

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ



УДК 624

DOI: 10.17673/Vestnik.2023.01.11

Н. В. КОНДРАТЬЕВА
М. А. ГОЛОВАТЮК

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕКЛОФИБРОБЕТОНА

RESEARCH OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF GLASS-FIBER CONCRETE

Исследуются технические характеристики стеклофибробетона на основе экспериментального исследования и подбора оптимального состава фибробетона. При подборе состава анализировались различные технологии введения и процентное соотношение вводимой фибры, характеристики используемого песка. Полученные результаты исследований позволяют определить эффективность применения конструкций из стеклофибробетона при реконструкции зданий и сооружений. При изготовлении образцов для испытаний использовались материалы отечественного производства.

The article examines the technical characteristics of glass fiber reinforced concrete based on experimental research and selection of the optimal composition of fiber reinforced concrete. When selecting the composition, various technologies for introducing fibers, the percentage of fibers introduced, and the characteristics of the sand used were analyzed. The obtained research results allow us to determine the effectiveness of the use of glass fiber reinforced concrete structures in the reconstruction of buildings and structures. In the manufacture of test samples, materials of domestic production were used.

Ключевые слова: стеклофибробетон, прочность на растяжение при изгибе, адгезионная прочность, экспериментальное исследование

Keywords: fiberglass concrete, tensile strength in bending, adhesive strength, experimental study

Применение стеклофибробетона – композита, состоящего из бетонной матрицы и армирующего стеклянного волокна, в России началось еще в 50-х гг. прошлого века [1]. Однако сравнительно высокая стоимость, низкая стойкость к щелочной среде, отсутствие глубоких исследований физико-химических показателей материала, которые оказывают большое влияние на прочностные, деформационные характеристики и долговечность конструкций из стеклофибробетона, не позволили материалу найти широкое применение в строительстве.

После изготовления щелочестойкого стеклянного волокна конструкции из стеклофибробетона начали постепенно завоевывать свою нишу в строительстве. Неподверженность коррозии, значительно малый вес по сравнению с фибробетоном, повышенная прочность на растяжение по сравнению с обычной бетонной

матрицей делают стеклофибробетон перспективным материалом, в том числе при усилении конструкций зданий и сооружений. При разработке методик усиления железобетонных и бетонных конструкций на химических и нефтеперерабатывающих предприятиях необходимо применять ремонтные материалы, имеющие повышенную коррозионную стойкость, высокие прочностные и адгезионные характеристики [2].

Известны исследования прочностных характеристик стеклофибробетона с использованием стеклофибры производства фирмы Saint-Gobain Vetrotex, а также продукции китайских производителей [3]. В нашем исследовании было принято решение использовать материалы, изготовленные отечественными организациями.

Для исследования стеклофибробетона были изготовлены образцы в виде балочек 160×40×40 мм. Всего было испытано три серии



образцов. Каждая серия состояла из контрольных образцов, изготовленных из мелкозернистого бетона без введения фибры и образцов с различным объемом стеклофибры.

При изготовлении образцов в качестве вяжущего был использован портландцемент марки М500 «ЦЕМ 42,5Б ГОСТ 31108».

В качестве мелкого заполнителя в исследовании образцов использовались следующие материалы:

а) камский песок по ГОСТ 8736 «Песок для строительных работ» с модулем крупности $M_{кр} = 2,56$. Гранулометрический состав камского песка представлен в табл. 1.

$$M_{кр} = (15,6 + 24,8 + 36,1 + 81,7 + 97,9)/100 = 2,56;$$

б) монофракционный вольский песок по ГОСТ 6139 «Песок для испытаний цемента» для определения активности цемента;

в) волжский мелкий песок по ГОСТ 8736 «Песок для строительных работ» с модулем крупности $M_{кр} = 1,46$. Гранулометрический состав волжского песка представлен в табл. 2.

$$M_{кр} = (0,12 + 0,33 + 1,49 + 61,45 + 83,14)/100 = 1,46.$$

Для дисперсного армирования бетона применялась щелочестойкая фибра производства ООО «СевКомпозит», используемая в качестве армирующей добавки в различных видах строительных смесей: штукатурки, шпатлевки, плиточного клея, стяжки пола, производства всех видов бетона и изделий из него, белого цвета, длиной волокон 18 мм. Страна-изготовитель – Россия.

В целях улучшения характеристик бетонной смеси использовался гиперпластификатор треть-



Рис. 1. Стеклоаннрующее волокно длиной $L=18$ мм, ООО «СевКомпозит»

его поколения «ПОЛИПЛАСТ» на основе поликарбоксилатного эфира. Продукт Динамикс ПК-7, дозировка 0,2-1 %, концентрация 50 %.

При приготавлении стеклофибробетонной смеси был определен расход материалов на каждый замес объемом, необходимым для изготовления образцов в виде балочек определенного количества по пособию Ю.М Баженова [4].

До проведения испытания в возрасте 7 и 28 сут образцы выдерживали в нормальных условиях твердения.

Испытания прочности образцов на сжатие и растяжение при изгибе проводились в соответствии с ГОСТ 10180 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Для разработки методики введения стеклофибры в бетонную смесь серии образцов для испытаний изготавливали различным способом.

Таблица 1

Остатки на ситах	Размер отверстий сит, мм					
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	<0,16
Частные, г	156	92	113	456	162	21
Частные, %	15,6	9,2	11,3	45,6	16,2	2,1
Полные, %	15,6	24,8	36,1	81,7	97,9	-

Таблица 2

Остатки на ситах	Размер отверстий сит, мм					
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	<0,16
Частные, г	1,2	2,1	11,6	599,6	216,9	168,6
Частные, %	0,12	0,21	1,16	59,96	21,69	16,86
Полные, %	0,12	0,33	1,49	61,45	83,14	-

Все компоненты состава бетонной смеси в первой (пробной)серии перемешивались в сухом виде, вода вводилась постепенно в процессе перемешивания. При изготовлении образцов по указанной технологии было отмечено, что во время перемешивания в сухом виде смесь образует комки с фиброй, что приводит к неравномерному распределению стеклянного волокна в бетонной смеси (рис. 2).

Изготовленные образцы испытывались в возрасте 7 и 28 сут (рис. 3).

Анализ результатов испытаний первой серии образцов показал, что с увеличением количества фибры прочность на изгиб начинает возрастать, при этом не уменьшая прочность при сжатии. Также был выявлен ряд проблем:

- способ введения и распределения фибры (при неравномерном введении фибры в состав наблюдается снижение прочности);
- обязательное введение пластифицирующих добавок в фибробетонном составе;
- правильный и рациональный подбор мелкого заполнителя (нерационально использовать мелкие пески с высокой водопотребностью);
- увеличение процента армирования стекловолокном.

Для повышения удобоукладываемости фибробетонной смеси во второй серии образцов применяли гиперпластификатор третьего поколения «ПОЛИПЛАСТ» на основе поликарбоксилатного эфира в количестве 1 % от массы бетонной смеси. Все образцы имели одинаковый состав при водоцементном соотношении $V:Ц = 0,397$.

Для изготовления фибробетонных образцов второй серии был использован средний песок Камского месторождения с модулем крупности $M_{кр} = 2,23$. Стеклянное фиброволокно вводилось в состав бетонной смеси в количестве 0,6; 0,8; и 1 % от массы бетонной смеси. Состав второй серии образцов фибробетона представлен в табл. 3.

Таблица 3

Состав	Ц : П = 1:3			
Цемент ЦЕМ 42,5Б ГОСТ 31108-2020, г	529	529	529	529
Песок средний камский, г	1569	1569	1569	1569
Вода, мл	210	210	210	210
Фибра стеклянная, %	-	0,6	0,8	1
Гиперпластификатор, %	1	1	1	1
V/Ц	0,397	0,397	0,397	0,397
Средняя плотность, г/см ³	2,340	2,293	2,317	2,280

Фибру добавляли в часть воды затворения, хорошо перемешивали, чтобы волокна распределились и затем добавляли в бетонную смесь в процессе замешивания (рис. 4).

При подборе состава бетонной смеси удобоукладываемость подбиралась таким обра-



Рис. 2. Комкование при добавлении фибры в сухом виде



Рис. 3. Процесс испытания образцов на растяжение при изгибе

зом, чтобы смесь можно было легко наносить на поверхность при проведении ремонтных работ и при этом смесь при нанесении уверенно держалась на вертикальных поверхностях.

Экспериментальным путем были подобраны составы с подвижностью П1 (ОК 1 – 4 см) по ГОСТ 10181. При этом, так как смесь мелкозернистого бетона с добавлением фибры можно рассматривать как разновидность специального раствора (для проведения ремонтных работ), также проводились испытания по определению подвижности по величине погружения стандартного конуса по ГОСТ 5802 (рис. 5). В результате пробных замесов бетонной смеси было установлено, что при получении показателя осадки конуса 1 – 4 см значение погружения конуса было в диапазоне 3 – 4 см.

При этом, несмотря на относительно невысокую подвижность, смесь легко наносится на поверхность и удерживается на ней. Введение фибры вместе с пластифицирующей добавкой изменяет реологические свойства, влияя на тиксотропность смеси. Осадка конуса в 1–4 см объясняется тем, что фибра, особенно при вы-

соких дозировках, связывает бетонную смесь, не давая ей растекаться.

Пределы прочности образцов стеклофибробетона и контрольных образцов второй партии при изгибе представлены в табл. 4.

Максимальные нагрузки и деформации образцов представлены на рис. 6.



Рис. 4. Добавление фибры в часть воды затворения



Рис. 5. Определение подвижности фибробетонной смеси

Таблица 4

Возраст образцов, сут	Количество фибры, %			Контрольный образец
	0,6	0,8	1	
Предел прочности при изгибе, кг/см ²				
7	68,2	71,5	78,6	69,21
28	72,36	88,64	84,92	76,88

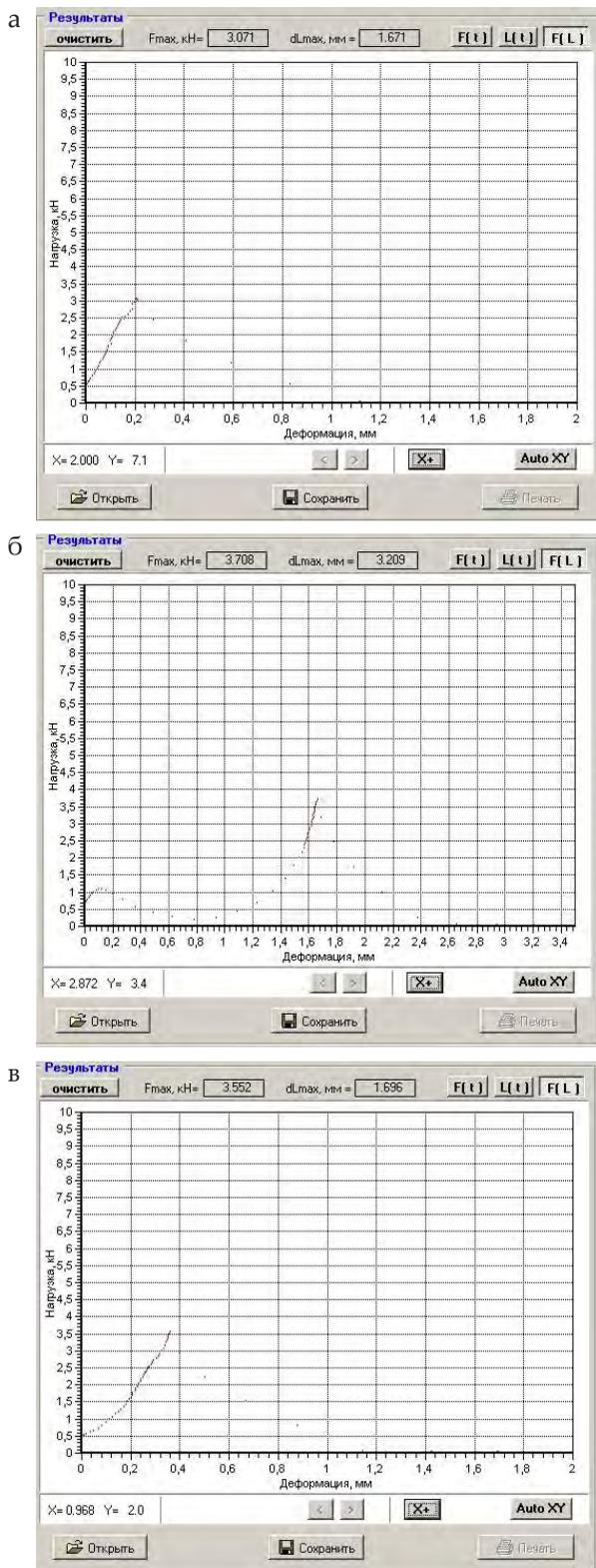


Рис. 6. Результаты испытаний прочности при изгибе стеклофибробетонных образцов 2-й серии на 28-е сут с процентом армирования: а – 0,6 %; б – 0,8 %; в – 1 %

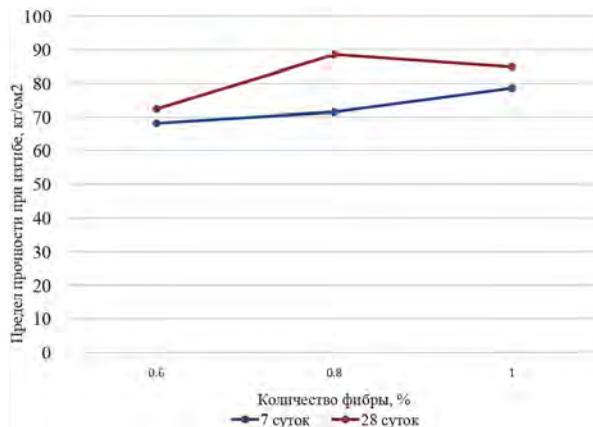


Рис. 7. Зависимость предела прочности фибробетона при изгибе от степени армирования стеклянным фиброволокном

Анализ результатов испытаний второй серии образцов показывает, что с увеличением количества фибры до 0,8 % от массы бетонной смеси прочность при изгибе начинает возрастать на 16,32 % по сравнению с образцами с процентом армирования, равным 0,6 % от массы бетонной смеси. После увеличения процента фибры до 1 % показатель прочности при изгибе снизился на 4,2 % по сравнению с образцами с показателем армирования 0,8 %. Наилучшие прочностные характеристики в возрасте 28 сут имеют образцы мелкозернистого бетона с стеклофиброармированием, равным 0,8 % от массы бетонной смеси. Таким образом, стеклофибробетон имеет лучшие показатели прочности при изгибе, а именно они выше на 13,3 % по сравнению с контрольными образцами.

Характер разрушения стеклофибробетонного образца при испытании на изгиб показан на рис. 8.

Образцы испытывали также на сжатие. Пределы прочности образцов стеклофибробетона и контрольных образцов второй серии при сжатии представлены в табл. 5.

Данные исследований второй серии показывают, что с увеличением процента армирования до 1 % показатели прочности при сжатии начинают снижаться. Наилучшие и максимально приближенные показатели прочности на сжатие к показателям мелкозернистого бетона (контрольный образец) имеют образцы с фиброармированием, равным 0,8 %.

Обобщенный анализ результатов испытаний на сжатие и изгиб позволяет сделать вывод, что наилучшим вариантом для дальнейшего расчета является стеклофибробетон с показателем армирования 0,8 % от массы бетонной смеси при $R_{сж} = 53,92$ МПа и $R_{изг} = 88,64$ кг/см².

При определении водопоглощения испытуемых образцов было установлено, что введение стеклофибры не приводит к повышению данного показателя.

Для исследования зависимости прочности образцов от мелкого заполнителя была изготовлена третья серия образцов стеклофибробетона с тем же составом и водоцементном соотношением, что и образцы второй серии, но в качестве мелкого заполнителя принят песок Волжского месторождения с модулем крупности $M_{кр} = 1,46$.



Рис. 8. Образец – балочка с фиброй (вторая партия) после испытания на изгиб

Стекловолоконное волокно вводилось в состав бетонной смеси в том же количестве, что и для образцов второй партии: 0,6; 0,8 и 1 % от массы бетонной смеси. Состав образцов стеклофибробетона и контрольных образцов третьей партии представлен в табл. 6.

Пределы прочности образцов стеклофибробетона и контрольных образцов третьей партии при изгибе представлены в табл. 7.

Максимальные нагрузки и деформации образцов представлены на рис. 10.

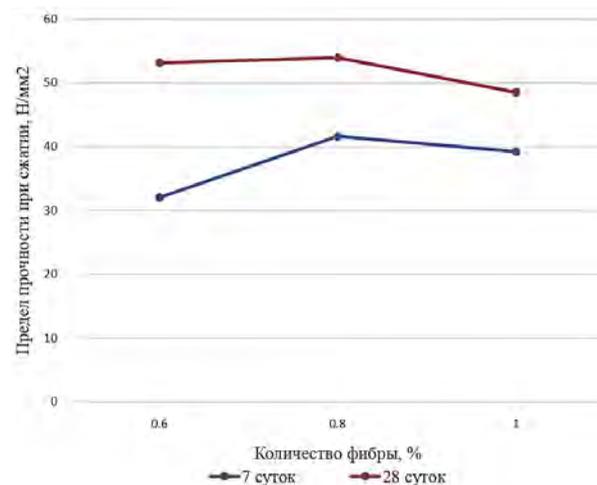


Рис. 9. Зависимость предела прочности фибробетона при сжатии от степени армирования стеклянным волокном

Таблица 5

Возраст образцов, сут	Количество фибры, %			Контрольный образец
	0,6	0,8	1	
	Предел прочности при сжатии, Н/мм ²			
7	32,0	41,6	39,2	40,0
28	53,12	53,92	48,48	53,94

Таблица 6

Состав	Ц : П=1:3			
	Цемент ЦЕМ 42,5Б ГОСТ 31108-2020, г	529	529	529
Песок мелкий волжский, г	1569	1569	1569	1569
Вода, мл	210	210	210	210
Фибра стеклянная, %	-	0,6	0,8	1
Гиперпластификатор, %	1	1	1	1
В/Ц	0,397	0,397	0,397	0,397
Средняя плотность, г/см ³	2,160	2,150	2,220	2,250

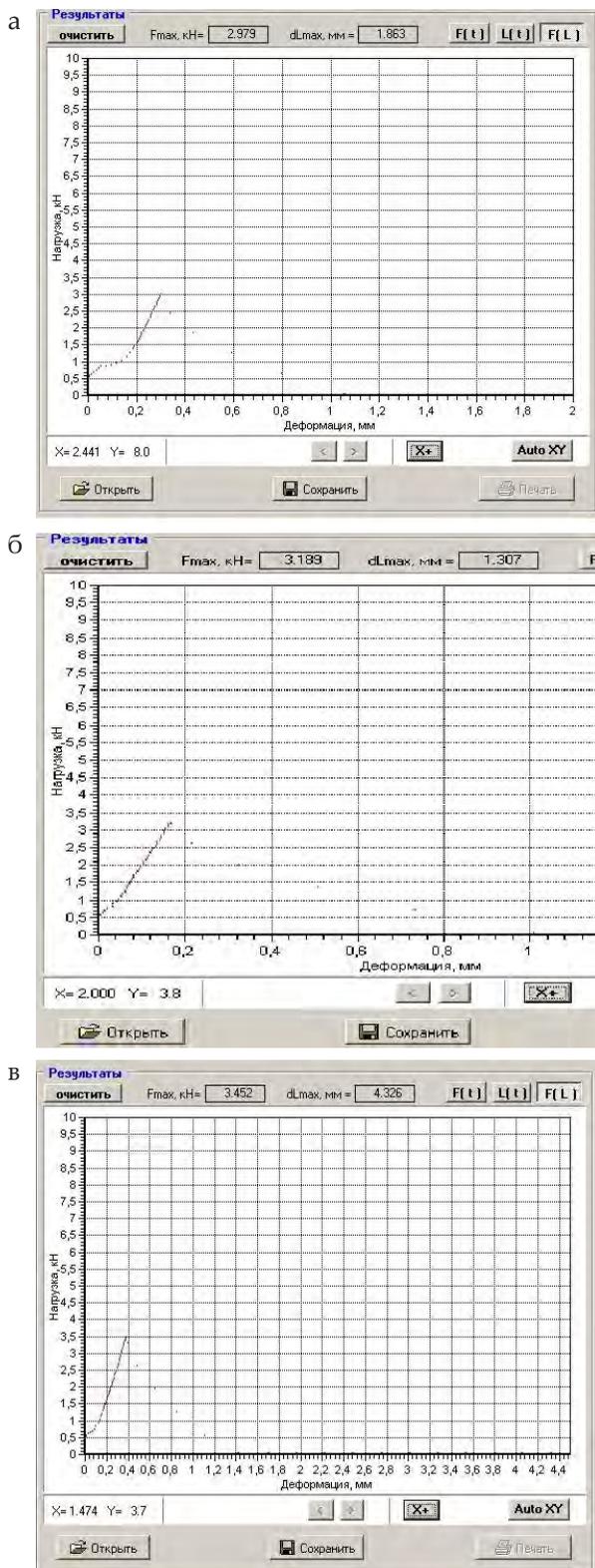


Рис. 10. Результаты испытаний прочности при изгибе стеклофибробетонных образцов 3-й серии на 28-е сут с процентом армирования: а – 0,6 %; б – 0,8%; в – 1 %

Результаты исследований третьей партии показывают, что с увеличением количества фибры до 1 % от массы бетонной смеси прочность при изгибе начинает возрастать на 9,54 % по сравнению с контрольными образцами без фибры. Фибробетонные образцы с процентом армирования, равным 1 %, также выше на 2,5 %, чем у образцов с процентом армирования, равным 0,8, и на 8,93 % выше, чем у образцов с показателем армирования, равным 0,6 %.

Пределы прочности образцов стеклофибробетона и контрольных образцов третьей партии при сжатии представлены в табл. 8.

Данные исследований третьей серии образцов показывают, что наилучшие показатели прочности при сжатии имеют стеклофибробетонные образцы с показателем армирования 0,8 %. С увеличением процента армирования до 1 % показатели прочности при сжатии начинают снижаться.

Сравнительная характеристика показателей прочности образцов от вида мелкого заполнителя представлена в табл. 9, 10.

Сравнительный анализ второй и третьей серий образцов показывает, что образцы с заполнителем – песок группы «средний» имеют лучшие показатели прочности при изгибе и сжатии.

При проведении ремонтных работ одним из главных критериев, влияющих на качество их выполнения, является адгезионная прочность. При исследовании данного показателя был принят состав третьей серии образцов стеклофибробетона с соответствующими показателями армирования (табл. 6).

Наличие на поверхности тонкого слоя бетонной пыли, цементных пленок, органических загрязнений может значительно снизить пока-

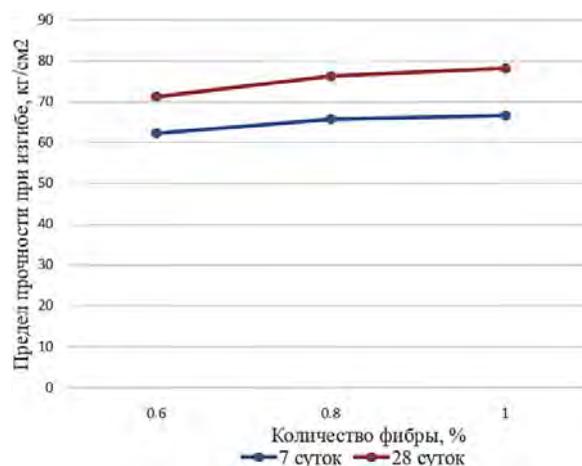


Рис. 11. Зависимость предела прочности фибробетона при изгибе от степени армирования стеклянным фиброволокном

Таблица 7

Возраст образцов, сут	Количество фибры, %			Контрольный образец
	0,6	0,8	1	
	Предел прочности при изгибе, кг/см ²			
7	62,28	65,74	66,58	57,28
28	71,22	76,24	78,2	70,74

Таблица 8

Возраст образцов, сут	Количество фибры, %			Контрольный образец
	0,6	0,8	1	
	Предел прочности при сжатии, Н/мм ²			
7	25,32	26,59	29,28	29,41
28	35,31	44,11	38,51	41,01

Таблица 9

Номер партии	Количество фибры, %			Контрольный образец
	0,6	0,8	1	
	Предел прочности при изгибе, МПа			
Вторая серия: с заполнителем – песок группы «средний»	7,2	8,9	8,5	7,7
Третья серия: с заполнителем – песок группы «мелкий»	7,1	7,6	7,8	7,1

Таблица 10

Номер партии	Количество фибры, %			Контрольный образец
	0,6	0,8	1	
	Предел прочности при сжатии, МПа			
Вторая серия: с заполнителем – песок группы «средний»	53,12	53,92	48,48	53,94
Третья серия: с заполнителем – песок группы «мелкий»	35,31	44,11	38,51	41,01

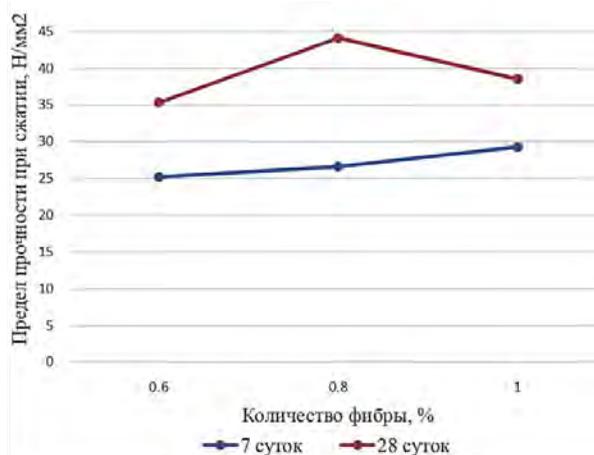


Рис. 12. Зависимость предела прочности фибробетона при сжатии от степени армирования стеклянным фиброволокном



Рис. 13. Образцы с фиброй и контрольным составом без фибры перед испытанием на адгезионную прочность

затели адгезии, поэтому перед началом нанесения ремонтного состава поверхность должна быть тщательно подготовлена. Прочность ремонтного состава должна быть не ниже прочности основания.

Нанесенный на поверхность ремонтный состав в процессе твердения цементного камня находится в напряженно-деформированном состоянии в процессе усадки. Значительные перепады температур в процессе эксплуатации также могут привести к нарушению целостности и появлению микротрещин. По данным авторов [5, 6], введение фибры в мелкозернистые бетонные смеси позволяет снизить усадочные деформации, что в свою очередь положительно сказывается на адгезионной прочности. Показатели адгезионной прочности были измерены при помощи прибора ПСО МГ4 и приведены в табл. 11.

Результаты испытаний показывают, что введение фибры в состав ремонтной смеси увеличивает адгезионную прочность, что, в свою очередь, позволяет использовать данный состав при проведении ремонтных работ.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие **выводы**:

1. Вводить стеклофибру в состав бетонной смеси целесообразно в часть воды затворения, а не в сухом виде, также обязательно введение в фибробетонный состав пластифицирующих добавок.

2. Нецелесообразно использовать мелкие пески с высокой водопотребностью.

3. Процент армирования фибры в бетонную смесь при ручном способе ввода не должен превышать 1 % ввиду сложности её однородного распределения в смеси.

4. Исследование физико-механических свойств стеклофибробетона показали, что наиболее оптимальный процент армирования стеклофибробетона при ручном способе введения фибры составил 0,8 % стеклянного волокна от массы бетонной смеси.

5. Отмечено увеличение адгезионной прочности бетонного состава с добавлением стеклянного волокна, что позволяет использовать его при ремонте и усилении железобетонных конструкций.

Таблица 11

Количество фибры, %	Показатели прочности, МПа		Среднее значение прочности, МПа
Контрольный состав, без фибры	0,44	0,46	0,45
0,6	0,55	1,05	1,6
0,8	1,64	2,03	1,835
1	1,13	2,15	1,64



Рис. 14. Характер разрушения образцов:
а – контрольный; б – со стеклофibrрой

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Габидуллин М.Г., Багманов Р.Т., Шангараев А.Я. Исследование влияния характеристик стеклофибры на физико-механические свойства стеклофибробетона // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. № 1(13). С. 268–273.
2. Кондратьева Н.В. Исследование способов повышения коррозионной стойкости железобетонных конструкций // Градостроительство и архитектура. 2020. Т.10, № 1. С. 16–23. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.3
3. Рябова А.А. Оценка стеклофибробетона как конструкционного материала // Фундаментальные исследования. 2015. № 11–3. С. 500–504.
4. Баженов Ю.М. Способы определения состава бетонов различных видов. М.: Стройиздат, 1975. 268 с.
5. Денисов А. В., Рогачев К.В., Иваненко С.В. Результаты проверки модели структуры фибробетона, разработанной для аналитического определения его термических и радиационных изменений, по экспериментальным данным усадки при твердении // Наукoведение. 2016. Т. 8. № 4(35). С. 37.
6. Критерий оценки качества ремонтных работ стоек опор ЛЭП / И.О. Егорочкина, Е.А. Шляхова, А.В. Черпаков [и др.] // Инженерный вестник Дона. 2017. № 1(44). С. 102.

REFERENCES

1. Gabidullin M.G., Bagmanov R.T., Shangaraev A.Ya. Study of the influence of glass fiber characteristics on the physical and mechanical properties of glass fiber reinforced concrete. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [News of Kazan

Об авторах:

КОНДРАТЬЕВА Надежда Владимировна

кандидат технических наук, доцент
кафедры строительных конструкций
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: samstroyisp@gmail.com

ГОЛОВАТЮК Мария Андреевна

магистрант АСА СамГТУ, инженер
строительного отдела
ООО «СамараНИПИнефть»
443010, Россия, г. Самара, ул. Вилоновская, 18
E-mail: miss2010@mail.ru

State University of Architecture and Civil Engineering], 2010, no. 1(13), pp. 268–273. (in Russian)

2. Kondratieva N.V. Investigation of ways to improve the corrosion resistance of reinforced concrete structures. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Planning and Architecture], 2020, Vol. 10, no. 1, pp. 16–23. DOI: 10.17673/ Vestnik.2020.01.3

3. Ryabova A.A. Evaluation of fiberglass concrete as a structural material. *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic Researches], 2015, no. 11–3, pp. 500–504.

4. Bazhenov Yu.M. *Sposoby opredeleniya sostava betonov razlichnyh vidov* [Methods for determining the composition of concrete of various types]. Moscow, Strojizdat, 1975. 268 p.

5. Denisov A.V., Rogachev K.V., Ivanenko S.V. Results of checking the model of the structure of fiber-reinforced concrete, developed for the analytical determination of its thermal and radiation changes, according to experimental data on shrinkage during hardening. *Naukovedenie* [Science of Science], 2016, Vol. 8, no. 4(35), P. 37. Available at: <https://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-4-technics> (accessed 07 September 2022).

6. Egorochkina O., Shlyakhova E.A., Cherpakov A.V. Criteria for assessing the quality of repair work of power transmission towers. *Inzhenernyj vestnik Dona* [Don Engineering Herald], 2017, no. 1(44), P. 102.

KONDRATYEVA Nadezhda V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Building Structures Chair
Samara State Technical University
Academy of Civil Engineering and Architecture
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: samstroyisp@gmail.com

GOLOVATYUK Mariia A.

Master's Degree Student of Academy of Civil Engineering and Architecture, Engineer of the Building Department
LLC SamaraNIPIneft
443010, Russia, Samara, Vilonovskaya str., 18
E-mail: miss2010@mail.ru

Для цитирования: Кондратьева Н.В., Головатюк М.А. Исследование технических характеристик стеклофибробетона // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 1. С. 82–91. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.01.11.

For citation: Kondratyeva N.V., Golovatyuk M.A. Research of Technical Characteristics of Glass-Fiber Concrete. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 1, pp. 82–91. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.01.11.