

Строительные материалы и изделия

Научная статья

УДК 691.32

<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-2/97-104>

Н.А. Белькова, Е.И. Иващенко

БЕЛЬКОВА НАТАЛЬЯ АНАТОЛЬЕВНА – к.т.н., доцент, verlnata@mail.ru✉,<https://orcid.org/0000-0002-3005-5956>ИВАЩЕНКО ЕЛЕНА ИВАНОВНА – к.т.н., доцент, 00239@vgasu.vrn.ru,<https://orcid.org/0000-0002-8544-7519>

Воронежский государственный технический университет

Воронеж, Россия

Фиброармированные пенобетоны неавтоклавного твердения на основе базальтовой и полиамидной фибр: основные характеристики

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований определения прочностных характеристик фиброармированных цементных пенобетонов. В качестве дисперсной арматуры использовалось базальтовое и полиамидное фиброволокно длиной 12 и 20 мм. Экспериментальные исследования проведены для цементного пенобетона класса по плотности D1200, который может быть использован для производства плит перекрытия в малоэтажном домостроении. Установлено, что полиамидное фиброволокно длиной 12 мм в количестве 2–3 кг/м³ обеспечивают оптимальные значения показателей прочности при сжатии и изгибе без изменения заданных значений плотности.

Ключевые слова: пенобетон, базальтовое фиброволокно, полиамидное фиброволокно, прочность при сжатии, прочность при изгибе, структура

Для цитирования: Белькова Н.А., Иващенко Е.И. Фиброармированные пенобетоны неавтоклавного твердения на основе базальтовой и полиамидной фибр: основные характеристики // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2022. № 2(51). С. 97–104.

Введение

Интенсивное строительство зданий и сооружений, разнообразные климатические и социально-хозяйственные особенности Российской Федерации требуют, чтобы на современном строительном рынке были энерго- и ресурсоэффективные материалы.

Один из таких эффективных материалов – цементный неавтоклавный пенобетон. Согласно разработкам [5, 9], применение пенобетона для малоэтажного монолитного строительства является экономически обоснованным и целесообразным. При этом наиболее эффективно комплексное использование пенобетона различных классов по плотности для ограждающих и несущих конструкций. Так, в некоторых публикациях представлены результаты по составам конструкционно-теплоизоляционных и конструкционных пенобетонов различных плотностей, для которых получены нормативные характеристики прочности. Авторы рекомендуют для устройства перекрытий использовать пенобетон с классами по плотности D1400 – D1600 [7, 8].

Одним из направлений совершенствования технологии цементного пенобетона является его микроармирование волокнами различного вида – так называемой фиброй. Фибра, равномерно рассредотачиваемая в объеме бетонной матрицы, повышает ее прочность, ударостой-

кость и снижает образование усадочных трещин. В настоящее время для дисперсного армирования применяется большое количество разных видов фиброволокон: сталь, стекло, полимеры и природные волокна.

Прием микроармирования достаточно широко используется. Разработано большое количество составов дисперсно-армированного пенобетона для изготовления стеновых блоков [1–4, 10, 11]. Проведены исследования свойств и характера разрушения фибропеножелезобетонных перемычек класса по плотности D800, согласно которым установлена возможность их использования для малоэтажного строительства [6].

Таким образом, обобщая весь проанализированный материал, можно сказать, что основные разработки в области дисперсноармированного фибропенобетона касаются в основном материала классов по плотности D800 и ниже. Для широкого внедрения технологии монолитного возведения зданий из пенобетона необходимо разработать составы для несущих изгибаемых элементов (перемычек и плит перекрытия). И здесь применение дисперсного армирования позволит не только обеспечить заданные показатели по несущей способности, но и снизить материалоемкость строительства (прежде всего посредством снижения плотности используемого материала).

Цель данной работы – установить прочностные характеристики фиброармированных пенобетонов неавтоклавного твердения для несущих изгибаемых элементов малоэтажных жилых зданий.

Задачи исследования:

- 1) изучить влияние вида, расхода и длины фиброволокна на основные свойства фибропенобетона;
- 2) выявить особенности структуры полученного фибропенобетона.

Материалы и методы исследований

Эксперименты проводились в Центре коллективного пользования им. проф. Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета на электромеханической испытательной системе INSTRON 5982 с автоматической обработкой данных в «Bluehill Elements» (рис.1). Программное обеспечение, построенное на платформе Bluehill, отвечает требованиям испытаний на растяжение, сжатие, изгиб, срез и сдвиг.



Рис. 1. Электромеханическая испытательная система INSTRON 5982

Для исследований использовались следующие сырьевые материалы: портландцемент ЦЕМ I 42,5Н, песок местного карьера с модулем крупности $M_{кр} = 1,6–1,7$, добавка-пенообразователь «Пеностром». В ходе исследований осуществлялось дисперсное армирование

пенобетонной смеси фиброволокном различного вида (производитель – компания «ИНКОМ-СТРОЙ»), основные характеристики представлены в таблице.

Характеристики фиброволокна

№ п/п	Наименование фиброволокна	Плотность, г/см ³	Предел прочности на разрыв, МПа	Относительное удлинение при растяжении на разрыв, %
1	«Высокопрочное БАЗАЛЬТОВОЕ» 12 мм	2,83	2930	1,85
2	«Высокопрочное ПОЛИАМИДНОЕ» 12 мм	1,144	3389	18,3
3	«Высокопрочное ПОЛИАМИДНОЕ» 20 мм	1,144	3389	18,3

Прочностные характеристики фибропенобетонных неавтоклавного твердения изучались по четырем сериям образцов:

- первая серия изготавливалась без фибры;
- во вторую серию вводилась базальтовая фибра длиной 12 мм;
- в третью серию вводилась полиамидная фибра длиной 12 мм;
- в четвертую серию вводилась полиамидная фибра длиной 20 мм.

Фибра вводилась в количестве 1, 2, 3, 4 кг/м³ (дальнейшее увеличение расходов фиброволокна экономически не выгодно).

Базовый состав фибропенобетона:

- портландцемент – 510 кг/м³;
- песок – 510 кг/м³;
- вода – 250 кг/м³;
- пенообразователь – 1,53 кг/м³.

Плотность смеси соответствовала классу по плотности D1200.

Технология приготовления пенобетонной смеси: в смесителе турбинного типа (скорость перемешивания – 900 об/мин) осуществлялось приготовление пены из воды и добавки пенообразователя в течение 0,5–1 мин, затем в пену последовательно вводились фиброволокно, смесь песка и цемента, общая продолжительность приготовления смеси – 4 мин. После перемешивания контролировалась плотность пенобетонной смеси, затем производилось формирование образцов для испытаний заданных групп свойств.

Твердение полученных серий образцов осуществлялось в нормальных температурно-влажностных условиях. По истечении 28 суток были проведены испытания прочности на сжатие и изгиб по ГОСТ 10180-2012. Структура пенобетона исследовалась с помощью микроскопа DIGITAL MICROSCOPE с увеличением до 500 раз.

Результаты исследований и их обсуждение

На первом этапе исследований оценивалось влияние вида, расхода и длины фиброволокна на основные свойства фибропенобетона (рисунки 2–3). Полученные данные показывают, что введение фиброволокна любого типа обеспечивает повышение показателей прочности при сжатии и изгибе. По сравнению с эталонными образцами прочность на сжатие пенобетона с фиброй любого типа возрастает на 50–60%. При этом наблюдается оптимум по расходу фиброволокна – 3 кг/м³ смеси. Увеличение расхода фибры приводит к некоторому снижению (не более величины ошибки опыта) значений прочности при сжатии.

Наибольший интерес представляли результаты по показателю прочности при изгибе. Здесь также наблюдался положительный эффект от введения фиброволокна: показатели прочности возросли в 1,2–1,7 раза. Наиболее эффективным оказалось армирование пенобетона полиамидным фиброволокном длиной 12 мм: значения прочности при изгибе возросли с 1,4 МПа (для эталона без фиброволокна) до 2,4 МПа (для состава с максимальным расходом 4 кг/м³).

Введение базальтового фиброволокна оказалось наименее эффективным: рост значений прочности наблюдается только в диапазоне расходов до 2 кг/м^3 с 1,4 до 1,85 МПа (то есть примерно на 30%); дальнейшее увеличение расхода фиброволокна приводит к некоторому снижению показателя прочности при изгибе (до 1,68 МПа). Это можно объяснить характеристиками и структурой базальтовой фибры: она представляет собой минеральное волокно, которому присущи хрупкое разрушение и малые пластические деформации (см. таблицу), что и проявляется при повышении ее расхода сверх оптимального.

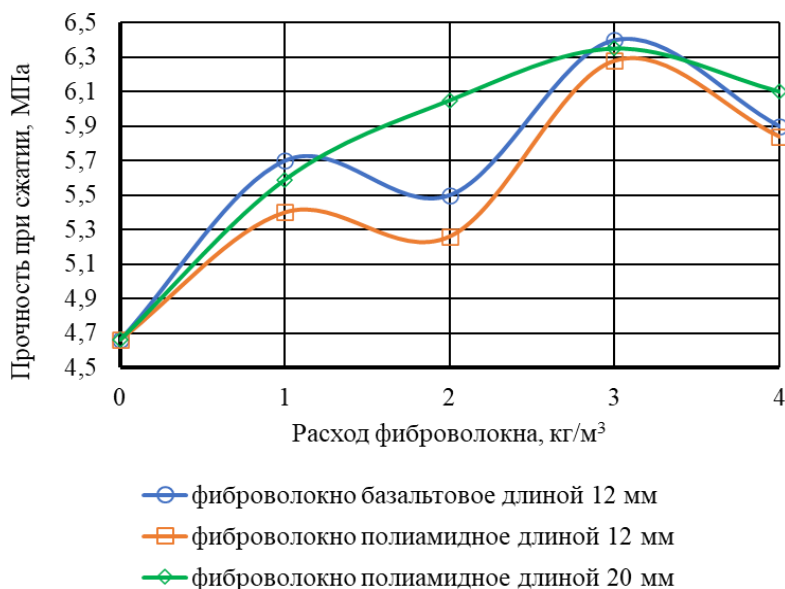


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии фибропенобетона от вида, длины и расхода волокна

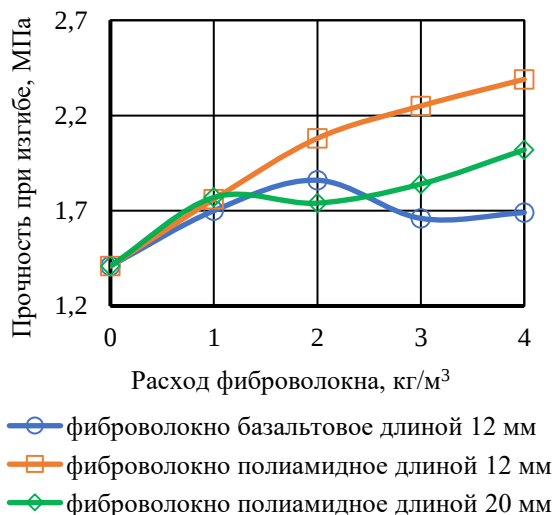


Рис. 3. Зависимость прочности при изгибе фибропенобетона от вида, длины и расхода волокна

Также установлено, что изменение длины полиамидного фиброволокна значительно влияет на показатели прочности при изгибе фибропенобетона. Так, для пенобетона с полиамидным фиброволокном длиной 20 мм установлено, что при низких расходах фибры (до 2 кг/м^3) ее введение мало влияет на значения показателя прочности при изгибе (повышение прочности составляет не более 30%), и только при максимальном расходе фиброволокна прочность при изгибе достигла максимального значения в 1,8 МПа. Такая разница в эффективности армирования пенобетона полиамидным фиброволокном различной длины можно объяснить формированием различной структуры фибропенобетона: при использовании фиброволокна

длиной 12 мм образуется более густая армирующая сетка благодаря большему количеству отдельных волокон в единице объема, чем при использовании фиброволокна длиной 20 мм.

На втором этапе исследований оценивалась структура пенобетона методом оптической микроскопии, при этом расход фиброволокна составил 3 кг/м³ (рис. 4).

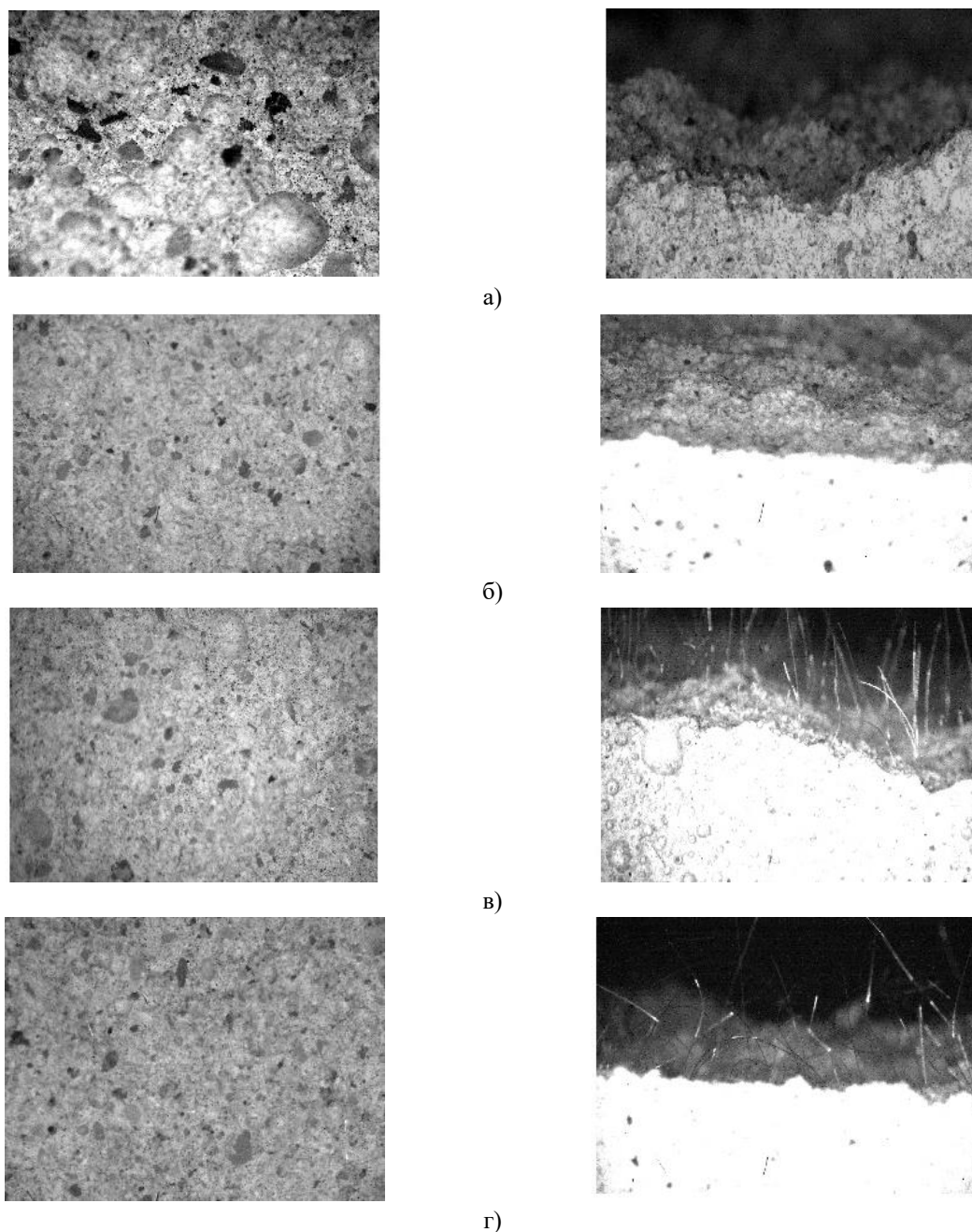


Рис. 4. Микрофотографии структуры фибропенобетонов (увеличение до 500 раз)

а – эталон; б – с базальтовым фиброволокном длиной 12 мм;

в – с полиамидным фиброволокном длиной 12 мм;

г – с полиамидным фиброволокном длиной 20 мм

По микрофотографиям структуры пенобетона установлено, что лучшая структура, обеспечивающая максимальные показатели прочности, формируется при дисперсном армировании полиамидной фиброй длиной 12 мм. Как видно по микрофотографии среза образца, введенные в пенобетон микроволокна из большого количества переплетенных между собой волокон формируют объемную армирующую сетку, упрочняющую структуру пенобетона. При использовании базальтового фиброволокна полученная структура близка к эталонной (без

фибры), что особенно заметно на срезе образца. Это еще раз подтверждает наше предположение о хрупком разрушении базальтовых волокон.

Полиамидное фиброволокно длиной 20 мм также формирует объемную армирующую сетку, но с меньшим количеством волокон и переплетений, что и проявляется в виде меньших значений прочности при изгибе.

Заключение

Наши исследования показали возможность использования фибропенобетона плотностью 1200 кг/м^3 для возведения несущих изгибаемых конструкций малоэтажных зданий. Установлено, что введение фиброволокна любого вида и размера улучшает показатели прочности при сжатии и изгибе фибропенобетона. Оптимален состав фибропенобетона, содержащий в качестве армирующей добавки полиамидное фиброволокно длиной 12 мм в количестве $2\text{--}3 \text{ кг/м}^3$.

В дальнейшем необходимо определить нормируемые характеристики прочности (нормативные и расчетные сопротивления при растяжении и сжатии) и деформативности (начальный модуль упругости, коэффициент трещиностойкости, предельные значения меры и характеристики ползучести) фибропенобетонов с различными видами фиброволокна. Также важно разработать детальные рекомендации по применению фибропенобетонов для несущих конструкций.

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баранова А.А., Боброва А.А. Дисперсное армирование ячеистого и мелкозернистого бетонов на основе микрокремнезема // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9, № 4. С. 694–703. URL: http://journals.istu.edu/izvestia_invest/journals/2019/31/articles/02?view=0 (дата обращения: 04.03.2022).
2. Белькова Н.А., Степанова М.П., Курбаков Д.Е., Супрунчик Г.Г. Управление физико-механическими характеристиками неавтоклавного цементного поризованного бетона путем его микроармирования // Вестник Инженерной школы Дальневост. федерал. ун-та. 2021. № 2(47). С. 82–90. doi: 10.24866/2227-6858/2021-2-9
3. Гурьева В.А., Белова Т.К. Свойства цементных растворов, дисперсно армированных модифицированным микроволокном // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 13. С. 124–127. URL: <http://vestnik.osu.ru/doc/1033/article/8809/lang/0> (дата обращения: 04.03.2022).
4. Использование отходов деревообрабатывающего производства в качестве армирующей добавки при производстве фибропенобетонов / Старостина И.В. и др. // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20, № 14. С. 136–138. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29880262> (дата обращения: 04.03.2022).
5. Кудяков А.И., Стешенко А.Б. Пенобетон дисперсно-армированный теплоизоляционный естественного твердения // Вестник ТГСАУ. 2014. № 2. С. 127–133. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21367280> (дата обращения: 04.03.2022).
6. Моргун Л.В., Моргун В.Н., Богатина А.Ю. Фибропенобетоны – аспекты их применения с целью ресурсо- и энергосбережения в строительстве. Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции / под. ред. С.У. Увайсова. Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского. 2019. С. 501–506. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41480232> (дата обращения: 04.03.2022).
7. Новиков М.В., Чернышов Е.М., Славчева Г.С. Механические свойства цементного поризованного бетона при одноосном сжатии с учетом закономерностей его ползучести // Строительные материалы. 2016. № 11. С. 26–31. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27390562> (дата обращения: 04.03.2022).
8. Славчева Г.С., Котова К.С., Афашагова Я.З. Перспективы применения неавтоклавных цементных поризованных бетонов в современном строительстве // Вестник ОН РААСН. [Белгород].

2014. Вып. 13. С. 211–217. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21514095> (дата обращения: 04.03.2022).
9. Федоров В.И., Унаров В.Н. Стеновые материалы из фибропенобетона на различных вяжущих // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 25–28 апреля 2017, Томск. Томск: Изд-во ТПУ, 2017. Т. 6. С. 68–70. URL: http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/45311/1/conference_tpu-2017-C21_V6_p_68-70.pdf (дата обращения: 04.03.2022).
 10. Хежев Т.А., Бештоев А.М., Алахмад М.Х., Ислам М.Т., Казиев К.В., Карданов А.Ю., Котиков М.У. Фибропенотубобетоны с дисперсным полиармированием // Инженерный вестник Дона. 2019. № 2. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5767> (дата обращения 04.03.2022).
 11. Шубин И.Л., Умнякова Н.П., Ярмаковский В.Н. Особо легкие бетоны новых модификаций – для решения задач ресурсоэнергосбережения. В защиту отечественных технологий // Технологии строительства. 2012. № 4. С. 42.

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2022. N 2/51

Building Materials and Productswww.dvfu.ru/en/vestnikis

Original article

<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-2/97-104>

Belkova N., Ivashchenko E.

NATALYA A. BELKOVA, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
verlnata@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3005-5956>

ELENA I. IVASHCHENKO, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
00239@vgasu.vrn.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8544-7519>

Voronezh State Technical University

Voronezh, Russia

Main characteristics of fibro-armed non-autoclaved foam concretes based on basalt and polyamide fibrils

Abstract. The article presents the results of experimental studies to determine the strength characteristics of fibro-armed cement foam concrete. Basalt and polyamide fibrous fibers 12 and 20 mm long were used as dispersed reinforcement. Experimental studies were carried out for cement foam concrete of the D1200 density class, which can be used for the production of floor slabs in low-rise house building. It has been found that polyamide fiber with a length of 12 mm per 2–3 kg/m³ provide the optimal values of compression and bending strength without changing the specified density values.

Keywords: foam concrete, basalt fiber, polyamide fiber, compressive strength, bending strength, structure

For citation: Belkova N., Ivashchenko E. Main characteristics of fibro-armed non-autoclaved foam concretes based on basalt and polyamide fibrils. FEFU: School of Engineering Bulletin. 2022;(2):97-104. (In Russ.).

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

REFERENCES

1. Baranova A., Bobrova A. Disperse reinforcement of cellular and fine-grained concrete based on microsilicon. *University news. Investment. Construction. Realstate*. 2019;9(4):694-703. URL: http://journals.istu.edu/izvestia_invest/journals/2019/31/articles/02?view=0 - 04.03.2022.
2. Belkova N., Stepanova M., Kurbaev D., Suprunchik G. Management of physical and mechanical characteristics of non-autoclaved cement porous concrete by its microarmament. *FEFU: School of Engineering*. 2021;(47):82-90. doi: 10.24866/2227-6858/2021-2-9
3. Guryeva V., Belova T. Properties of cement mortars dispersed reinforced with modified microfibre. *Bulletin of Orenburg State University*. 2015;(13):124–127. URL: <http://vestnik.osu.ru/doc/1033/article/8809/lang/0> – 04.03.2022.

4. Starostina I., Chernykh E., Ovcharova I., Starostina Yu., Antipova A. Use of wood processing wastes as a reinforcing additive in the production of fibropene concrete. *J. of the Technological University*. 2017;20(14):136-138. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29880262> – 04.03.2022.
5. Kudiyakov A., Steshenko A. Penobeton dispersed-reinforced thermal insulation of natural hardening. *Bulletin of TGSAU*. 2014;(2):127–133. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21367280> – 04.03.2022.
6. Morgun L., Morgun V., Bogatina A. Fibropene concrete – aspects of their use for the purpose of resource and energy saving in construction. *Innovative, information and communication technologies: a collection of works of the XVI International Scientific and Practical Conference*. Moscow, Association of graduates and employees of VVIA named after prof. Zhukovsky. 2019. 501–506 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41480232> – 04.03.2022.
7. Novikov M., Chernyshov E., Slavcheva G. Mechanical properties of cement porous concrete under uniaxial compression taking into account the laws of its creep. *Construction materials*. 2016;(11):26-31. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27390562> – 04.03.2022.
8. Slavcheva G., Kotova K., Afashagova Y. Prospects for the use of non-autoclave cement porous concrete in modern construction. *Vestnik OSN RAASN*. Belgorod, 2014;(13):211–217 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21514095> – case date: 04.03.2022.
9. Fyodorov V., Unarov V. Wall materials from fibropene concrete at various binding. *Perspectives on the development of fundamental sciences: a collection of scientific works of the XIV International Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists*, Tomsk, Russia. April 25–28, 2017. Tomsk, Publishing House of TPU, 2017; 6:68-70. URL: http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/45311/1/conference_tpu-2017-C21_V6_p68-70.pdf – 04.03.2022.
10. Khezhev T., Beshtoev A., Alakhmad M., Islam M., Kaziev K., Kardanov A., Kotikov M. Fibropenotuphobetones with dispersed polyformation. *Engineering Gazette of the Don*. 2019;(2). URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5767> – 04.03.2022.
11. Shubin I., Umnyakova N., Yarmakovsky V. Particularly light concretes of new modifications – for solving resource-energy saving problems. In defense of domestic technologies. *Construction technologies*. 2012;(4):42.