

УДК 691.32

© Эшанзада Саид Муджтаба, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: tsik@spbgasu.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-1-87-94

© Eshanzada Said Mujtaba, post-graduate student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: tsik@spbgasu.ru

ДИСПЕРСНО-ПОЛИАРМИРОВАННЫЙ БЕТОН ДЛЯ ГОРНЫХ ДОРОГ АФГАНИСТАНА

DISPERSED POLY-REINFORCED CONCRETE FOR THE MOUNTAIN ROADS OF AFGHANISTAN

Рассматриваются актуальные для Исламской Республики Афганистан вопросы повышения качества и долговечности автомобильных дорог, в первую очередь в труднодоступных условиях высокогорья, где с каждым годом наблюдается повышение требований к прочности, надежности и работоспособности дорожных покрытий. Удовлетворению этих требований способствует всё более широкое распространение фибробетонов, армированных различными видами дисперсной арматуры (как металлическими, так и неметаллическими фибрами) и обладающих улучшенными характеристиками. В результате проведенных исследований установлено, что одновременное использование стальной и синтетической фибры в варианте дисперсного полиармирования приводит к улучшению физико-механических характеристик тяжелого бетона и открывает серьезные перспективы в вопросах его применения в качестве конструкционного материала для дорожного строительства в труднодоступных районах высокогорья Республики Афганистан.

Ключевые слова: цементобетонные дороги, фибробетон, дисперсное полиармирование, прочность, трещиностойкость, долговечность.

The article deals with the issues of improving the quality and durability of highways. These issues are relevant for the Islamic Republic of Afghanistan., especially in hard-to-reach conditions of high mountains, where every year there is an increase in requirements for durability, reliability and serviceability of road surfaces. The satisfaction of these requirements is facilitated by the increasingly widespread use of fiber reinforced concrete reinforced with various types of dispersed reinforcement, both metallic and non-metallic fibers, having improved characteristics. As a result of the research, it has been established that the simultaneous use of steel and synthetic fiber in case of dispersed poly-reinforcement leads to an improvement in the physical and mechanical characteristics of heavy concrete and opens up serious prospects for its use as a structural material for road construction in hard-to-reach areas of the highlands of the Republic of Afghanistan.

Keywords: cement concrete roads, fiber concrete, dispersed reinforcement, strength, crack resistance, durability.

Введение

В настоящее время дорожная сеть Афганистана представлена в основном грунтовыми и асфальтобетонными дорогами с невысокими транспортно-эксплуатационными

характеристиками. До некоторых пор минимально необходимая протяженность таких дорог наилучшим образом сочетала интересы промышленности, сельского хозяйства и пассажирских перевозок. Дальнейшее раз-

витие всех отраслей народного хозяйства требует научного планирования стадийного расширения сети автомобильных дорог как составной части единой транспортной системы. При этом в проектных решениях необходим более глубокий учет различных местных, в том числе природных особенностей, технологии строительства и условий эксплуатации. Особенно актуальным это является для строительства дорог в труднодоступных условиях высокогорья, где с каждым годом наблюдается повышение требований к прочности, надежности и работоспособности дорожных покрытий. Это вызвано ростом грузоподъемности транспортных средств и интенсивности движения на дорогах. В результате растущих нагрузок существующие асфальтобетонные покрытия деформируются, на большинстве дорог появляются колеи, выбоины и трещины. В этих условиях выгодной альтернативой является цементобетонное покрытие, которое, по словам ведущего эксперта в области дорожного строительства профессора МАДИ В.В. Ушакова, при правильном содержании и своевременном ремонте может прослужить 60 лет и более.

Цементобетонные покрытия бывают монолитными и сборными, однослойными и двухслойными, армированными и неармированными. При этом применяется как обычный, так и предварительно напряженный бетон. Как правило, цементобетонное дорожное покрытие представляет собой плиту толщиной 18–24 см, в которой на определенном расстоянии (обычно через 20–30 м) устраивают швы (миллиметровые зазоры), заполняемые эластичной мастикой из битума. У таких дорог есть несомненные преимущества. Во-первых, они достаточно прочные и длительное время не нуждаются в ремонте, в то время как асфальт может прослужить максимум десять лет и при этом каждый год его нужно ремонтировать. Во-вторых, при движении большегрузных автомашин бетонная дорога не деформируется, а транспорт-

ным средствам для передвижения нужно на двадцать процентов меньше топлива, что, кроме всего прочего, является положительным для окружающей среды. В-третьих, такие дороги устойчивы к экстремальным погодным условиям и меньше разрушаются от осадков и перепадов температуры.

На сегодняшний день в Афганистане накоплен положительный опыт эксплуатации цементобетонных покрытий в различных климатических условиях за счет проведения восстановительных ремонтов. Если раньше бетонными дорогами пренебрегали, считая их дорогими, то сейчас у таких дорог есть все шансы стать альтернативной заменой асфальтобетона. Этому способствует и всё более широкое распространение фибробетонов, армированных различными видами дисперсной арматуры (как металлическими, так и неметаллическими фибрами) и обладающих улучшенными характеристиками прочности и долговечности в сравнении с обычным бетоном и железобетоном [1–5].

Наибольшее применение находят металлические волокна, обеспечивающие получение композитов с высокими физикомеханическими характеристиками [6–9]. Однако с развитием химических технологий всё больше внимания уделяется получению полимерной микро- и макрофибры. Несмотря на существенные отличия, и те и другие волокна данного типа способны к повышению долговечности бетонов, а некоторые волокна придают получаемым композитам прочностные свойства на уровне бетонов, армированных стальными фибрами [10–11]. В то же время степень изученности механизмов влияния полимерных синтетических волокон на структуру и свойства бетонов остается невысокой и требует дальнейшей значительной проработки. Нельзя отрицать и тот факт, что армирование только одним видом волокна, повышая отдельные характеристики материала, не оказывает влияния или даже ухудшает другие. Этого можно избежать, применив

дисперсное полиармирование, т. е. комбинацию, состоящую из нескольких разных по своим качествам волокон [12–15]. В данном случае каждый из использованных типов волокон улучшает определённые характеристики фибробетона, обеспечивая в совокупности комплекс необходимых свойств, тем самым обеспечивая возможность получения высокоэффективных бетонных композитов. Тема полидисперсного армирования пока изучена недостаточно и требует дальнейшего развития.

Учитывая это, цель данной статьи заключается в изучении влияния стальной фибры в комбинации с синтетическими микроволокнами на физико-механические характеристики бетонных композитов и создание эффективных дисперсно-полиармированных бетонов, обладающих высокими характеристиками прочности и долговечности для строительства дорог и транспортных сооружений в горах Исламской Республики Афганистан.

Материалы и методы

Для проведения экспериментальной части исследования использовались следующие материалы:

- портландцемент ЦЕМ I 42,5Н производства АО «Сланцевский цементный завод «Цесла»: нормальная густота цементного теста 30 %;

- песок кварцевый: модуль крупности $M_k = 2,3$, насыпная плотность $\rho_{\text{нас}} = 1450 \text{ кг/м}^3$, водопотребность 8 %;

- щебень гранитный фракции 5–10 мм: насыпная плотность 1350 кг/м^3 , плотность зёрен 2693 кг/м^3 , водопотребность 6,1 %;

- фибра стальная фрезерная: длина $l = 35 \text{ мм}$, эквивалентный диаметр $d = 0,35 \text{ мм}$ (рис. 1, а);

- микрофибра синтетическая *Fibrin XT*: длина $l = 18 \text{ мм}$, диаметр $d = 0,022 \text{ мм}$ (рис. 1, б).

Состав исходного бетона для получения фибробетонных образцов приведен в табл. 1.

При изготовлении фибробетонных образцов состав исходной бетонной смеси оставался постоянным, а количество фибры изменялось в зависимости от варианта армирования и составляло:

- при моноармировании: 0,88 % по объёму стальной фрезерной фибры;

- при полиармировании: 0,88 % по объёму стальной фрезерной фибры и 0,1–0,3 % по объёму синтетической микрофибры *Fibrin XT*.

При этом коэффициент армирования бетона стальной фиброй был предварительно выбран из ряда полученных ранее наиболее удачных вариантов и уточнен расчетом по методике [16].

Из указанных смесей были отформованы образцы для проведения испытаний фибро-



Рис. 1. Материалы для производства дисперсно-полиармированных бетонов: а — фибра стальная фрезерная; б — микрофибра синтетическая

Таблица 1
Состав бетонной смеси для получения лабораторных образцов

№ п/п	Компоненты бетонной смеси	Расход на 1 м ³ , кг
1	Цемент	333
2	Песок	835
3	Щебень	1033
4	Вода	136
5	Добавка Макромер П-17 НМ	2,17

бетонов на прочность и трещиностойкость, морозостойкость, водонепроницаемость и истираемость в соответствии с действующими нормативными документами.

Перед проведением испытаний образцы подвергались тепловлажностной обработке при температуре 80 °С, после чего выдер-

живались в нормальных условиях в течение 14 суток.

Результаты

Влияние фибрового армирования на прочность и трещиностойкость исходного бетона определялось по ГОСТ 10180–2012 и ГОСТ 29167–2021 соответственно [17, 18]. Полученные данные представлены в табл. 2 и 3.

Морозостойкость фибробетонных образцов оценивалась ускоренным дилатометрическим методом, водонепроницаемость — по методу «мокрого пятна», истираемость образцов определялась на лабораторном круге истирания Бёме.

Полученные данные приведены в табл. 4.

Вид фибробетонных образцов после испытания на истираемость представлен на рис. 2, на котором можно наблюдать плот-

Таблица 2
Прочностные характеристики бетонных и фибробетонных образцов

Вариант армирования	Средняя плотность $\rho_{ср}$, кг/м ³	Прочность при сжатии отдельных образцов $R_{сж}$, МПа	Прочность при сжатии (среднее значение) $R_{сж}^{\text{ср}}$, МПа	Внутрисерийный коэффициент вариации V_s , % (сжатие)	Прочность при изгибе отдельных образцов $R_{изг}$, МПа	Прочность при изгибе (среднее значение) $R_{изг}^{\text{ср}}$, МПа	Внутрисерийный коэффициент вариации V_s , % (изгиб)
Бетон без фибры (контрольный)	2341	43,5	43,6	5,2	6,85	6,74	6,8
	2336	45,3			7,07		
	2347	44,9			6,31		
	2326	40,6			6,15		
Моноармирование: стальная фибра 0,88 %	2419	53,0	49,4	5,7	10,06	9,66	7,8
	2418	47,8			9,70		
	2429	49,6			8,56		
	2415	47,2			9,23		
Полиармирование: стальная фибра 0,88 % / Fibrin XT 0,1 %	2441	49,0	50,7	6,8	10,59	11,44	6,1
	2454	52,4			12,02		
	2431	47,1			11,66		
	2446	54,2			10,63		
Полиармирование: стальная фибра 0,88 % / Fibrin XT 0,2 %	2429	55,8	54,8	5,8	8,42	9,69	8,0
	2435	56,6			9,96		
	2411	50,1			9,61		
	2428	56,5			9,51		
Полиармирование: стальная фибра 0,88 % / Fibrin XT 0,3 %	2426	50,6	49,7	5,5	9,76	10,50	7,7
	2411	49,7			11,18		
	2431	52,0			10,56		
	2417	46,4			9,56		

Примечание. Прочность бетона в серии образцов определена по трем образцам с наибольшей прочностью.

Таблица 3

Характеристики трещиностойкости бетонных и фибробетонных образцов

Вариант армирования	Удельные энергозатраты на упруго-пластическое деформирование до образования магистральной трещины G_p , Дж/м ²	Удельные эффективные энергозатраты на статическое разрушение G_f , Дж/м ²	Критический коэффициент интенсивности напряжений K_c , МПа · м ^{0,5}	Джей-интеграл J , Дж/м ²	Модуль упругости E , МПа
Бетон без фибры (контрольный)	30,5	98,4	1,0	16,6	32135
Моноармирование: стальная фибра 0,88 %	111,6	471,4	2,1	94,5	38970
Полиармирование: стальная фибра 0,88 % / <i>Fibrin XT</i> 0,1 %	179,2	555,7	2,7	161,3	40790
Полиармирование: стальная фибра 0,88 % / <i>Fibrin XT</i> 0,2 %	82,8	651,3	1,9	71,2	45208
Полиармирование: стальная фибра 0,88 % / <i>Fibrin XT</i> 0,3 %	63,9	793,4	1,5	39,8	33976

Таблица 4

Характеристика морозостойкости, водонепроницаемости и истираемости бетонных и фибробетонных образцов

Вариант армирования	Истираемость G , г/см ²	Марка по водонепроницаемости	Марка по морозостойкости	
			по 1-му базовому методу	по 2-му базовому методу
Бетон без фибры (контрольный)	0,90	W10	F ₁ 300	F ₂ 150
Моноармирование: стальная фибра 0,88 %	0,82	W16	F ₁ 400	F ₂ 150
Полиармирование: стальная фибра 0,88 % / <i>Fibrin XT</i> 0,1 %	0,83	W16	F ₁ 500	F ₂ 200
Полиармирование: стальная фибра 0,88 % / <i>Fibrin XT</i> 0,2 %	0,80	W16	F ₁ 400	F ₂ 200
Полиармирование: стальная фибра 0,88 % / <i>Fibrin XT</i> 0,3 %	0,80	W14	F ₁ 400	F ₂ 150

ную однородную структуру исследуемого композита с равномерным распределением фибры по объему, о чем свидетельствуют и показатели средней плотности, приведенные в табл. 2.

Выводы

Одновременное армирование бетона стальной фрезерной и синтетической фиброй способствует повышению прочности на сжатие и на изгиб. При этом стальные

волокна надёжно сцепляются с бетоном, что подтверждается испытаниями на истираемость: волокна не выносятся из бетонной матрицы и имеют с ней прочный контакт (см. рис. 2).

В результате введения фибры значительно повышается трещиностойкость исходного бетона, особенно в варианте полиармирования. При дополнительном насыщении сталефибробетона синтетической микрофиброй



Рис. 2. Вид образцов после испытания на истираемость

критический коэффициент интенсивности напряжений возрастает в 2,7 раза, а модуль упругости, характеризующий жесткость получаемого композита, в 1,4 раза.

С учётом предполагаемых условий эксплуатации важнейшими характеристиками исследуемого материала являются показатели долговечности. Результатом проведенных исследований стало повышение морозостойкости с марки F300 до F500 и водонепроницаемости с марки W10 до W16. При этом определяющее значение имеет наличие в составе композита синтетических волокон и их количество, которое для получения наилучшего сочетания исследуемых свойств должно составлять порядка 0,1 % по объему.

Введение синтетических волокон в состав фиброармированного бетона является эффективным и с точки зрения обеспечения износостойкости дорожного покрытия. В данном случае истираемость исходного бетона в результате дисперсного полиармирования снизилась с 0,9 до 0,8 г/см².

Таким образом, одновременное использование стальной и синтетической фибры в варианте дисперсного полиармирования приводит к комплексному улучшению физико-механических характеристик тяжелого бетона и открывает серьезные перспективы в вопросах его применения в качестве

конструкционного материала для дорожного строительства в труднодоступных районах высокогорья Республики Афганистан.

Библиографический список

1. Pukharens Yu. V., Akhmetov D., Akhazhanov S., Root Y., Jetpisbayeva A., Utepov Y., Akhmetov A. Effect of low-modulus polypropylene fiber on physical and mechanical properties of self-compacting concrete // *Case Studies in Construction Materials*. 2022. Т. 16. e00814.
2. Pukharens Yu. V., Klyuev S. V., Khezhev T. A., Klyuev A. V. The fiber-reinforced concrete constructions experimental research // *Materials Science Forum*. 2018. 931. Pp. 598–602.
3. Pukharens Yu. V., Panteleev D. A., Zhavoronkov M. I., Kostrikin M. P., Said Mujtaba Eshanzada. Modelling the behavior of fiber-reinforced concrete with low-modulus fibers under load // «MATEC Web of Conferences» 329, 04002 (2020), ICMTMT 2020.
4. Пухаренко Ю. В., Пантелеев Д. А., Жаворонков М. И. Влияние вида фибры и состава матрицы на их сцепление в фибробетоне // *Вестник СибАДИ*. 2022, Т. 19, № 3(85). С. 436–445.
5. Жаворонков М. И., Власова А. В., Лукина Е. Н., Шакаров А. Р. Определение характеристик трещиностойкости фибробетона, армированного стеклянной, базальтовой и углеродной фиброй // *Молодой ученый*. 2021. № 48(390). С. 39–47.
6. Давиденко М. А., Давиденко А. И., Матвеев В. П., Мирошникова А. А. Определение предельных деформаций сталефибробетона на основе энергетических зависимостей диаграмм деформирования бетона // *Научный вестник государственного образовательного учреждения Луганской Народной Республики*

«Луганский национальный аграрный университет». 2020. № 8–3. С. 214–219.

7. Пухаренко Ю. В., Морозов В. И., Пантелеев Д. А., Жаворонков М. И. Диаграммы разрушения цементных композитов, армированных аморфнометаллической фиброй // Эксперт: теория и практика. 2020. № 3(6). С. 50–55.

8. Хегай А. О., Кирилин Н. М., Хегай Т. С., Хегай О. Н. Экспериментальные исследования деформативных свойств сталефибробетона повышенных классов // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 6(83). С. 77–82.

9. Пухаренко Ю. В., Пантелеев Д. А., Жаворонков М. И. Диаграммы деформирования цементных композитов, армированных стальной проволоочной фиброй // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 2. С. 143–147.

10. Пухаренко Ю. В., Пантелеев Д. А., Жаворонков М. И. Оценка эффективности дисперсного армирования бетонов по показателям прочности и трещиностойкости // Вестник СибАДИ. 2022. Т. 19, № 5 (87). С. 752–761.

11. Кострикин М. П. Характер и степень взаимодействия синтетической макрофибры с цементным камнем // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 4(69). С. 116–120.

12. Пухаренко Ю. В., Пантелеев Д. А., Морозов В. И., Магдеев У. Х. Прочность и деформативность полиармированного фибробетона с применением аморфной металлической фибры // Academia. Архитектура и строительство. 2016. № 1. С. 107–111.

13. Пантелеев Д. А. Деформативные и прочностные характеристики полиармированного фибробетона // Известия КГАСУ. 2015. № 3(33). С. 133–139.

14. Пухаренко Ю. В., Инчик В. В., Пантелеев Д. А., Жаворонков М. И. Проектирование составов полиармированных фибробетонов // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 3(68). С. 118–122.

15. Кострикин М. П. Эффективность дисперсного полиармирования бетона низко модульными волокнами // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 2(85). С. 128–133.

16. Пухаренко Ю. В., Ковалева А. Ю. Вопросы и решения в проектировании состава фибробетона // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2009. № 1. С. 50–55.

17. ГОСТ 10180–2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: Стандартинформ, 2018. 28 с.

18. ГОСТ 29167–2021. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении [Текст]. М.: Российский институт стандартизации, 2022. 17 с.

References

1. Pukharenko Yu. V., Akhmetov D., Akhazhanov S., Root Y., Jetpisbayeva A., Utegov Y., Akhmetov A. Effect of low-modulus polypropylene fiber on physical and mechanical properties of self-compacting concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 2022, vol.16, e00814.

2. Pukharenko Yu. V., Klyuev S. V., Khezhev T. A., Klyuev A. V. The fiber-reinforced concrete constructions experimental research. *Materials Science Forum*, 2018, no. 931, pp. 598–602.

3. Pukharenko Yu. V., Panteleev D. A., Zhavoronkov M. I., Kostrikin M. P., Said Mujtaba Eshanzada. Modelling the behavior of fiber-reinforced concrete with low-modulus fibers under load. *Proceedings of MATEC Web of Conferences*, 2020, 329, 04002, ICMTMTE 2020.

4. Pukharenko Yu. V., Panteleev D. A., Zhavoronkov M. I. Vliyanie vida fibry i sostava matrity na ikh stseplenie v fibrobetone [Effect of the type of fiber and matrix composition on their adhesion in fiber concrete]. *Vestnik SibADI – Bulletin of SibADI*, 2022, vol. 19, no. 3(85), pp. 436–445.

5. Zhavoronkov M. I., Vlasova A. V., Lukina E. N., Shkarov A. R. Opredelenie kharakteristik treshchinostoykosti fibrobetona, armirovannogo steklyannoy, bazaltovoy i uglerodnoy fibroy [Determination of crack resistance characteristics of fiber concrete reinforced with glass, basalt and carbon fiber]. *Molodoy ucheniy – Young Scientist*, 2021, no. 48(390), pp. 39–47.

6. Davidenko M. A., Davidenko A. I., Matveev V. P., Miroshnikova A. A. Opredelenie predel'nykh deformatsiy stalefibrobetona na osnove energeticheskikh zavisimostey diagramm deformirovaniya betona [Definition of ultimate deformations of steel-fiber concrete on the basis of energy dependences of concrete deformation diagrams]. *Nauchnyy vestnik gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya Luganskoy Narodnoy Respubliki «Luganskiy natsional'nyy agrarniy universitet» – Scientific Bulletin of the State Educational Institution of the Lugansk People's Republic “Lugansk National Agrarian University”*, 2020, no. 8–3, pp. 214–219.

7. Pukharenko Yu. V., Morozov V. I., Panteleev D. A., Zhavoronkov M. I. Diagrammy razrusheniya tsementnykh kompozitov, armirovannykh amorfno-metallicheskoй fibroy [Fracture diagrams of cement composites reinforced with amorphous metal fiber]. *Ekspert: teoriya i praktika – Expert: Theory and Practice*, 2020, no. 3(6), pp. 50–55.

8. Khagay A. O., Kirilin N. M., Khagay T. S., Khagay O. N. Eksperimental'nye issledovaniya deformativnykh svoystv stalefibrobetona povyshennykh klassov [Experimental studies of deformative properties of steel-fiber concrete of higher classes]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2020, no. 6(83), pp. 77–82.

9. Pukhareno Yu. V., Pantelev D. A., Zhavoronkov M. I. *Diagrammy deformirovaniya tsementnykh kompozitov, armirovannykh stal'noy provolochnoy fibroy* [Deformation diagrams of cement composites reinforced with steel wire fiber]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo – Academia. Architecture and Construction*, 2018, no. 2, pp. 143–147.
10. Pukhareno Yu. V., Pantelev D. A., Zhavoronkov M. I. *Otsenka effektivnosti dispersnogo armirovaniya betonov po pokazatelyam prochnosti i treshchinostoykosti* [Evaluation of the effectiveness of dispersed reinforcement of concrete in terms of strength and cracking resistance]. *Vestnik SibADI – Bulletin of the SibADI*, 2022, vol. 19, no. 5 (87), pp. 752–761.
11. Kostrikin M. P. *Kharakter i stepen' vzaimodeystviya sinteticheskoy makrofibrы s tsementnym kamnem* [The nature and extent of interaction of synthetic macro-fiber with cement stone]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 4 (69), pp. 116–120.
12. Pukhareno Yu. V., Pantelev D. A., Morozov V. I., Magdeev U. Kh. *Prochnost' i deformativnost' poliarmirovannogo fibrobetona s primeneniem amorfnoy metallicheskoй fibrы* [Strength and deformability of poly-reinforced fibrous concrete with amorphous metal fiber]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo – Academia. Architecture and Construction*, 2016, no. 1, pp. 107–111.
13. Pantelev D. A. *Deformativnye i prochnostnye kharakteristiki poliarmirovannogofibrobetona* [Deformative and strength characteristics of poly-armored fiber concrete]. *Izvestiya KGASU – Proceedings of KGASU*, 2015, no. 3(33), pp. 133–139.
14. Pukhareno Yu. V., Inchik V. V., Pantelev D. A., Zhavoronkov M. I. *Proektirovanie sostavov poliarmirovannykh fibrobetonov* [Designing of poly-fiber-reinforced concrete compositions]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 3(68), pp. 118–122.
15. Kostrikin M. P. *Effektivnost' dispersnogo poliarmirovaniya betona nizkomodul'nymi voloknami* [Efficiency of dispersed polyarming concrete with low-modular fibers]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2021, no. 2 (85), pp. 128–133.
16. Pukhareno Yu. V., Kovaleva A. Yu. *Voprosy i resheniya v proektirovanii sostava fibrobetona* [Problems and solutions in designing the composition of fiber concrete]. *ALITinform, Tsement. Beton. Sukhie smesi – ALITinform: Cement. Concrete. Dry Mixtures*, 2009, no. 1, pp. 50–55.
17. GOST 10180–2012. *Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nykh obraztsam* [GOST 10180-2012. Concrete. Methods of determination of strength by control samples]. Moscow, Russian Institute for Standardization Publ., 2018, 28 p.
18. GOST 29167–2021. *Betony. Metody opredeleniya kharakteristik treshchinostoykosti (vyazkosti razrusheniya) pri staticheskom nagruzhении* [GOST 29167-2021. Concrete. Methods for determining the characteristics of crack resistance (fracture toughness) under static loading]. Moscow, Russian Institute for Standardization Publ., 2022, 17 p.