s povyshennoj odnorodnost'ju [Improvement of the technology of manufacturing basalt fiber concrete with increased homogeneity] / A.I. Kudyakov, V.S. Plevkov, K.L. Kudyakov // Stroitel'nye materialy [Construction materials]. — 2015. — No. 10. — P. 44-48. [in Russian]
9. Dzhililov A.T. Izuchenie modifikacii bazal'tovyh volokon i vlijanie modifitsirovannyh volokon na svojstva betonnyh smesej [Study of modification of basalt fibers and influence of modified fibers on properties of concrete mixtures] / A.T. Dzhililov, E.S. Sottikulov, M.U. Karimov // Universum: tehnicheckie nauki [Technical sciences]. — 2023. — No.10. — P. 7-12. [in Russian]
10. Knotko A.V. Modifikacija poverhnostnogo sloja bazal'tovogo volokna dlja uvelichenija korrozionnoj stojkosti v fibrocementnyh kompozitah [Modification of the surface layer of basalt fiber to increase corrosion resistance in fiber cement composites] / A.V. Knotko, A.A. Meledin, V.V. Sudyin [et. al] // Stroitel'nye materialy [Construction materials]. — No. 9. — 2010. — P. 89-93. [in Russian]
11. Rybin V.A. Fiziko-himicheskoe issledovanie bazal'tovogo volokna s zashhitnymi shhelochestojkimi pokrytijami [Physicochemical study of basalt fiber with protective alkali-resistant coatings] : abstract of dis. ... of PhD in Chemical Sciences : 02.00.21 / Rybin Vyacheslav Andreevich. — Novosibirsk. — 2016. — 22 p. [in Russian]
12. Urkhanova L.A. Bazal'tofibrobeton s uluchshennymi fiziko-mehanicheckimi i jeks-pluatacionnymi svojstvami s primeneniem nanodispersnyh modifikatorov [Basalt fiber concrete with improved physical, mechanical and operational properties using nanodispersed modifiers] / L.A. Urkhanova, S.A. Lhasaranov, V.E. Rozina [et. al] // iPolytechJournal. — No. 11. — 2014. — P.175-180. [in Russian]