

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-24-32

Нажуев М.П., *Самофалова М.С., Ельшаева Д.М.,
Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А., Курбанов Н.С., Ефимов И.И.

Донской государственный технический университет

*E-mail: mary.ss17@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ РЕЦЕПТУРНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАЗАЛЬТОФИБРОБЕТОНОВ

Аннотация. На сегодняшний день дисперсно-армированные бетоны являются перспективным конструкционным строительным материалом. Целью данного исследования является изучение основных прочностных характеристик базальтофибробетона за счет варьирования рецептурных факторов, а именно: изменения процентного соотношения фракций крупного заполнителя и процента фибрового армирования. Всего было изготовлено и испытано 18 серий базовых образцов стандартного размера: 27 кубов с размерами 100×100×100 мм для испытаний на сжатие; 27 призм с размерами 100×100×400 мм для испытаний на растяжение при изгибе. Также были проведены расчеты прочностных характеристик в зависимости от рецептурных факторов, расчеты производились методом математического планирования эксперимента – полнофакторный эксперимент (ПФЭ 2²). По результатам исследования методом наименьших квадратов были получены базовые уравнения регрессии, которые представлены в виде полиномов 2-ой степени. На основании полученных результатов сделан вывод о том, что наиболее эффективным будет применение базальтовой фибры в количестве 4,5 % от массы бетонной смеси и применение крупного заполнителя с содержанием фракции 5–10 мм в количестве 40 %, а фракции 10–20 мм в количестве 60 %. Практический потенциал полученных результатов будет заключаться в разработанных технологических рекомендациях в плане технологии и рецептуры фиброармированных бетонов для получения изделий и конструкций повышенного качества.

Ключевые слова: прочность, базальтовая фибра, рецептурные факторы, фибра, процент фибрового армирования, фибробетон.

Введение. На сегодняшний день дисперсно-армированные бетоны достаточно широко распространены в различных видах строительства. Фибробетоны в сравнении с традиционными бетонами имеют ряд преимуществ, а именно: более высокую ударную прочность, прочность на растяжение, по таким показателям как водонепроницаемость, истираемость, морозостойкость, жаропрочность, трещиностойкость они также превосходят традиционные бетоны [1–3].

Основываясь на опыте зарубежной и отечественной строительной практики применение фибробетона наиболее эффективно при изготовлении конструкций и изделий, имеющих криволинейную поверхность, при изготовлении изгибаемых и ударостойких конструкций, а также в тонкостенных плоских конструкциях.

Существуют различные виды фибр, на современном рынке их номенклатура довольно обширна, начиная от менее распространенных и дорогостоящих – углерода, вольфрама, карбида, нитрида кремния, до широко распространенных – полимерных, стальных, базальтовых и стеклянных [4].

Для достижения наилучшего эффекта от фибрового армирования при нагружении важно учитывать ряд факторов, а именно: процентное содержание фибры, степень ее сцепления с бетоном, отношение длины волокна фибры к диаметру волокна. Установлено, что при $l/d = 100$ и

более достигается наилучший эффект от фибрового армирования, а также возрастает число разрываемых фибр по отношению к выдернутым, что свою очередь положительно сказывается на прочностных характеристиках фибробетона [5].

Положительное влияние фибрового армирования на прочностные характеристики бетонов возможно, когда достигается минимальная критическая объёмная концентрация дисперсной фазы, данная концентрация описывается зависимостью, представленной в формуле 1.

$$V_{cr} = \frac{27v}{(47+34v)(2v+1)}, \quad (1)$$

где v – коэффициент, определяется как отношение продольного размера частицы к поперечному [6].

В процессе разрушения фибробетона можно выделить ряд деструктивных процессов, которые протекают в следующей последовательности: микротрещинообразование, растрескивание, разрывы фиброволокон, потеря связи между компонентами и разрушение межфазовых границ. Наибольший эффект от дисперсного армирования прослеживается на стадии образования и раскрытия трещин [6–8].

Основным отличием при разрушении неармированного бетона в сравнении с фибробетонами является то, что разрушение неармированного бетона происходит с образованием маги-

стральной вертикальной трещины, а у фибробетонов процесс разрушения протекает с формированием множественных разветвленных трещин [9].

При дисперсном армировании бетонов возможно получение направленной и свободной ориентации волокон фибр. Получить направленную ориентацию волокон возможно за счет применения непрерывных нитей, а также при воздействии магнитного поля в процессе формования изделий, содержащих стальную фибру. Произвольная ориентация реализуется за счет применения коротких фиброволокон. Также выделяют плоскопроизвольную ориентацию, которая характеризуется беспорядочным расположением фибр в плоскости и объёмно-произвольную, характеризующуюся хаотичным распределением фибр по всему объёму бетона [10].

Наибольшее распространение в отечественной строительной практике получила стальная фибра. Применение стальных волокон обеспечивает повышение прочности на растяжение при изгибе на 15–20 %, а также позволяет снизить внутренние напряжения, но из-за малой удельной поверхности стальной фибры, невысокой адгезии к ней цементного камня и недостаточной прочности самого бетона, приводящей к «продергиванию» фибр при его разрушении, потенциал дисперсного армирования полностью реализовать не удается.

В связи с этим применение базальтовой фибры является более перспективным, базальтовая фибра по прочности превосходит стальную, а значения относительного удлинения базальтовой фибры при разрыве в два раза ниже, чем у стальной, что позволяет ей более эффективно препятствовать образованию микротрещин в бетоне при нагружении [11–14].

Базальтовую фибру изготавливают из расплавов изверженных горных пород (базальт, диабаз, габбро и т. д.). Базальтовая фибра имеет высокий модуль упругости, а также она не вступает в реакцию с солями, это позволяет использовать базальтофибробетоны при строительстве морских сооружений [6, 15].

Целью исследования является изучение изменения основных прочностных характеристик базальтофибробетона (прочность на сжатие и прочность на растяжение при изгибе) за счет варьирования рецептурных факторов, а именно: изменения процентного соотношения фракций крупного заполнителя и процента фибрового армирования.

Методы и материалы. В данном исследовании была применена базальтовая фибра, основные физико-механические характеристики которой представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики базальтовой фибры

Прочность волокон на растяжение, МПа	Диаметр фиброволокна, мкм	Длина фиброволокна, мм	Модуль упругости, ГПа	Коэффициент удлинения фибры, %	Плотность фибры, г/см ³
3500	9–12	3,3–15,7	70	3,5	2,6

В качестве вяжущего использовался портландцемент марки ПЦ 500 Д0 производства ОАО

«Новоросцемент», в таблице 2 представлены физико-механические характеристики портландцемента.

Таблица 2

Физико-механические характеристики портландцемента ПЦ 500 Д0

Наименование свойства	Значение и размерность
Истинная плотность	3,14 г/см ³
Насыпная плотность	1,052 кг/м ³
Удельная поверхность	не менее 311 м ² /г
Нормальная густота цементного теста	не более 26,6 %
Сроки схватывания	начало – 225 мин, конец – 345 мин
Активность цемента	42 МПа

В качестве мелкого заполнителя применялся кварцевый песок с модулем крупности $M_{кр} = 2,27$

и насыпной плотностью $\rho_n = 1650 \text{ кг/м}^3$. Гранулометрический состав представлен в таблице 3.

Таблица 3

Гранулометрический состав песка

Остатки на ситах	диаметр сит, %					<0,16
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Частные	1,89	4,71	24,52	59,18	6,67	0,31
Полные	1,89	6,60	31,13	90,30	96,97	

В качестве крупного заполнителя применялся гранитный щебень, физико-механические характеристики щебня представлены в таблице 4.

Таблица 4

Физико-механические характеристики щебня

Фракция	Насыпная плотность, кг/м^3	Пустотность, %	Содержание пылеватых и глинистых частиц, % по массе	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм, % по массе	Дробимость, % по массе
5–10	1470	0,457	0,65	23	12,7
10–20	1430	0,468	0,61	24	13,1

Для регулирования подвижности бетонных смесей использовался суперпластификатор Schomburg Remicrete SP-10 (FM) – это высокоэффективный пластификатор на основе полиэфиркарбоксилата, который, воздействуя на процессы

гидратации, способствует ускоренному раннему и конечному набору прочности. Технические характеристики суперпластификатора приведены в таблице 5.

Таблица 5

Технические характеристики суперпластификатора

Суперпластификатор Schomburg Remicrete SP-10 (FM)	Сырьевая основа	Цвет	Физическое состояние	Плотность, г/см^3
	полиэфиркарбоксилат	светло-желтый	жидкость	1,1

Всего было изготовлено и испытано 18 серий базовых образцов стандартного размера:

- кубы 27 шт. с размерами $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}$ для испытаний на сжатие;

- призмы 27 шт. с размерами $100 \times 100 \times 400 \text{ мм}$ для испытаний на растяжение при изгибе.

Все образцы были изготовлены из бетона одинакового состава, расход материалов на 1 м^3 составил: Ц = 315 кг, Щ = 1205 кг, П = 689 кг, В = 190 л, суперпластификатор – 2 л.

Для исследований применялось: технологическое оборудование (бетоносмеситель лабораторный БЛ-10), средства измерений (весы лабораторные и линейки) и испытательное оборудование (пресс гидравлический) [16–20].

Испытания на сжатие и растяжение при изгибе проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 10180.

Также были проведены расчеты прочностных характеристик базальтофибробетона в зависимости от рецептурных факторов. Расчеты про-

изводились методом математического планирования эксперимента (ПФЭ 2^к) с использованием программы «MathCAD».

Результаты и их обсуждение. Результаты экспериментальных исследований влияния рецептурных факторов на прочностные характеристики базальтофибробетона представлены в таблице 7.

Определение прочностных характеристик базальтофибробетона произведено с помощью регрессионных зависимостей, вид и значения коэффициентов которых определяются методами математического планирования эксперимента.

В качестве функций были приняты изменяющиеся из-за рецептурных факторов характеристики базальтофибробетона (прочность на сжатие и прочность на растяжение при изгибе).

В качестве же аргументов были приняты рецептурные факторы (процент фибрового армирования; соотношение фракций заполнителя 5-10 и 10-20) в абсолютных показателях с различными уровнями варьирования.

Расчеты производились методом математического планирования эксперимента – полнофакторный эксперимент (ПФЭ 2²). Значения рецептурных факторов представлены в таблице 6.

За функцию отклика были приняты параметры:

- $R_{сж}$ (μ , α) – прочность на сжатие – МПа;
- $R_{изг}$ (μ , α) – прочность на растяжение при изгибе – МПа.

Таблица 6

Значения рецептурных факторов ПФЭ 2^к

№ п/п	Код фактора	Физический смысл фактора	Ед. измерения	Интервал варьирования	Уровни фактора		
					-1	0	+1
1	μ	фибровое армирование	%	$\pm 0,5$	3,5	4	4,5
2	α	соотношение фракций заполнителя 5–10 и 10–20	%	$\pm 0,1$	0,4	0,5	0,6

Таблица 7

Результаты экспериментальных исследований влияния рецептурных факторов на прочностные характеристики базальтофибробетона

Номер опыта	Фибровое армирование, %	Соотношение фракций 5-10/10-20	Прочность базальтофибробетона на сжатие, МПа	Прочность базальтофибробетона на растяжение при изгибе, МПа
1	3,5	0,4	46,7	3,9
2	4,5	0,4	48,8	4,2
3	3,5	0,6	46,6	4,1
4	4,5	0,6	58,1	4,6
5	3,5	0,5	46,1	4,2
6	4,5	0,5	50,3	4,4
7	4	0,4	50,1	4,3
8	4	0,6	48,3	4,2
9	4	0,5	47,8	4,0

По результатам исследования методом наименьших квадратов были получены базовые

уравнения регрессии, которые представлены в виде полиномов 2-ой степени:

$$R_{сж}(\mu; \alpha) = 49,2 + 0,3297 \cdot \mu + 0,1371 \cdot \alpha + 4,7 \cdot \alpha \cdot \mu + 0,2309 \cdot \mu^2 + 0,5643 \cdot \alpha^2 \quad (1)$$

$$R_{изг}(\mu; \alpha) = 4,21 + 0,0185 \cdot \mu + 0,0093 \cdot \alpha + 0,1 \cdot \alpha \cdot \mu + 0,022 \cdot \mu^2 + 0,0053 \cdot \alpha^2 \quad (2)$$

Графическая интерпретация математических зависимостей представлена на рисунках 1 и 2.

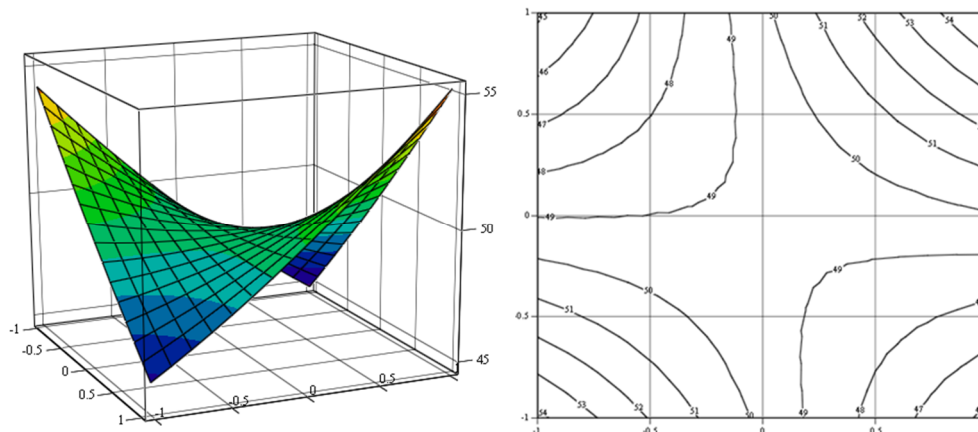


Рис. 1. Зависимость изменения прочности на сжатие базальтофибробетона от процентного содержания фракций заполнителя (фр. 5–10/10–20) и процента фибрового армирования

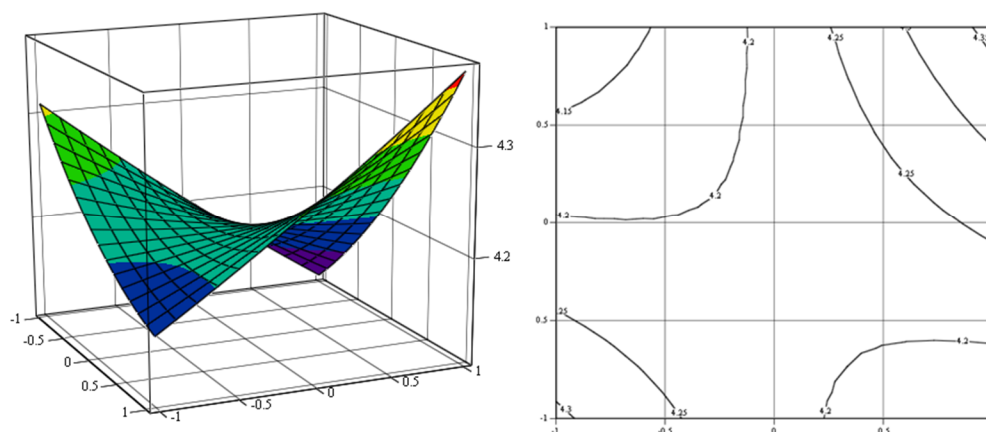


Рис. 2. Зависимость изменения прочности на растяжение при изгибе базальтофибробетона от процентного содержания фракций заполнителя (фр. 5–10/10–20) и процента фибрового армирования

По результатам экспериментальных исследований прочностных характеристик базальтофибробетона были получены их значения в зависимости от влияния процента фибрового армирования базальтовой фиброй и процентного содержания фракций крупного заполнителя с размерами 5–10 мм и 10–20 мм.

Как видно на рисунках 1 и 2 максимальные значения прочности на сжатие и прочности на растяжение при изгибе достигаются при проценте фибрового армирования базальтовой фиброй равном 4,5 %, и содержанием фракции 5–10 мм в количестве 40 %, а фракции 10–20 мм в количестве 60 %. Данный положительный эффект обусловлен, по всей видимости, наиболее равномерным и рациональным распределением фибры в теле бетона.

Полученные в ходе расчетов полиномиальные уравнения регрессии оценивали по значимости коэффициентов, среднеквадратичному отклонению, также с помощью критерия Фишера была приведена оценка адекватности.

Отметим, что, проанализировав полученные результаты исследования, выявлено рациональное значение такого рецептурно-технологического фактора, как процент фибрового армирования, что немаловажно, так как остро стоит проблема повышения качества структурообразования бетона и усиления его несущей способности за счет дополнительного армирования без существенного увеличения веса конструкций и изделий, получаемых из таких бетонов. Вследствие этого выглядит перспективным именно дисперсное армирование, которое, с одной стороны приводит к существенному улучшению характеристик, а с другой стороны – не приводит к утяжелению таких конструкций и поэтому является актуальным и перспективным направлением.

Вывод. На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что наиболее эффективным будет применение базальтовой

фибры в количестве 4,5 % от массы бетонной смеси и применение крупного заполнителя с содержанием фракции 5–10 мм в количестве 40 % и фракции 10–20 мм в количестве 60 %. Прочностные характеристики базальтофибробетона и их стабильность определяются равномерностью распределения волокон в объеме всей смеси.

Полученные результаты показывают перспективность и целесообразность проведенных исследований, а данные о прочностных свойствах базальтофибробетона расширяют информационную базу проектирования бетонов данного вида.

Полученные экспериментальные данные в дальнейшем будут применены в работе по изучению влияния технологических факторов на прочностные характеристики базальтофибробетона. Планируется изучение различных способов распределения базальтового волокна в составе бетонной смеси, в частности поэтапное введение и отдельное перемешивание волокон с компонентами бетонной смеси.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волков И.В. Фибробетон – состояние и перспективы применения в строительных конструкциях // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. №5. С. 24–25.
2. Маилян Л.Р., Шило А.В. Изгибаемые керамзитофиброжелезобетонные элементы на грубом базальтовом волокне. Ростов-на-Дону: Рост. гос. строит. ун-т., 2001. 174 с.
3. Моргун Л.В. Теоретическое обоснование и экспериментальная разработка технологии высокопрочных фибропенобетонов // Строительные материалы. 2005. №6. С. 59–63.
4. Моргун Л.В. Анализ закономерностей формирования оптимальных структур дисперсно-армированных бетонов // Изв. Вуз. Строительство. 2003. №8. С. 58–60.

5. Рахимов Р.З. Фибробетон – строительный материал XXI века // Экспозиция – бетон и сухие смеси. 2008. № 2 (54). С. 35–42.
6. Ивлев В.А. Фибробетон в тонкостенных изделиях кольцевой конфигурации: дис. канд. техн. наук. Уфа, 2009. 176 с.
7. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В., Магдеев У.Х. Технология бетона, строительных изделий и конструкций. М.: Изд-во АСВ, 2008. 350 с.
8. Боровских И.В. Высокопрочный тонкозернистый базальтофибробетон: дис. ... канд. техн. наук. Казань: КГАСУ, 2009. 169 с.
9. Пухаренко Ю.В. Реставрация и строительство: потенциал фиброармированных материалов и изделий // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 4. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6582> (дата обращения: 06.04.2021).
10. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М.: Изд-во АСВ, 2004. 560 с.
11. Kim J.-J., Yoo D.-Y. Effects of fiber shape and distance on the pullout behavior of steel fibers embedded in ultra-high-performance concrete // Cement and Concrete Composites. 2019. Vol. 103. Pp. 213–223.
12. Chen L., Sun W., Chen B., Shi Z., Lai J., Feng J. Multiscale study of fibre orientation effect on pullout and tensile behavior of steel fibre reinforced concrete // Construction and Building Materials. 2021. Vol. 283. 122506. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122506> (дата обращения: 30.03.2021).
13. Yoo D.-Y., Shin W., Chun B., Banthia N. Assessment of steel fiber corrosion in self-healed ultra-high-performance fiber-reinforced concrete and its effect on tensile performance // Cement and Concrete Research. 2020. Vol. 133. 106091. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106091> (дата обращения: 06.04.2021).
14. Balendran R.V., Zhou F.P., Nadeem A., Leung A.Y.T. Influence of steel fibres on strength and ductility of normal and lightweight high strength concrete // Building and Environment. 2020. Vol. 37. Iss. 12. P. 1361–1367. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00109-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00109-3) (дата обращения: 30.03.2021).
15. Стерин В.С. Промышленная технология дисперсно-армированных железобетонных конструкций: автореф. дис. канд. техн. наук. СПб., 2002. 32 с.
16. Холодняк М.Г., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Третьяков Д.А., Дао В.Н., Заикин В.И. Предложения по расчетному определению прочностных характеристик вибрированных, центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов // Вестник Евразийской науки. 2018. №6. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/66SAVN618.pdf> (дата обращения: 30.03.2021).
17. Стельмах С.А., Щербань Е.М., Насевич А.С., Нажуев М.П., Тароян А.Г., Яновская А.В. Сравнение влияния армирования фибровыми волокнами различных видов на свойства центрифугированных и вибрированных изделий из тяжелого бетона класса В50 // Вестник Евразийской науки. 2018. №5. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/29SAVN518.pdf> (дата обращения: 30.03.2021).
18. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Нажуев М.П., Насевич А.С., Гераськина В.Е., Пошев А.У.-Б. Влияние различных видов фибры на физико-механические свойства центрифугированного бетона // Вестник Евразийской науки. 2018. №6. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/14SAVN618.pdf> (дата обращения: 31.03.2021).
19. Стельмах С.А., Щербань Е.М., Холодняк М.Г., Нажуев М.П., Тароян А.Г., Чебураков С.В. Сравнение влияния армирования фибровыми волокнами различных видов на свойства центрифугированных и вибрированных изделий из тяжелого бетона класса В20 // Инженерный вестник Дона. 2018. №4. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_5_Stelmakh_Shcherban.pdf_9004eb63bd.pdf (дата обращения: 31.03.2021).
20. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Холодняк М.Г., Нажуев М.П. Совершенствование расчетных рекомендаций по подбору состава бетона центрифугированных конструкций // Вестник Евразийской науки. 2018. №3. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/63SAVN318.pdf> (дата обращения: 31.03.2021).

Информация об авторах

Нажуев Мухума Пахрудинович, ассистент. E-mail: nazhuev17@mail.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Самофалова Мария Сергеевна, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии. E-mail: mary.ss17@yandex.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Ельшаева Диана Михайловна, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии. E-mail: diana.elshaeva@yandex.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Жеребцов Юрий Владимирович, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии. E-mail: yuri.zherebtsov@gmail.com. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Доценко Наталья Александровна, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии. E-mail: natalya_1998_dotsenko@mail.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Курбанов Надир Сейфудинович, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии. E-mail: kurbanov_n98@mail.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Ефимов Иван Иванович, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии. E-mail: vanya_efimov_97@mail.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Поступила 15.04.2021 г.

© Нажуев М.П., Самофалова М.С., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А., Курбанов Н.С., Ефимов И.И., 2021

*Nazhuev M.P., *Samofalova M.S., El'shaeva D.M.,
Zherebtsov Yu.V., Dotsenko N.A., Kurbanov N.S., Efimov I.I.
Don State Technical University
E-mail: mary.ss17@yandex.ru

INFLUENCE OF RECIPE FACTORS ON STRENGTHS CHARACTERISTICS OF BASALT FIBER CONCRETE

Abstract. Today, dispersed-reinforced concrete is a promising structural building material. In order to improve the strength characteristics of basalt fiber reinforced concrete, authors studies the effect of prescription factors, namely the percentage of fiber reinforcement and the percentage of coarse aggregate fractions. In total, 18 series of basic samples of standard size are manufactured and tested: 27 cubes with dimensions of 100x100x100 mm for compression tests; 27 prisms with dimensions 100×100×400 mm for tensile bending tests. Also, calculations of strength characteristics are carried out depending on recipe factors, the calculations are made by the method of mathematical planning of the experiment - a full-factor experiment (FFE 2²). According to the results of the study, the basic regression equations are obtained by the least squares method, which are presented in the form of polynomials of the 2nd degree. It is concluded that the most effective would be the use of basalt fiber in the amount of 4.5 % of the mass of the concrete mixture and the use of a coarse aggregate with a fraction of 5-10 mm in the amount of 40 %, and fractions of 10-20 mm in the amount 60 %.

Keywords: strength, basalt fiber, recipe factors, fiber, percentage of fiber reinforcement, fiber concrete.

REFERENCES

1. Volkov I.V. Fiber-reinforced concrete-the state and prospects of application in building structures [Fibrobeton – sostoyanie i perspektivy primeneniya v stroitel'nykh konstruktsiya]. Construction

materials, equipment, technologies of the XXI century. 2004. No. 5. Pp. 24–25. (rus)

2. Mailyan L.R., Shilo A.V. Flexible expanded clay-fiber reinforced concrete elements on coarse basalt fiber [Izgibaemye keramzitofibrozhelzobetonnnye elementy na grubom bazal'tovom volokne].

Rostov-on-Don: Rostov State University of Civil Engineering, 2001, 174 p. (rus)

3. Morgun L.V. Theoretical justification and experimental development of high-strength fibropen concrete technology [Teoreticheskoe obosnovanie i eksperimental'naya razrabotka tekhnologii vysokoprochnykh fibropenobetonov]. Construction materials. 2005. No. 6. Pp. 59–63. (rus)

4. Morgun L.V. Analysis of patterns of formation of optimal structures of dispersed reinforced concrete [Analiz zakonomernosti formirovaniya optimal'nykh struktur dispersnoarmirovannykh betonov]. Izvestiya Vuzov. Construction. 2003. No. 8. Pp. 58–60. (rus)

5. Rakhimov R. Z. Fibroconcrete – building material of the XXI century [Fibrobeton – stroitel'nyi material XXI veka]. Exposition-concrete and dry mixes. 2008. No. 2 (54). Pp. 35–42. (rus)

6. Bazhenov Yu.M., Alimov L.A., Voronin V.V., Magdeev U.Kh. Technology of concrete, building products and structures [Tekhnologiya betona, stroitel'nykh izdelii i konstruksii]. Moscow. Publishing house ASV, 2008. 350 p. (rus)

7. Borovskikh I.V. High-strength fine-grained basalt fiber concrete [Vysokoprochnyi tonkozernisty bazalt'ofibrobeton]. Kazan: KSUAE, 2009. 169 p. (rus)

8. Pukharenko Yu.V. Restoration and construction: the potential of fiber-reinforced materials and products [Restavratsiya i stroitel'stvo: potentsial fibroarmirovannykh materialov i izdelii]. Modern problems of science and education. 2012. No. 4. AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6582> (rus) (date of treatment: 06.04.2021).

9. Rabinovich F.N. Composites based on dispersed reinforced concrete. Questions of theory and design, technology, construction [Kompozity na osnove dispersno-armirovannykh betonov. Voprosy teorii i proektirovaniya, tekhnologiya, konstruksii]. Moscow. Publishing house ASV, 2004. 560 p. (rus)

10. Kim J.-J., Yoo D.-Y. Effects of fiber shape and distance on the pullout behavior of steel fibers embedded in ultra-high-performance concrete. Cement and Concrete Composites. 2019. Vol. 103. Pp. 213–223.

11. Chen L., Sun W., Chen B., Shi Z., Lai J., Feng J. Multiscale study of fibre orientation effect on pullout and tensile behavior of steel fibre reinforced concrete. Construction and Building Materials. 2021. Vol. 283. 122506. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122506> (date of treatment: 30.03.2021).

12. Yoo D.-Y., Shin W., Chun B., Banthia N. Assessment of steel fiber corrosion in self-healed ultra-high-performance fiber-reinforced concrete and

its effect on tensile performance. Cement and Concrete Re-search. 2020. Vol. 133. 106091. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106091> (date of treatment: 06.04.2021).

13. Balendran R.V., Zhou F.P., Nadeem A., Leung A.Y.T. Influence of steel fibres on strength and ductility of normal and lightweight high strength concrete. Building and Environment. 2020. Vol. 37. No. 12. P. 1361-1367. AdobeAcrobatReader. URL: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00109-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00109-3) (date of treatment: 30.03.2021).

14. Sterin B.C. Industrial technology of dispersed reinforced concrete structures [Promyshlennaya tekhnologiya dispersno-armirovannykh zhelezobetonnykh konstruksii]. St. Petersburg, 2002. 32 p. (rus)

15. Ivlev V.A. Fiber-reinforced concrete in thin-walled products of ring configuration [Fibrobeton v tonkostennykh izdeliyakh kol'tsevoi konfiguratsii]. Ufa, 2009. 176 p. (rus)

16. Kholodnyak M.G., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Tret'yakov D.A., Dao V.N., Zaikin V.I. Proposals for the calculated determination of the strength characteristics of vibrated, centrifuged and vibro-centrifuged concrete [Predlozheniya po raschetnomu opredeleniyu prochnostnykh kharakteristik vibrirovannykh, tsentrifugirovannykh i vibrotsentrifugirovannykh betonov]. The Eurasian Scientific Journal. 2018. No. 6. AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/66SAVN618.pdf> (rus) (date of treatment: 30.03.2021).

17. Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Nasevich A.S., Nazhnev M.P., Taroyan A.G., Yanovskaya A.V. Comparison of the effect of fiber reinforcement of various types on the properties of centrifuged and vibrated products made of heavy concrete of class B50 [Sravnenie vliyaniya armirovaniya fibrovymi voloknami razlichnykh vidov na svoistva tsentrifugirovannykh i vibrirovannykh izdelii iz tyazhelogo betona klassa B50]. The Eurasian Scientific Journal. 2018. No. 5. AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/29SAVN518.pdf> (rus) (date of treatment: 30.03.2021).

18. Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Nazhnev M.P., Nasevich A.S., Geras'kina V.E., Poshev A.U.-B. Influence of different types of fiber on the physical and mechanical properties of centrifuged concrete [Vliyanie razlichnykh vidov fibry na fiziko-mekhanicheskie svoistva tsentrifugirovannogo betona]. The Eurasian Scientific Journal. 2018. No. 6. AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/14SAVN618.pdf> (rus) (date of treatment: 31.03.2021).

19. Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Kholodnyak M.G., Nazhnev M.P., Taroyan A.G., Chebur-

kov S.V. Comparison of the effect of fiber reinforcement of various types on the properties of centrifuged and vibrated products made of heavy concrete of class B20 [Sravnenie vliyaniya armirovaniya fibrovymi voloknami razlichnykh vidov na svoystva tsentrifugirovannykh i vibrirovannykh izdelii iz tyazhelogo betona klassa B20]. Engineering journal of Don. 2018. No. 4. AdobeAcrobatReader. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_5_Stelmakh_Shcherban.pdf_9004eb63bd.pdf. (rus) (date of treatment: 31.03.2021).

20. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Khalyushev A.K., Shcherban' E.M., Kholodnyak M.G., Nazhnev M.P. (2018). Improvement of design recommendations for the selection of concrete composition of centrifuged structures [Sovershenstvovanie raschetnykh rekomendatsii po podboru sostava betona tsentrifugirovannykh konstruksii]. The Eurasian Scientific Journal. 2018. No. 3. AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/63SAVN318.pdf> (rus) (date of treatment: 31.03.2021).

Information about the authors

Nazhnev, Mukhuma P. Assistant. E-mail: nazhnev17@mail.ru. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Samofalova, Mariya S. Master student. E-mail: mary.ss17@yandex.ru. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

El'shaeva, Diana M. Master student. E-mail: diana.elshaeva@yandex.ru. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Zherebtsov, Yuri V. Master student. E-mail: yuri.zherebtsov@gmail.com. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Dotsenko, Natal'ya A. Master student. E-mail: natalya_1998_dotsenko@mail.ru. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Kurbanov, Nadir S. Master student. E-mail: kurbanov_n98@mail.ru. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Efimov, Ivan I. Master student. E-mail: vanya_efimov_97@mail.ru. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Received 15.04.2021

Для цитирования:

Нажуев М.П., Самофалова М.С., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А., Курбанов Н.С., Ефимов И.И. Влияние рецептурных факторов на прочностные характеристики базальтофибробетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 7. С. 24–32. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-24-32

For citation:

Nazhnev M.P., Samofalova M.S., El'shaeva D.M., Zherebtsov Yu.V., Dotsenko N.A., Kurbanov N.S., Efimov I.I. Influence of recipe factors on strengths characteristics of basalt fiber concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 7. Pp. 24–32. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-24-32