

УДК 666.972.7

М.Р. НУРТДИНОВ¹, инженер (nikerunner@yandex.ru);
В.Г. СОЛОВЬЕВ², канд. техн. наук (s_vadim_g@mail.ru),
А.Ф. БУРЬЯНОВ², д-р техн. наук (rga-service@mail.ru)

¹ ООО «ВЕЛЕССТРОЙ» (г. Москва, ул. 2-я Тверская-Ямская, 10)

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Применение композиционной фибры в тяжелых бетонах

Разработаны оптимальные составы фибробетона со стеклопластиковой композитной фиброй по прочности при сжатии классов В20, В40 и В60. Их комплексные исследования показывают, что на основе бетонных смесей со средней плотностью 2320–2360 кг/м³, воздухововлечением 2,5–3,5% и удобоукладываемостью (осадкой) 21–22 см можно получить бетон со следующими свойствами: средняя прочность при сжатии – 28; 54,7 и 83,3 МПа; прочность на растяжение при изгибе – 3,5; 4,4 и 5,6 МПа; прочность при растяжении – 2,92; 5,78 и 6,92 МПа; призматическая прочность при сжатии – 20,1; 40,4 и 60,4 МПа; модуль упругости – 35393; 46146 и 51366 МПа; Коэффициент Пуассона – 0,17; 0,18 и 0,18 соответственно. Введение стеклопластиковой композитной фибры в бетонные смеси в количестве 0,5; 1,5 и 2,5 об. % незначительно снижает среднюю плотность смеси – на 7–72 кг/м³, увеличивает содержание воздуха в смесях на 0,1–0,6%, снижает осадку на 3–8 см, практически не влияя на прочность при сжатии. Получены данные о прочности на растяжении при изгибе в момент образования трещин, а также об остаточном сопротивлении растяжению при изгибе, соответствующем раскрытию трещин в диапазоне 0,5–3,5 мм. Форма поверхности волокон была определяющим фактором, влияющим на момент вырыва из матрицы бетона. Выявлены три основных типа механизма деформации. Определены характеристики прочности стеклопластиковой композитной фибры. В целом результаты показывают, что стеклопластиковую композитную фибру возможно выпускать массово со свойствами, допускающими ее широкое применение.

Ключевые слова: стеклопластиковая композитная фибра, фибробетон, бетонная смесь, адгезия, устойчивость.

Для цитирования: Нуртдинов М.Р., Соловьев В.Г., Бурьянов А.Ф. Применение композиционной фибры в тяжелых бетонах // Бетон и железобетон. 2021. № 3 (605). С. 33–39.

M.R. NURTDINOV¹, Engineer (nikerunner@yandex.ru);
V.G. SOLOVIEV², Candidate of Sciences (Engineering) (s_vadim_g@mail.ru),
A.F. BURYANOV², Doctor of Sciences (Engineering)

¹ “VELESSTROY” LLC (10, 2-ya Tverskaya-Yamskaya Street, Moscow, Russian Federation)

² National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

The Use of Composite Fibers in Heavy Concrete

The optimum compositions of fiber-reinforced concrete with glass-polymer composite fiber of compressive strength classes B20, B40 and B60 have been developed. Their complex studies demonstrate that based on concrete mixtures with an average density of 2320–2360 kg/m³, air entrainment of 2.5–3.5%, and workability (slump) of 21–22 cm, the concrete with the following properties can be obtained: average compressive strength of concrete – 28, 54.7 and 83.3 MPa; the average bending tensile strength – 3.5, 4.4 and 5.6 MPa; the breaking strength – 2.92, 5.78 and 6.92 MPa; prismatic strength – 20.1, 40.4 and 60.4 MPa; modulus of elasticity – 35393, 46146 and 51366 MPa; Poisson's ratio – 0.17, 0.18 and 0.18, respectively. The addition of glass-polymer composite fiber into concrete mixtures in an amount of 0.5, 1.5 and 2.5% vol. slightly reduces the average density of the mixture by 7–72 kg/m³, increases the air content of mixtures by 0.1–0.6%, reduces slump by 3–8 cm, and has little influence on the compressive strength. The data on the ultimate bending tensile strength at the moment of crack formation, as well as residual bending tensile strength corresponding to the crack opening in the range 0.5–3.5 mm, were obtained. The shape of a single fiber surface was the determining factor when it broke out of concrete matrix. Three main types of deformation mechanism were identified. The characteristics of fiber-reinforced concrete durability were determined. Overall, the results indicate that fiber-reinforced concrete can be produced with properties that are suitable for wide application.

Keywords: glass-polymer composite fiber, fiber-reinforced concrete, performance, adhesion, sustainability.

For citation: Nurtudinov M.R., Soloviev V.G., Buryanov A.F. The use of composite fibers in heavy concrete. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 3 (605), pp. 33–39. (In Russian).

В современной технологии фибробетонов в качестве высокомодульных дисперсно-армирующих компонентов, повышающих прочностные и деформационные свойства, используют стальную фибру различных геометрических размеров, а также стек-

лянные и базальтовые волокна. Каждый из применяемых армирующих компонентов имеет свои недостатки: стальная фибра кроме значительной массы и склонности к комкованию также изменяет теплофизические свойства бетона [1, 2], а стеклянные и



Рис. 1. Стеклопластиковая фибра
Fig. 1. Fiberglass fiber

базальтовые волокна ломаются при перемешивании смеси и частично растворяются при взаимодействии с бетонной матрицей [3, 4]. В связи с этим разрабатываемые в последние годы различные виды композитной фибры – стеклопластиковой и углепластиковой вызывают значительный интерес и требуют подробного изучения [5–7].

Стеклопластиковую композитную фибру (рис. 1) получают методом пултрузии – протяжки стеклянных нитей через фильеру, нагретую до определенной температуры, при которой осуществляется полимеризация матрицы [8–11]. Длина фибры составляет 40 мм, толщина 0,7–0,9 мм, геометрический фактор 45–60, плотность 1,54 г/см³, модуль упругости поряд-

ка 50 ГПа (определенный на образцах арматуры диаметром 4 мм, изготовленных из тех же материалов и по той же технологии).

Результаты испытаний данных видов фибры в бетонах практически не приведены в периодических научных изданиях в связи со сравнительно недавним промышленным освоением выпуска данного вида композитных материалов. Однако даже отдельные исследования позволяют сказать, что при применении композитной стеклопластиковой фибры проявляются эффекты, присущие как высокомодульной фибре, так и синтетическим низкомолекулярным видам [12–15]. Ряд отличий стеклопластиковой фибры от стальной – низкая плотность и теплопроводность, отсутствие комкования при изготовлении бетонной смеси и коррозионная стойкость к различным средам – определяет широкие возможности для ее эффективного применения при производстве фибробетонных изделий и конструкций.

Принципиально неизученным остается механизм взаимодействия композитной фибры с бетонной матрицей, а также влияние различных видов добавок на эффективность адгезии композитной фибры с матрицей [16, 17]; не установлено также влияние композитной фибры на эксплуатационные, физико-механические и деформационные свойства тяжелых бетонов.

Для определения оптимального содержания композитной стеклопластиковой фибры были проведены испытания, при которых в составы тяжелых бетонов классов по прочности при сжатии В20–В60 добавляли фибру в количестве 0,5; 1,5 и 2,5% по объему. Выбор

Таблица 1
Table 1

Свойства бетонных смесей и бетонов с композитной фиброй
Properties of concrete mixes and concrete with composite fiber

Класс бетона	В20			В40			В60		
Процент фибры, %	0,5	1,5	2,5	0,5	1,5	2,5	0,5	1,5	2,5
Плотность смеси, кг/м ³	2380	2371	2367	2389	2329	2317	2370	2348	2345
Воздухововлечение, %	3	3,1	3,2	3,1	3,35	3,7	3,6	3,6	3,8
Осадка конуса, см	21	18	13	22	19	15	22	19	15

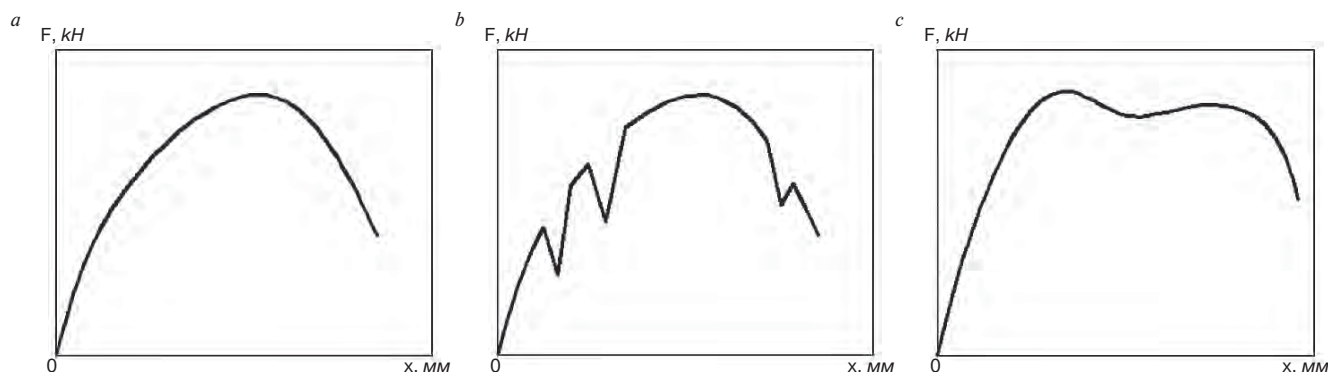


Рис. 2. Типовые диаграммы вырыва стеклопластиковой фибры из бетонной матрицы
Fig. 2. Typical diagrams of fiberglass fiber pull-out from a concrete matrix

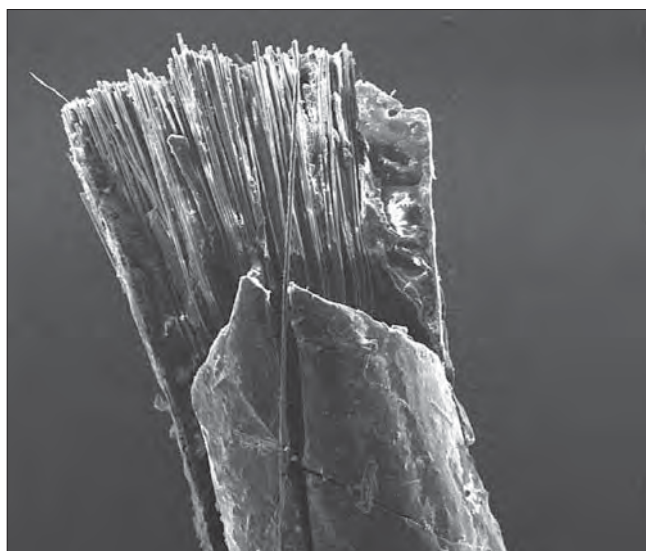


Рис. 3. Концевая часть композитной фибры
Fig. 3. End part of composite fiber

тяжелых бетонов классов по прочности при сжатии В20–В60 обусловлен модулем упругости композитной фибры, который превышает модуль упругости именно этих бетонов, широко применяемых в строительстве. При проведении испытаний, результаты которых представлены в табл. 1, для каждого состава бетонной смеси определяли плотность, воздуховлечение и удобоукладываемость.

На основании проведенных испытаний установлено, что введение стеклопластиковой фибры в бетоны классов по прочности при сжатии В20–В60 в количестве 0,5; 1,5 и 2,5% по объему:

- незначительно снижает среднюю плотность смеси – на 7–72 кг/м³;
- повышает воздуховлечение смесей на 0,1–0,6%;
- снижает удобоукладываемость (осадку конуса) на 3–8 см;

Результаты испытаний указывают на незначительное влияние стеклопластиковой композитной фибры на свойства бетонных смесей, а также на ее высокую технологичность при введении в бетонную смесь.

Исследование сцепления стеклопластиковой композитной фибры с бетонной матрицей

Эффективность заделки фибры в бетонную матрицу определяли на образцах из мелкозернистого бетона классов по прочности при сжатии В20, В40 и В60, в которые заделывали отдельные образцы фибры. В большинстве случаев после окончания испытания фиксировали деформирование верхнего полимерного слоя фибры, и только в отдельных случаях происходило разрушение части фибры, заделанной в бетон, например появлялись трещины, скалывание краев, а у бетонного куба – вырыв материала в зоне установки фибры. Наиболее вероятная причина подобных раз-

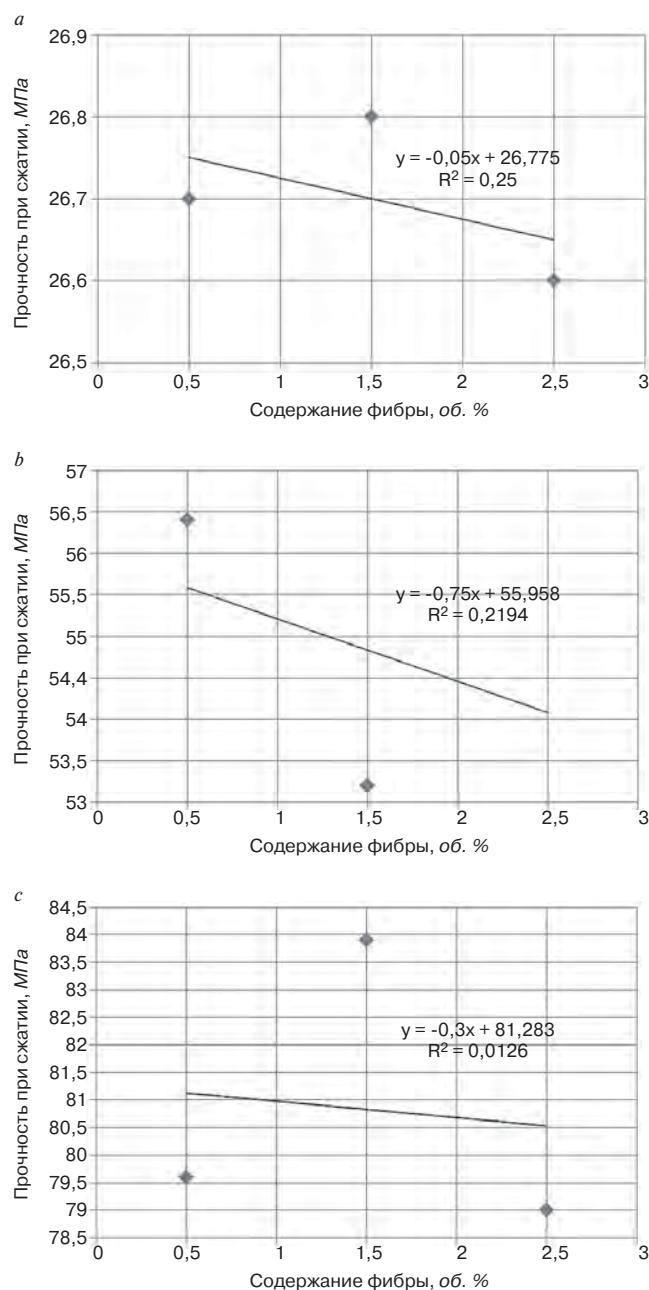


Рис. 4. Зависимость прочности при сжатии бетона класса В20 (а); В40 (б) и В60 (с) от объемного содержания фибры
Fig. 4. Dependence of the compressive strength of concrete of class В20 (а); В40 (б) on the volume content of the fiber

рушений – неравномерность толщины фибры по длине. При небольшой длине утолщенной части фибры происходило разрушение по фибре, скол края. Если длина утолщенной зоны фибры превышала половину глубины заделки, то кусок бетона вырывался в виде конуса или наблюдалось полное разрушение бетонного образца. Общее количество аномальных разрушений образцов в серии не превышало 15%.

Анализ результатов испытаний образцов всех серий позволил установить основные типы разрушений при вырыве фибры из бетона, диаграммы которых приведены на рис. 2.

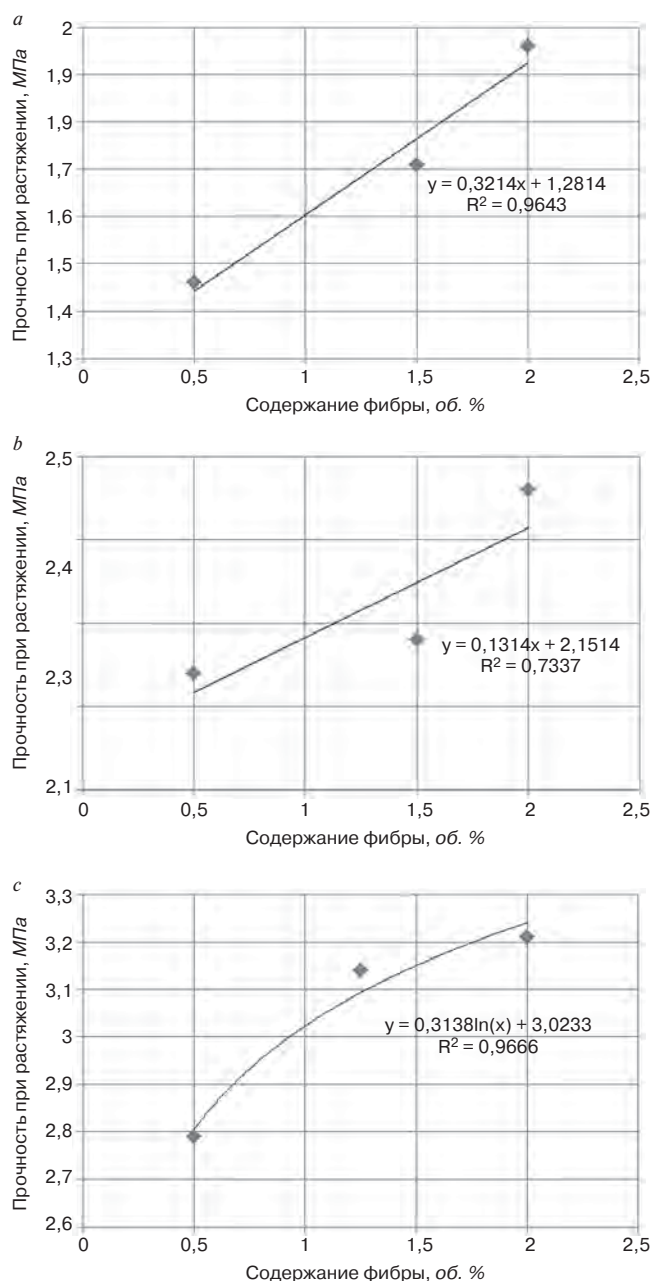


Рис. 5. Зависимость прочности при растяжении бетона класса B20 (a), B40 (b) и B60 (c) от объемного содержания фибры

Fig. 5. The dependence of the tensile strength of concrete of class B20 (a), B40 (b) and B60 (c) on the volume content of the fiber

На рис. 2, а усилие вырыва развивается равномерно и, достигнув пиковой точки, идет на спад из-за увеличивающегося проскальзывания фибры за счет снижения площади сцепления ее поверхности с бетоном. На рис. 2, б возрастание и снижение нагрузки происходит скачкообразно. Провалы в графике объясняются локальными разрушениями выпуклых частей полимерной смолы на поверхности фибры с бетоном, что приводит к ее частичному проскальзыванию. На рис. 2, в приведен третий тип диаграммы, в которой после первого проскальзывания наблюдается площадка с постоянной нагрузкой порядка 80% от

максимального значения и возрастающими деформациями. Причиной такого развития напряжений и деформаций является размер фибры, имеющей расширяющуюся часть ближе к концу (рис. 3). При такой форме, несмотря на снижение площади трения фибры в ходе ее выкалывания из бетонной матрицы, происходит ее обжатие в теле бетона, что в итоге повышает максимальную нагрузку при вырыве. Во всех сериях образцов были зафиксированы все три типа графиков, что указывает на то, что форма поверхности отдельной фибры является определяющей при ее вырыве из бетона, а модификации бетонной матрицы приводят к изменению численных параметров. Вид бетона или его модификация не оказывают влияния на характер и вид диаграмм нагрузка–деформация, а изменяют только численные значения максимальной нагрузки при вырыве.

Прочностные и деформативные свойства бетонов со стеклопластиковой композитной фиброй

Результаты экспериментальных исследований по влиянию композитной стеклопластиковой фибры на прочность при сжатии бетонов классов B20, B40 и B60 приведены на рис. 4. На основании проведенного анализа установлено, что прочность при сжатии бетонов с композитной неметаллической фиброй при ее содержании от 0,5 до 2,5% по объему изменяется незначительно (коэффициент линейного уравнения, определяющий влияние содержания фибры на прочность бетонов классов B20–B60, изменяется в пределах от -0,05 до -0,75).

Анализ результатов экспериментальных исследований по влиянию композитной стеклопластиковой фибры на прочность при растяжении бетонов классов B20, B40 и B60 приведен на рис. 5.

На основании проведенных расчетов установлено, что для фибробетонов классов при сжатии B20, B40 и B60 класс по остаточной прочности на растяжение при изгибе реализуется один и тот же – $B_{fbt}1с$. Полученные результаты обусловлены особенностями работы композитной стеклопластиковой фибры в бетоне при воздействии изгибающих нагрузок. Так, максимальная нагрузка, воспринимаемая фибробетоном, фиксируется в момент образования трещины, и к моменту ее раскрытия до 0,05 мм фибра начинает воспринимать напряжения, возникающие в материале. Таким образом, эффективность композитной стеклопластиковой фибры, определяемая по значению остаточной прочности, проявляется практически на одном уровне независимо от класса бетонной матрицы. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Для определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона бетонов с

Таблица 2
Table 2

Расчет остаточного класса по прочности фибробетонов различных составов
Calculation of the residual strength class of fiber-reinforced concrete of various compositions

№ п/п	Шифр образца	$F_{0,5}, \text{ кН}$	$R_{F0,5}, \text{ МПа}$	$F_{2,5}, \text{ кН}$	$R_{F2,5}, \text{ МПа}$	$S_{F0,5m}$	$S_{F2,5m}$	$V_{0,5m}$	$V_{2,5m}$	$R_{fbt,n}$	$R_{fb3,n}$	$R_{fb3,n} / R_{fbt,n}$	Класс по остаточной прочности
1	B20-1	1,4	1	1,31	0,94	0,1	0,08	0,09	0,07	1	1	1	$B_{fbt}1c$
2	B20-2	1,24	0,94*	1,13	0,86*								
3	B20-3	1,85	1,37	1,45	1,07								
4	B20-4	1,54	1,17	1,49	1,14								
5	B20-5	1,45	1,14	1,66	1,31								
6	B20-6	1,39	0,95	1,49	1,02								
1	B40-1	1,33	1,07	1,25	1,01	0,05	0,15	0,05	0,13	1	0,9	0,9	$B_{fbt}1c$
2	B40-2	1,03	0,81*	1,3	0,24*								
3	B40-3	1,47	1,2	1,75	1,43								
4	B40-4	1,5	1,14	1,52	1,16								
5	B40-5	1,56	1,14	1,44	1,05								
6	B40-6	1,32	0,9	1,37	0,94								
1	B60-1	2,27	1,96	2,17	1,88	0,21	0,28	0,13	0,16	1,3	1,3	1	$B_{fbt}1c$
2	B60-2	1,58	1,37	2,33	2,03								
3	B60-3	2,16	1,48	1,95	1,34								
4	B60-4	1,86	1,61	2,1	1,81								
5	B60-5	2,17	1,73	2,05	1,64								
6	B60-6	1,5	1,18*	0,49	0,38*								

Примечание. * Данные исключены из расчета.

Таблица 3
Table 3

Результаты испытаний фибробетонов по определению призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона
Results of tests of fiber-reinforced concrete to determine prismatic strength, modulus of elasticity and Poisson's ratio

№ п/п	Шифр образца	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Разрушающая нагрузка, кН	Призмная прочность, МПа
1	B20-1	32638,62	0,18	206,55	19,78
2	B20-2	39471,57	0,18	221,84	20,95
3	B20-3	32685,22	0,17	205,61	19,38
4	B20-4	41129,05	0,16	203,1	18,5
5	B20-5	32496,6	0,16	207,54	19,37
6	B20-6	33936,63	0,17	217,98	20,36
Среднее		35392,95	0,17	-----	20,1
1	B40-1	41949	0,18	436,74	42,2
2	B40-2	44365,26	0,17	412,11	38,25
3	B40-3	52024,07	0,19	430,66	40,15
4	B40-4	46467,84	0,19	415,46	39,18
5	B40-5	47246,97	0,18	436,41	39,81
6	B40-6	44822	0,17	419,65	39,34
Среднее		46145,86	0,18	-----	40,4
1	B60-1	51964,36	0,17	616,37	56,64
2	B60-2	47167,81	0,17	617,54	57,93
3	B60-3	51445,04	0,18	627,63	60,45
4	B60-4	52566,32	0,2	627,13	60,57
5	B60-5	56940,84	0,18	625,05	58,76
6	B60-6	48113,47	0,2	640,64	61,73
Среднее		51366,31	0,18	-----	60,4

композитной стеклопластиковой фиброй оптимальных составов были изготовлены образцы размером 100×100×400 мм – 18 шт. (по шесть образцов для каждого состава). Результаты испытаний приведены в табл. 3.

По результатам проведенных испытаний установлены характеристики фибробетонов классов по прочности при сжатии В20, В40 и В60 с композитной стеклопластиковой фиброй:

- призмная прочность – 20,1; 40,4 и 60,4 МПа;
- модуль упругости – 35393; 46146 и 51366 МПа;
- коэффициент Пуассона – 0,17; 0,18 и 0,18 соответственно.

В результате проведенных исследований установлено, что стеклопластиковая фибра работает в раз-

личных бетонных матрицах как высокомодульный упрочняющий дисперсно-армированный компонент и повышает прочностные, деформативные и эксплуатационные свойства бетона. Результаты проведенных исследований указывают на возможность широкого применения стеклопластиковой фибры, а ряд ее отличительных особенностей – низкая плотность и теплопроводность, отсутствие комкования при изготовлении бетонной смеси и коррозионная стойкость к различным средам – определяет дополнительные возможности ее эффективного применения при производстве фибробетонных изделий и конструкций как для гражданского, так и для промышленного строительства.

Список литературы

1. Дроф В.А., Красновский Р.О., Султыгова П.С., Капустин Д.Е. Экспериментальное определение теплофизических свойств сталефибробетона // *Вестник гражданских инженеров*. 2019. № 1 (72). С. 120–124.
2. Умнякова Н.П., Потапова Г.А., Потапова Е.Д., Султыгова П.С. Исследование теплозащитных качеств сталефибробетона // *Строительство и реконструкция*. 2018. № 3. С. 105–111.
3. Буршина Н.А. Химическая устойчивость стекол в цементной среде. *Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова*. 1–3 мая 2015 г. Белгород. С. 47–53.
4. Ельшаева Д.М. Исследование коррозионной стойкости базальтовой фибры в среде гидратирующегося цемента // *Научные исследования и инновации*. 2021. № 4. С. 48–52.
5. Rangelov M., Nassiri S., Haselbach L., Englund K. Using carbon fiber composites for reinforcing pervious concrete. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 126, pp. 875–885. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.035>
6. El-Nemr A., Ahmed E.A., Barris C., Benmokrane B. Bond-dependent coefficient of glass- and carbon-FRP bars in normal- and high-strength concretes. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 113, pp. 77–89. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2016.03.005
7. Хотеев Е.А. О перспективах применения в России стеклопластиковых армирующих элементов на основе европейского опыта // *Транспортное строительство*. 2015. № 1. С. 10–13.
8. Сорокин А.Е., Сагомонова В.А., Петрова А.П., Соловьянчик Л.В. Технологии получения полимерных композиционных материалов на основе термопластичной матрицы (обзор) // *Труды ВИАМ*. 2021. № 3 (97). С. 78–86.
9. Колосова А.С. и др. Современные методы получения полимерных композиционных материа-

References

1. Drof V.A., Krasnovsky R.O., Sultygova P.S., Kapustin D.E. Experimental determination of thermophysical properties of steel fiber reinforced concrete. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2019. No. 1 (72), pp. 120–124. (In Russian).
2. Umnyakova N.P., Potapova G.A., Potapova E.D., Sultygova P.S. Investigation of heat-shielding qualities of steel fiber reinforced concrete. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2018. No. 3, pp. 105–111. (In Russian).
3. Burshina N.A. Chemical resistance of glasses in a cement environment. *International Scientific and Technical Conference of Young Scientists BSTU named after V.G. Shukhov*. May 1–3, 2015. Belgorod, pp. 47–53. (In Russian).
4. Elshaeva D. M. Investigation of the corrosion resistance of basalt fiber in the environment of hydrating cement. *Nauchnyye issledovaniya i innovatsii*. 2021. No. 4, pp. 48–52. (In Russian).
5. Rangelov M., Nassiri S., Haselbach L., Englund K. Using carbon fiber composites for reinforcing pervious concrete. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 126, pp. 875–885. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.035>
6. El-Nemr A., Ahmed E.A., Barris C., Benmokrane B. Bond-dependent coefficient of glass- and carbon-FRP bars in normal- and high-strength concretes. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 113, pp. 77–89. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.005
7. Khoteev E.A. On the prospects for the use in Russia of fiberglass reinforcing elements based on European experience. *Transportnoe stroitel'stvo*. 2015. No. 1, pp. 10–13. (In Russian).
8. Sorokin A.E., Sagomonova V.A., Petrova A.P., Solovyanchik L.V. Technologies for obtaining polymer composite materials based on a thermoplastic matrix (review). *Trudi VIAM*. 2021. No. 3 (97), pp. 78–86. (In Russian).
9. Kolosova A.S. and other Modern methods of obtaining polymer composite materials and products from

- лов и изделий из них // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018. № 8. С. 123–129.
10. Павловский К.А., Серкова Е.А., Мельников Д.А., Гуняева А.Г. Производство изделий из полимерных композиционных материалов методом пултрузии для гражданских отраслей промышленности // *Вопросы материаловедения*. 2017. № 4 (92). С. 81–89. DOI: 10.22349/1994-6716-2017-92-4-81-89.
11. Ненашкина П.А., Гусев А.Л. Применение современных композиционных материалов при создании высокотехнологичного производства // *Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте (ИИТМА-2020): Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции с онлайн-участием*. 07–10 декабря 2020 г. Кемерово. С. 339–342.
12. Степанова В.Ф., Бучкин А.В., Ильин Д.А. Исследование особенности работы бетонных конструкций с комбинированным армированием (арматурой композитной полимерной и неметаллической фиброй) // *Academia. Архитектура и строительство*. 2017. № 1. С. 124–128. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-osobennosti-raboty-betonnyh-konstruktsiy-s-kombinirovannym-armirovaniem-armaturoy-kompozitnoy-polimernoy-i>
13. Рябченкова В.Г. и др. Исследование бетонных конструкций, армированных фиброй композитной полимерной и арматурой композитной полимерной (АКП), на воздействие пожара. Отчет о НИР/ НИОКР. М.: НИЦ «Строительство», 2019. 370 с.
14. Дудов Д.О., Михайлов Д.А. Фибробетон. Фибра: виды материалов и их классификация. *Сборник Международной научно-практической конференции «Наука и образование: сохраняя прошлое, создаем будущее»*. 2019. С. 49–52.
15. Панкратьева У.В., Кудяков К.Л. Опыт применения стекловолокна и стеклокомпозитов для армирования бетонных конструкций // *Избранные доклады 65-й юбилейной Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых: Сборник докладов*. 25 апреля 2019 г. Томск. С. 90–92.
16. Ключев С.В. К вопросу фибрового армирования // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2018. № 3–4 (230–231). С. 42–47.
17. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Исследование процесса деформирования бетона, армированного низко модульной фиброй. *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2019 г.: Сборник научных трудов РААСН*. М.: АСВ, 2020. С. 358–366.
- them. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2018. No. 8, pp. 123–129. (In Russian).
10. Pavlovsky K.A., Serkova E.A., Melnikov D.A., Gunyaeva A.G. Production of products from polymer composite materials by pultrusion for civilian industries. *Voprosy materialovedeniya*. 2017. No. 4 (92), pp. 81–89. DOI: 10.22349 / 1994-6716-2017-92-4-81-89
11. Nenashkina P.A., Gusev A.L. The use of modern composite materials in the creation of high-tech production. *Innovations in information technologies, mechanical engineering and vehicles (IITMA-2020): a collection of materials of the IV International scientific-practical conference with online participation*. December 7–10, 2020. Kemerovo, pp. 339–342. (In Russian).
12. Stepanova V.F., Buchkin A.V., Ilyin D.A. Investigation of the peculiarities of the work of concrete structures with combined reinforcement (reinforcement composite polymer and non-metallic fiber). *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2017. No. 1, pp. 124–128. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-osobennosti-raboty-betonnyh-konstruktsiy-s-kombinirovannym-armirovaniem-armaturoy-kompozitnoy-polimernoy-i>
13. Ryabchenkova V.G. and others. Investigation of concrete structures, reinforced with polymer composite fiber and polymer composite reinforcement (ACP), on the effect of fire. Report on Scientific research work. Moscow: Research Center "Stroitel'stvo". 2019. 370 p.
14. Dudov D.O., Mikhailov D.A. Fiber concrete. Fiber: types of materials and their classification. *Collection of the International Scientific and Practical Conference "Science and Education: preserving the past, creating the future"*. 2019, pp. 49–52. (In Russian).
15. Pankratieva U.V., Kudakov K.L. Experience of using fiberglass and glass composites for reinforcing concrete structures. *Selected reports of the 65th Anniversary University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists: Collection of reports*. April 25, 2019. Tomsk, pp. 90–92. (In Russian).
16. Klyuev S.V. On the issue of fiber reinforcement. *Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka*. 2018. No. 3–4 (230–231), pp. 42–47. (In Russian).
17. Pukharensko Yu.V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. Investigation of the process of deformation of concrete reinforced with low-modulus fiber. *Fundamental, exploratory and applied research of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences on the scientific support of the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2019: Collection of scientific papers of the RAACS*. Moscow: ASV. 2020, pp. 358–366. (In Russian).