



Влияние рецептурных факторов на прочностные свойства тяжелых сталефибробетонов

© Ю.В. Жеребцов, Д.М. Ельшаева, Ю.Н. Лухнёва, Н.А. Доценко,
М.С. Самофалова, П.Р. Курасанов, А.А. Фаталиев

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Резюме: На сегодняшний день стальная фибра является одним из наиболее перспективных компонентов, применяемых при производстве фибробетонов. С целью улучшения прочностных свойств тяжелых сталефибробетонов было изучено влияние на эти свойства рецептурных факторов, а именно процента фибрового армирования и длины волокон фибры. Всего было изготовлено и испытано 18 серий базовых образцов стандартного размера: 27 кубов с размерами 100x100x100 мм для испытаний на сжатие; 27 призм с размерами 100x100x400 мм для испытаний на растяжение при изгибе. Были проведены расчеты прочностных характеристик в зависимости от рецептурных факторов, расчеты производились методом математического планирования эксперимента (полнофакторный эксперимент – ПФЭ 2^k). На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что наиболее эффективным будет применение стальной фибры с длиной волокон 30 мм и проценте объемного армирования 1,5%.

Ключевые слова: фибра, стальные волокна, фиброволокно, фибровое армирование, сталефибробетон, прочность на сжатие, прочность на растяжение при изгибе, плотность, морозостойкость

Для цитирования: Жеребцов Ю.В., Ельшаева Д.М., Лухнёва Ю.Н., Доценко Н.А., Самофалова М.С., Курасанов П.Р. и др. Влияние рецептурных факторов на прочностные свойства тяжелых сталефибробетонов. *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2021. Т. 11. № 2. С. 250–259. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-2-250-259>

Effect of recipe factors on mechanical properties of heavyweight steel fibre reinforced concrete

Yuriy V. Zherebtsov, Diana M. El'shaeva, Yuliya N. Lukhneva, Natal'ya A. Dotsenko,
Mariya S. Samofalova, Pavel R. Kurasanov, Asif A. Fataliev
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Abstract: Today, steel fibre is one of the most promising components used to produce fibre reinforced concrete. To improve the mechanical properties of heavyweight steel fibre reinforced concrete, the influence of recipe factors, namely the percentage of fibre reinforcement and the fibre length, on these properties was studied. 18 series of reference samples of a standard size were manufactured and tested: 27 cubes with dimensions of 100x100x100 mm for compression tests and 27 prisms with dimensions of 100x100x400 mm for bending under tension test. We calculated mechanical strength characteristics depending on the recipe factor. The calculations were performed using a numerical experimental design (full factorial experiment 2^k). Based on the obtained results, it can be concluded that the utilisation of steel fibre with a fibre length of 30 mm or the percentage of three-dimensional reinforcement of 1.5% is the most effective.

Keywords: fiber, steel fibers, fiberglass, fiber reinforcement, steel fiber concrete, compressive strength, flexural tensile strength, density, frost resistance

For citation: Zherebtsov YuV, El'shaeva DM, Lukhneva YuN, Dotsenko ND, Samofalova MS, Kurasanov PR, et al. Effect of recipe factors on mechanical properties of heavyweight steel fibre reinforced concrete. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost* = *Proceedings of*

Введение

Основываясь на данных мировой строительной практики и опыте таких развитых стран, как США, Япония, Германия, Италия, Великобритания, можно отметить, что фибробетон считается одним из наиболее перспективных строительных материалов нашего столетия [1].

За рубежом фибробетоны нашли наиболее широкое применение в строительстве жилых и промышленных зданий в сейсмоопасных районах, морских газонефтедобывающих платформ, автодорог, туннелей, плотин и дамб [2–4].

Для повышения прочностных характеристик фибробетонов, оптимизации процесса приготовления фибробетонной смеси и способов ее укладки важно классифицировать применяемую стальную фибру по физико-механическим и геометрическим параметрам (длина волокна, диаметр, прочность волокна на растяжение). Жесткость является одной из наиболее важных характеристик фибры, определяется модулем упругости E_f . По модулю упругости всю фибру делят на 2 группы: 1) высокомодульная фибра $E_f = (70–250) \cdot 10^3$ МПа, к данной группе относится стальная и неметаллическая фибра (базальтовая, асбестовая, стеклянная, углеродная и так далее); 2) низкомодульная фибра $E_f = (2–10) \cdot 10^3$ МПа. Применение высокомодульной фибры способствует значительному повышению прочности и трещиностойкости фибробетона, также повышенной ударной стойкости, истираемости, водонепроницаемости и морозостойкости. Низкомодульная фибра оказывает минимальное влияние на прочностные характеристики, однако способствует повышению морозостойкости, ударной вязкости и снижению усадки¹ [2, 3, 5].

В технологии производства наиболее весомое значение имеет равномерность распределения фиброволокон по всему объему бетонной смеси. Так, при традиционных методах перемешивания наблюдается скопление волокон в виде комков (ежей). Чтобы обеспечить более равномерное распределение фиброволокон по всему объему необходимо учитывать длину волокон, процент их содержания, размеры крупного заполни-

теля и способ перемешивания. Для приготовления фибробетонных смесей наиболее эффективным будет применение турбулентных и спирально-вихревых смесителей [6–8].

Еще одной важной проблемой фибробетонных смесей является сниженная удобоукладываемость, поэтому для достижения необходимой удобоукладываемости прибегают к применению пластифицирующих добавок и увеличению водоцементного отношения (В/Ц).

Что касается сталефибробетона, то на сегодняшний день он имеет широкую сферу применения. Сталефибробетоны имеют ряд достоинств: более высокие показатели прочности на сжатие, на растяжение при изгибе, по предельным деформациям при осевом сжатии и растяжении, модулю упругости, трещиностойкости [9–11].

Технология производства стальной фибры зависит от требуемого диаметра (толщины) волокна. Выделяют механический и электромеханический способы изготовления волокон, а также формование из расплава. Среди механических способов производства стальной фибры наиболее широкое распространение получили такие, как волочение, экструдирование стального расплава, фрезерование стального сляба, протяжка и резка стальной фольги и проволоки [12–15].

Целью исследования является изучение основных прочностных характеристик сталефибробетона (прочность на сжатие и прочность на растяжение при изгибе) в зависимости от изменения рецептурных факторов, а именно длины стальных фиброволокон и процента фибрового армирования.

Методы

В данном исследовании была применена стальная фибра, основные физико-механические характеристики которой представлены в табл. 1.

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

– 27 кубов с размерами 100x100x100 мм для испытаний на сжатие;

– 27 призм с размерами 100x100x400 мм для испытаний на растяжение при изгибе;

Все образцы были изготовлены из бетона с одинаковым составом, расход материалов на 1 м³ составил: Ц = 315 кг, Щ = 1205 кг, П = 689 кг, В = 190 л.

¹Стерин В.С. Промышленная технология дисперсно-армированных железобетонных конструкций: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. СПб, 2002. 33 с.;
Ивлев В.А. Фибробетон в тонкостенных изделиях кольцевой конфигурации: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Уфа, 2009. 167 с.

Таблица 1. Физико-механические характеристики фибры
Table 1. Physical and mechanical characteristics of fiber

Толщина стальных фиброволокон, мм	Ширина стальных фиброволокон, мм	Длина стальных фиброволокон, мм	Временное сопротивление стальных фиброволокон растяжению, МПа, не менее	Модуль упругости стальных фиброволокон, МПа
0,3	0,5	20	460	$2,1 \cdot 10^5$
		25		
		30		

Для исследований было применено технологическое оборудование (бетоносмеситель лабораторный БЛ-10), средства измерений (весы лабораторные и линейки) и испытательное оборудование (пресс гидравлический). Испытания на сжатие и растяжение при изгибе проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 10180 [16–20].

Также были проведены расчеты прочностных характеристик сталефибробетона в зависимости от рецептурных факторов. Расчеты осуществлялись методом математического планирования эксперимента (полнофакторный эксперимент – ПФЭ 2^k) с использованием программы *MathCAD*. Длина стальных фиброволокон изменялась в следующих пределах: 20 мм, 25 мм, 30 мм. Процент фибрового армирования изменялся от 0,5 до 1,5 % с интервалом варьирования 0,5.

Результаты и их обсуждение

Результаты экспериментальных исследований влияния рецептурных факторов на прочностные характеристики сталефибробетона представлены в табл. 2 и на рис. 1 и 2.

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

В качестве функций примем изменяющиеся из-за рецептурных факторов прочностные характеристики сталефибробетона.

В качестве же аргументов примем рецептурные факторы (процент фибрового армирования; длина волокон стальной фибры) в абсолютных показателях с различными уровнями варьирования.

За функцию отклика были приняты параметры:

– $R_{сж}(\mu, l)$ – прочность на сжатие, МПа;

– $R_{изг}(\mu, l)$ – прочность на растяжение при изгибе, МПа.

Данные значения факторов варьирования ПФЭ 2^k представлены в табл. 3.

В табл. 4 приведены расчетные коэффициенты уравнений регрессии для опытных образцов.

Таблица 2. Результаты экспериментальных исследований влияния рецептурных факторов на прочностные характеристики сталефибробетона

Table 2. Results of experimental studies of the influence of recipe factors on the strength of characteristics of steel fiber reinforced concrete

Номер опыта	Армирование стальной фиброй (μ), %	Длина волокон стальной фибры (l), мм	Прочность сталефибробетона на сжатие ($R_{сж}$), МПа	Прочность сталефибробетона на растяжение при изгибе ($R_{изг}$), МПа
1	0,5	20	59,8	7,2
2	1,5	20	67,1	8,1
3	0,5	30	63,8	7,7
4	1,5	30	70,8	8,5
5	0,5	25	62,7	7,5
6	1,5	25	69,6	8,3
7	1	20	64,3	7,7
8	1	30	68,8	8,2
9	1	25	67,5	8,1

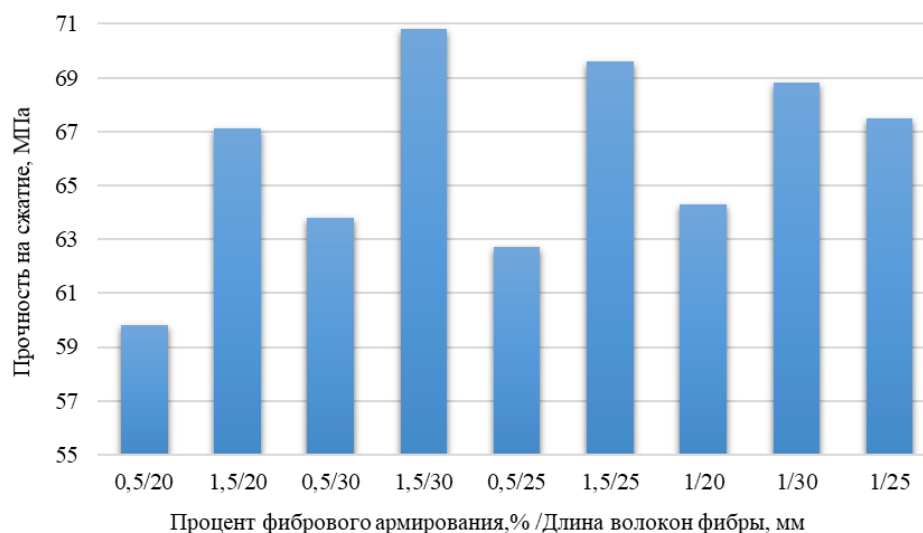


Рис. 1. Зависимость прочности сталефибробетона на сжатие от процента фибрового армирования и длины стальных волокон

Fig. 1. Compressive strength of steel fiber reinforced concrete versus the percentage of fiber reinforcement and the length of steel fibers

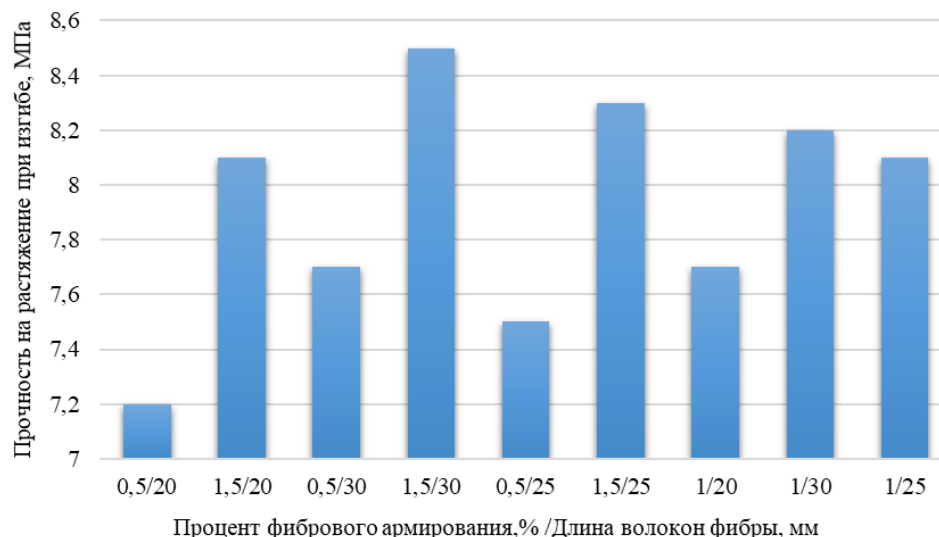


Рис. 2. Зависимость прочности сталефибробетона на растяжение при изгибе от процента фибрового армирования и длины стальных волокон

Fig. 2. Dependence of the tensile strength of steel fiber reinforced concrete in bending on the percentage of fiber reinforcement and the length of steel fibers

Таблица 3. Значения факторов варьирования ПФЭ 2^к

Table 3. The values of the factors of variation of the PFE 2^k

№ п/п	Рецептурные факторы	Уровни фактора		
		минимальный	нулевой	максимальный
1	Армирование стальной фиброй (μ), %	0,5	1	1,5
2	Длина волокон стальной фибры (l), мм	20	25	30

Таблица 4. Расчетные коэффициенты уравнений регрессии для опытных образцов сталефибробетона

Table 4. Calculated coefficients of regression equations for prototypes of steel fiber reinforced concrete

Характеристики	R_0	μ	l	$\mu \cdot l$	μ^2	l^2
Прочность на сжатие, МПа	66,04	0,3927	0,226	-0,15	-0,4145	0,2811
Прочность на растяжение при изгибе, МПа	7,92	0,0463	0,0259	-0,05	-0,0393	-0,0226

По результатам исследования методом наименьших квадратов были получены базовые уравнения регрессии, которые пред-

$$R_{сж}(\mu; l) = 66,04 + 0,3927 \cdot \mu + 0,226 \cdot l - 0,15 \cdot \mu \cdot l - 0,4145 \cdot \mu^2 + 0,2811 \cdot l^2;$$

$$R_{изг}(\mu; l) = 7,92 + 0,0463 \cdot \mu + 0,0259 \cdot l - 0,05 \cdot \mu \cdot l - 0,0393 \cdot \mu^2 - 0,0226 \cdot l^2.$$

Графическая интерпретация математических зависимостей представлена на рис. 3 и 4. По результатам экспериментальных исследований прочностных характеристик ста-

ставлены в виде полиномов 2-ой степени:

лефибробетона были получены их значения в зависимости от влияния длины стальных фиброволокон и процента фибрового армирования.

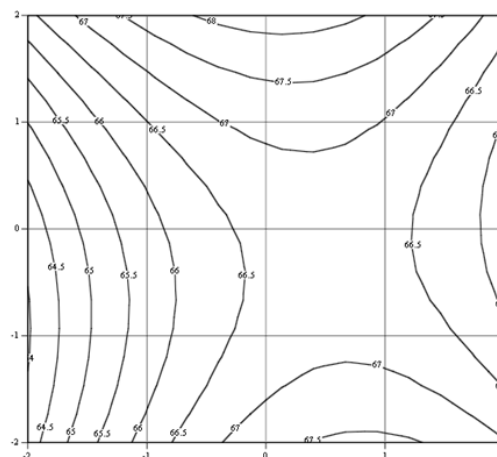
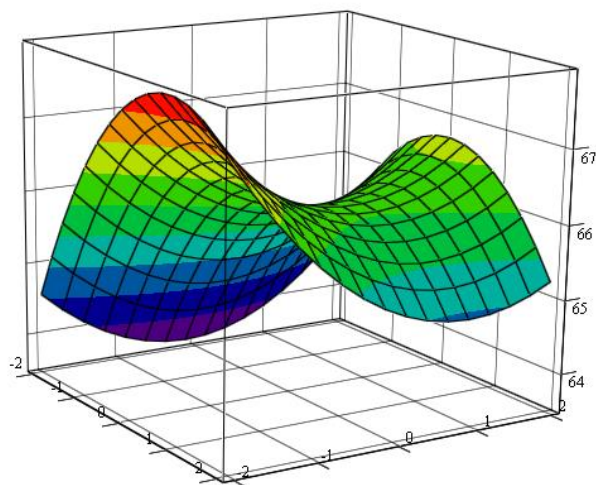


Рис. 3. Графическая зависимость изменения прочности сталефибробетона на сжатие от процента фибрового армирования и длины стальных волокон

Fig. 3. Graphical dependence of the change in the compressive strength of steel fiber reinforced concrete on the percentage of fiber reinforcement and the length of steel fibers

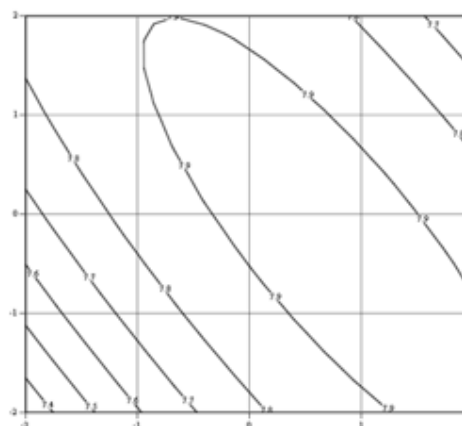
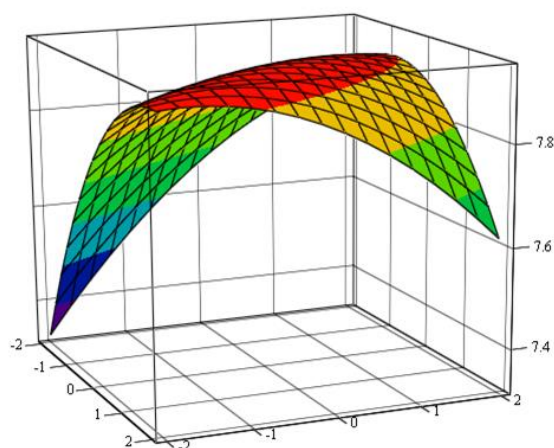


Рис. 4. Графическая зависимость изменения прочности сталефибробетона на растяжение при изгибе от процента фибрового армирования и длины стальных волокон

Fig. 4. Graphical dependence of the change in the tensile strength of steel fiber reinforced concrete during bending on the percentage of fiber reinforcement and the length of steel fibers

Как видно на рис. 1 и 2, максимальные значения прочности на сжатие и прочности на растяжение при изгибе достигаются при проценте фибрового армирования стальной фиброй, равном 1,5 %, и длине стальной фибры, равной 30 мм.

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

Заключение

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что наиболее эффективным будет применение стальной фибры с длиной волокон 30 мм при проценте фибрового армирования 1,5 %.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков И.В. Фибробетон – состояние и перспективы применения в строительных конструкциях // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. № 5 (64). С. 24–25.
2. Моргун Л.В. Теоретическое обоснование и экспериментальная разработка технологии высокопрочных фибропенобетонов // Строительные материалы. 2005. № 6. С. 59–64.
3. Моргун Л.В. Анализ закономерностей формирования оптимальных структур дисперсно-армированных бетонов // Известия вузов. Строительство. 2003. № 8. С. 58–61.
4. Рахимов Р.З. Фибробетон – строительный материал 21 века // Экспозиция. Бетон и сухие смеси. 2008. № 26 (54). С. 35–42.
5. Баженов Ю.М. Технология бетонов XXI века // Новые научные направления в строительном материаловедении: сб. трудов Академических чтений РААСН, посвящ. 75-летию со дня рождения Ю.М. Баженова. Белгород: Изд-во БГТУ, 2005. Ч. 1. С. 9–19.
6. Ведищев К.А. Фибробетон – строительный материал XXI века // Молодежь и научно-технический прогресс: сборник докладов X Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (20 апреля 2017 года, Губкин): в 4 т. Губкин, 2017. Т. 3. С. 50–53.
7. Коротких Д.Н. Трещиностойкость современных цементных бетонов (проблемы материаловедения и технологии): монография. Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2014. 141 с.
8. Саламанова М.Ш., Исмаилова З.Х., Бисултанов Р.Г., Арцаева М.С. Влияние композиционного вяжущего на формирование физико-механических и эксплуатационных свойств фибробетона // Эффективные строительные композиты: науч.-практ. конф. к 85-летию заслуж. деятеля науки РФ, академика РААСН, д-ра техн. наук Ю.М. Баженова (02–03 апреля 2015 года, Белгород). Белгород, 2015. С. 592–598.
9. 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. p. 213–223. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.05.006>
10. 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. p. 122506. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122506>
11. 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. p. 106091. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106091>
12. Zeng W., Ding Y., Zhang Y., Dehn F. Effect of steel fiber on the crack permeability evolution and crack surface topography of concrete subjected to freeze-thaw damage // Cement and Concrete Research. 2020. Vol. 138. p. 106230. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106230>
13. Eduardo T., Buttignol T. A load induced thermal strain (LITS) semi-empirical model for plain and steel fiber reinforced concrete subjected to uniaxial compressive load // Cement and Concrete Research. 2020. Vol. 127. p. 105896. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105896>
14. Zhang X., Zhang W., Cao C., Xu F., Yang C. Positive effects of aligned steel fiber on bond behavior between steel rebar and concrete // Cement and Concrete Composites. 2020. Vol. 114. p. 103828. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103828>
15. 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. 2002. Vol. 37. Iss. 12. p. 1361–1367. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00109-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00109-3)
16. Маилин Л.П., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Рекомендации по учету вариативности при расчете, проектировании и изготовлении центрифугированных конструкций из тяжелого бетона [Электронный ресурс] // Вестник Евразийской науки. 2018. Т. 10. № 4. С. 6. URL: <https://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf> (03.04.2021)

17. Стельмах С.А., Щербань Е.М., Холод-
няк М.Г., Нажуев М.П., Тароян А.Г., Янов-
ская А.В. Сравнение влияния армирования
фибровыми волокнами различных видов на
свойства центрифугированных и вибриро-
ванных изделий из тяжелого бетона класса
В35 [Электронный ресурс] // Инженерный
вестник Дона. 2018. № 4 (51). С. 167. URL:
http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_6_Stelmakh_Shcherban.pdf_cc9dfa618.pdf
(03.04.2021)

18. Стельмах С.А., Щербань Е.М., Насе-
вич А.С., Нажуев М.П., Тароян А.Г., Янов-
ская А.В. Сравнение влияния армирования
фибровыми волокнами различных видов на
свойства центрифугированных и вибриро-
ванных изделий из тяжелого бетона класса
В50 [Электронный ресурс] // Вестник
Евразийской науки. 2018. Т. 10. № 5. С. 66.

URL: <https://esj.today/PDF/29SAVN518.pdf>
(03.04.2021).

19. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Нажуев М.П.,
Насевич А.С., Гераскина В.Е., Пошев А.У.-Б.
Влияние различных видов фибры на физико-
механические свойства центрифугированного
бетона [Электронный ресурс] // Вестник
Евразийской науки. 2018. Т. 10. № 6. С. 73. URL:
<https://esj.today/PDF/14SAVN618.pdf> (03.04.2021)

20. Стельмах С.А., Щербань Е.М., Холод-
няк М.Г., Нажуев М.П., Тароян А.Г., Чебура-
ков С.В. Сравнение влияния армирования
фибровыми волокнами различных видов на
свойства центрифугированных и вибрирован-
ных изделий из тяжелого бетона класса В20
[Электронный ресурс] // Инженерный вестник
Дона. 2018. № 4 (51). С. 166. URL:
http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_5_Stelmakh_Shcherban.pdf_9004eb63bd.pdf
(03.04.2021)

REFERENCES

1. Volkov IV. Fiber-reinforced concrete-the state and prospects of application in building structures. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2004;5(64):24–25. (In Russ.)
2. Morgun LV. Theoretical justification and experimental development of high-strength fiber-foam concrete technology. *Stroitel'nye Materialy*. 2005;6:59–64. (In Russ.)
3. Morgun LV. Analysis of the patterns of formation of optimal structures of dispersed-reinforced concrete. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of higher educational institutions. Construction*. 2003;8:58–60. (In Russ.)
4. Rahimov RZ. Fibrobeton – building material of the 21st century. *Ekspozitsiya. Beton i sukhie smesi*. 2008;26(54): 35–42. (In Russ.)
5. Bazhenov YuM. Concrete technology of the XXI century. *Novye nauchnye napravleniya v stroitel'nom materialovedenii: sb. trudov Akademicheskikh chtenii RAASN, posvyashchennykh 75-letiyu so dnya rozhdeniya Yu.M. Bazhenova*. Part 1. Belgorod: BSTU; 2005. pp. 9–19. (In Russ.)
6. Vedishchev KA. Fiber concrete – building material of the XXI century. *Molodezh' i nauchno-tekhnicheskii progress: sbornik dokladov X Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* (20 April 2017, Gubkin): in 4 vol. Gubkin, 2017. Vol. 3. p. 50–53. (In Russ.)
7. Korotkikh DN. Crack resistance of modern cement concretes (problems of materials science and technology): monograph. Voronezh: Voronezhskii GASU; 2014. 141 p. (In Russ.)

8. Salamanova MSh, Ismailova ZKh, Bisultanov RG, Artsaeva MS. Influence of a composite binder on the formation of physical, mechanical and operational properties of fiber-reinforced concrete. *Effektivnye stroitel'nye kompozity: nauch.-prakt. konf. k 85-letiyu zasluzh. deyatelya nauki RF, akademika RAASN, d-ra tekhn. nauk Yu.M. Bazhenova* (02–03 April 2015, Belgorod). Belgorod, 2015. p. 592–598. (In Russ.)
9. 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;103:213–223. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.05.006>
10. 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;283:122506. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122506>
11. 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;133:106091. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106091>
12. Zeng W, Ding Y, Zhang Y, Dehn F. Effect of steel fiber on the crack permeability evolution and crack surface topography of concrete subjected to freeze-thaw damage. *Cement and Concrete Research*. 2020;138:106230. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106230>

13. Eduardo T, Buttignol T. A load induced thermal strain (LITS) semi-empirical model for plain and steel fiber reinforced concrete subjected to uniaxial compressive load. *Cement and Concrete Research*. 2020;127:105896. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105896>

14. Zhang X, Zhang W, Cao C, Xu F, Yang C. Positive effects of aligned steel fiber on bond behavior between steel rebar and concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2020;114:103828. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103828>

15. Balendran RV, Zhou FP, Nadeem A, Leung AYT. Influence of steel fibres on strength and ductility of normal and lightweight high strength concrete. *Building and Environment*. 2002;37(12):1361–1367. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00109-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00109-3)

16. Mailyan LR, Stel'makh SA, Kholodnyak MG, Khalyushev AK, Shcherban' EM, Nazhnev MP. Recommendations on accounting variability in the calculation, design and manufacture of centrifuged structures of heavy concrete. *Vestnik Evraziiskoi nauki = The Eurasian Scientific Journal*. 2018;4(10):6. Available at: <https://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf> [Accessed 03 April 2021] (In Russ.)

17. Stelmakh SA, Shcherban' EM, Kholodnyak MG, Nazhnev MP, Taroyan AG, Yanovskaya AV. Comparison of the effect of fiber reinforcement of various types on the properties of centrifuged and vibrated products

from heavy concrete class B35. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering journal of Don*. 2018;4(51):167. Available at: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_6_Stelmakh_Shcherban.pdf_cc9dfda618.pdf [Accessed 03 April 2021] (In Russ.)

18. Stel'makh SA, Shcherban' EM, Nasevich AS, Nazhnev MP, Taroyan AG, Yanovskaya AV. Comparison of the effect of fiber reinforcement of various types on the properties of centrifuged and vibrated products from heavy concrete class B50. *Vestnik Evraziiskoi nauki = The Eurasian Scientific Journal*. 2018;5:66. Available at: <https://esj.today/PDF/29SAVN518.pdf> [Accessed 03 April 2021] (In Russ.)

19. Shcherban' EM, Stel'makh SA, Nazhnev MP, Nasevich AS, Geras'kina VE, Poshev AU-B. The effect of various types of fibers on the physico-mechanical properties of centrifuged concrete. *Vestnik Evraziiskoi nauki = The Eurasian Scientific Journal*. 2018;10(6):73. Available at: <https://esj.today/PDF/14SAVN618.pdf> [Accessed 03 April 2021] (In Russ.)

20. Stelmakh SA, Shcherban' EM, Kholodnyak MG, Nazhnev MP, Taroyan AG, Cheburakov SV. Comparison of the effect of fiber reinforcement of various types on the properties of centrifuged and vibrated products from heavy concrete class B20. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering journal of Don*. 2018;4(51):166. Available at: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_5_Stelmakh_Shcherban.pdf_9004eb63bd.pdf [Accessed 03 April 2021] (In Russ.)

Сведения об авторах

Жеребцов Юрий Владимирович,
магистрант,
Донской государственный технический
университет,
344022, г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, 162, Россия,
✉e-mail: yuri.zharebtsov@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6162-0049>

Ельшаева Диана Михайловна,
магистрант,
Донской государственный технический
университет,
344022, г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, 162, Россия,
e-mail: diana.elshaeva@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8086-6300>

Information about the authors

Yuriy V. Zharebtsov,
Undergraduate,
Don State Technical University,
162 Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don,
344022, Russia,
✉e-mail: yuri.zharebtsov@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6162-0049>

Diana M. El'shaeva,
Undergraduate,
Don State Technical University,
162 Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don,
344022, Russia,
e-mail: diana.elshaeva@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8086-6300>

Лухнёва Юлия Николаевна,
магистрант,
Донской государственный технический
университет,
344022, г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, 162, Россия,
e-mail: drugawi4@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5034-4029>

Yuliya N. Lukhneva,
Undergraduate,
Don State Technical University,
162 Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don,
344022, Russia,
e-mail: drugawi4@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5034-4029>

Доценко Наталья Александровна,
магистрант,
Донской государственный технический
университет,
344022, г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, 162, Россия,
e-mail: natalya_1998_dotsenko@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7829-6401>

Natal'ya A. Dotsenko,
Undergraduate,
Don State Technical University,
162 Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don,
344022, Russia,
e-mail: natalya_1998_dotsenko@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7829-6401>

Самофалова Мария Сергеевна,
магистрант,
Донской государственный технический
университет,
344022, г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, 162, Россия,
e-mail: mary.ss17@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9950-8696>

Mariya S. Samofalova,
Undergraduate,
Don State Technical University,
162 Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don,
344022, Russia,
e-mail: mary.ss17@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9950-8696>

Курасанов Павел Романович,
магистрант,
Донской государственный технический
университет,
344022, г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, 162, Россия,
e-mail: gibbs107@bk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3758-464X>

Pavel R. Kurasanov,
Undergraduate,
Don State Technical University,
162 Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don,
344022, Russia,
e-mail: gibbs107@bk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3758-464X>

Фаталиев Асиф Агаяр оглы,
магистрант,
Донской государственный технический
университет,
344022, г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, 162, Россия,
e-mail: asif.fataliev@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5296-6091>

Asif A. Fataliev,
Undergraduate,
Don State Technical University,
162 Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don,
344022, Russia,
e-mail: asif.fataliev@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5296-6091>

Заявленный вклад авторов

Жеребцов Ю.В., Ельшаева Д.М., Лухнева Ю.Н., Доценко Н.А., Самофалова М.С., Курасанов П.Р., Фаталиев А.А. имеют равные авторские права. Жеребцов Ю.В. несет ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

Zherebtsov Y.V., El'shaeva D.M., Lukhneva Yu.N., Dotsenko N.A., Samofalova M.S., Kurasanov P.R., Fataliev A.A. have equal author's rights. Zherebtsov Yu.V. bears the responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 05.04.2021.
Одобрена после рецензирования 10.05.2021.
Принята к публикации 12.05.2021.

The article was submitted 05.04.2021.
Approved after reviewing 10.05.2021.
Accepted for publication 12.05.2021.