

УДК 664

К ВОПРОСУ О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ФИБРЫ В БЕТОНАХ

Д.И. Сафончик

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Республика Беларусь
e-mail: d.Safonchik@mail.ru

В статье рассмотрено влияние разных видов фибр на плотность и прочность фибробетонов. В качестве фибр использованы те, которые наиболее доступны в гродненском регионе. Среди них есть как высокомодульные материалы, так и среднемодульные и низкомодульные. Кроме того, некоторые из выбранных фибр относятся к отходам производств. По результатам работы определены оптимальные значения количества каждой фибры исходя из исследуемых параметров.

Ключевые слова: бетон, фибробетон, фибра, плотность, прочность на изгиб, прочность на сжатие.

TO THE QUESTION OF USE OF VARIOUS TYPES OF FIBER IN CONCRETE

D. Safonchik

Yanka Kupala State University in Grodno, Republic of Belarus
e-mail: d.Safonchik@mail.ru

The article considers the influence of different types of fibers on the density and strength of fibro-concrete. As the fibers used are those that are most available in the Grodno region. Among them there are both high-modulus materials, as well as medium-modular and low-modular materials. In addition, some of the selected fibers are waste products. According to the results of the work, the optimal values of the amount of each fiber are determined based on the parameters studied.

Keywords: concrete, fiber-reinforced concrete, fiber, density, bending strength, compressive strength.

Строительная отрасль, как в Республике Беларусь, так и в других странах мира, активно и динамично развивается. В большинстве случаев это обусловлено появлением новых эффективных материалов. Однако, несмотря на это, основным конструкционным материалом по-прежнему является бетон. Это объясняется тем, что он обладает рядом достоинств, которые ещё долгое время позволят ему оставаться на лидирующих позициях. На ряду с традиционным бетоном начинают активно использовать и относительно новый материал – фибробетон, который обладает рядом преимуществ по сравнению с обычным бетоном, но не находит широкого применения в Республике Беларусь. Часто это вызвано тем, что многие исследователи приводят весьма противоречивые сведения о влиянии разных фиброматериалов на характеристики бетонов.

Целью исследований, описанных в данной статье, является сравнение фибробетонов, полученных с применением разных видов фибр. Оценка влияния фибр производилась по двум параметрам: средняя плотность и средняя прочность (на изгиб и сжатие).

В качестве фибры выбраны девять видов материалов, доступных в Гродненском регионе (табл. 1).

Таблица 1. – Общий вид фиброматериалов



Стекловолоконная фибра



Волокно строительное микроармирующее (VSM)



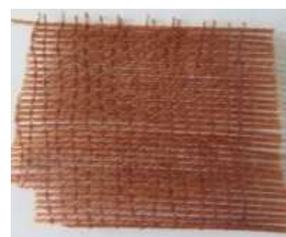
Полипропиленовая фибра



Базальтовая фибра



Полиэфирные волокна



Обрезки ткани кордной полиэфирной пропитанной



Нить капроновая крученая



Фибра стальная



Нить полиамидная текстурированная

При проектировании составов фибробетонов очень важно запроектировать их таким образом, чтобы фибробетон получался не только прочным в начальные сроки твердения, но и долговечным.

Фибробетон с одной стороны должен быть не очень тяжелым, а с другой – материал не должен быть очень пористым. То есть получается, что два указанных требования приходят в противоречие и необходимо искать некую середину между весом материала и его пористостью.

Разные фиброматериалы имеют разный вес и могут оказывать существенное влияние на объемный вес изделий. Кроме того, целый ряд фиброматериалов имеет очень плохое сцепление с цементным вяжущим, то есть между фиброй и цементом остается пустота, а значит нет совметной работы комплексного материала.

Из всех видов выбранных фибр наибольшее значение модуля упругости характерно для стальной фибры (19000 МПа). Достаточно высокие значения модуля упругости

имеют базальтовая и стеклянная фибра (для базальтовой фибры – не менее 9000 МПа, для стеклянной – не менее 7500 МПа). Остальные виды фибр имеют низкие значения модуля упругости.

Исходя из значения модуля упругости можно говорить о том, что для микроармирования целесообразно использовать стальную, базальтовую и стеклянную фибры. Каждая из этих фибр позволяет улучшать отдельные свойства фибробетона, но при этом есть и отрицательные стороны применения этих фибр.

Стальная фибра значительно утяжеляет материал, кроме того и требует выполнения мероприятий по защите стали от возможной коррозии. Применение стальной фибры невозможно в случаях необходимости создания безискровых конструкций.

Базальтовая фибра повышает трещиностойкость бетона, прочность на раскалывание, ударную прочность, в изделиях имеет высокую адгезию с цементным камнем. Цементный камень и базальтовая фибра имеют один коэффициент температурного расширения, в отличие от фибры металлической. Основным недостатком базальтовой фибры является ее высокая стоимость.

Стеклянная фибра может оказывать положительное влияние на прочность к воздействию растягивающих и сжимающих нагрузок, устойчивость к изгибу, имеет относительно небольшой вес, стойка к воздействию отрицательных температур, но не стойка к воздействию щелочей. Для повышения стойкости стеклянной фибры к воздействию щелочей необходимо использовать дорогостоящее щелочестойкое стекло.

Остальные материалы, примененные в работе, хоть и не так эффективны, как сталь, базальт и стекло, но также могут быть применены в качестве фибры.

Основные достоинства низко модульных фибр как правило в их невысокой стоимости. При этом, низко модульные фибры позволяют снижать величину поверхностных натяжений цементных материалов. Не позволяют образовываться или увеличиваться усадочным трещинам и на 10-15 процентов могут повысить прочность на изгиб фиброармированных материалов.

Для того, чтобы установить влияние каждого выбранного вида фибры на среднюю плотность фиброцементных систем приготавливались цементно-песчаные смеси с добавлением фибр в разном количестве. Затем из этих смесей формовались образцы размерами 40×40×160 мм. Образцы твердели в пропарочной камере. Далее высушивались. Измерялись линейные размеры и масса каждого образца и рассчитывалась средняя плотность балок. Для каждого состава изготавливали не менее трех образцов.

Результаты измерения плотности представлены в таблице 2.

Как видно, введение фибры в состав фибробетона приводит к изменению средней плотности образцов. Однако, изменение плотности не находится в прямой зависимости между от веса фибры. Введение фибры оказывает значительное влияние прежде всего на формуемость смеси в которой присутствует фибра. Зачастую увеличение расхода фибры приводит к ухудшению перемешиваемости смеси. В большей степени это характерно для нежестких материалов, таких как искусственные нити и волокна. Жесткая фибра (стальная) легко распределяется при перемешиванию смеси, не комкуется и при ее увеличении вызывает увеличение и массы смеси.

Таблица 2. – Результаты исследования влияния фибр на среднюю плотность образцов

№ п/п	Наименование фибры	Значение средней плотности в зависимости от расхода фибры, кг/м ³					
		1%		2%		5%	
1	полипропиленовая	2199	2210	2363	2344	2278	2273
		2216		2314		2261	
		2215		2354		2281	
2	базальтовая	2315	2310	2275	2238	2278	2273
		2301		2218		2261	
		2314		2221		2281	
3	стеклянная	2178	2168	2268	2253	2214	2231
		2169		2287		2237	
		2157		2203		2242	
4	ВСМ	2160	2166	2218	2233	2135	2132
		2145		2244		2123	
		2192		2237		2139	
5	полиэфирные волокна	2237	2248	2191	2192	2195	2174
		2281		2186		2159	
		2225		2199		2169	
6	обрезки ткани кордной полиэфирной пропитанной	2285	2263	2276	2305	2201	2225
		2289		2310		2230	
		2215		2329		2243	
7	нить капроновая крученая	2199	2202	2215	2224	2116	2119
		2197		2241		2120	
		2210		2217		2120	
8	стальная	2197	2188	2269	2261	2301	2294
		2196		2255		2298	
		2171		2258		2282	
9	нить полиамидная текстурированная	2157	2161	2175	2173	2192	2189
		2179		2164		2164	
		2146		2180		2212	

Выполненный эксперимент позволяет в зависимости от способности смеси перемешиваться совместно с разными видами фибры и в зависимости от изменения плотности при увеличении расхода фибры прогнозировать изменение прочностных показателей образцов.

На следующем этапе работы выполнялась оценка влияния девяти видов фибр на прочностные показатели изготовленных образцов. Полученные результаты испытаний представлены в таблице 3. Среднее значение прочности на изгиб определено по 6 испытаниям. Среднее значение прочности на сжатие определено по трем испытаниям.

Применение полипропиленовой фибры при увеличении ее количества до 5% от массы цемента позволяет увеличить прочность на изгиб образцов. Увеличение количества фибры до 2 процентов приводит к увеличению на 24,5 % прочности на изгиб относительно образца, в котором расход полипропилена составлял 1%. Увеличение расхода фибры до 5 % позволило еще повысить прочность на изгиб. Её прирост составил 29,5 %. Что касается изменения прочности на сжатие образцов, модифицированных этим видом

фибры, то при расходе полипропилена 2% прочность повысилась на 8,9%; при расходе 5% - прочность упала на 8,3%. При расходе в 5% полипропиленовая фибра привела и к падению величины средней плотности цементных образцов, то есть повышенный расход фибры ухудшил перемешиваемость смеси и в дальнейшем привел к снижению прочности из-за плохой укладки компонентов смеси в форме. Следовательно наилучшего положительного эффекта по улучшению прочностных показателей можно достичь при введении полипропиленовой фибры в количестве не более 2% от массы цемента.

Таблица 3. – Результаты исследования влияния фибр на среднюю прочность на изгиб образцов

№ п/п	Наименование фибры	Значение средних прочностей на сжатие в зависимости от расхода фибры, МПа			Значение средних прочностей на сжатие в зависимости от расхода фибры, МПа		
		1%	2%	5%	1%	2%	5%
1	полипропиленовая	5,94	7,40	7,69	37,24	40,56	34,16
2	базальтовая	7,33	6,94	6,67	44,12	37,20	36,06
3	стеклянная	7,55	7,18	7,70	48,72	42,8	42,26
4	ВСМ	6,77	6,65	5,18	44,63	38,60	26,90
5	полиэфирные волокна	7,76	8,12	7,76	34,66	32,05	28,60
6	обрезки ткани кордной полиэфирной пропитанной	6,70	7,41	7,16	27,50	27,66	27,86
7	нить капроновая крученая	6,12	6,34	5,46	27,20	27,06	24,46
8	стальная	7,78	8,78	9,42	38,06	42,60	43,46
9	нить полиамидная текстурированная	7,66	5,65	6,44	33,80	34,93	33,33

Использование базальтовой фибры при ее расходе до 1% позволило получить более высокие прочностные показатели по сравнению с аналогичными образцами, изготовленными с помощью полипропиленовой фибры. Повышение расхода базальтовой фибры до 2% и 5% привело к падению прочности как на изгиб, так и на сжатие. Увеличение расхода базальтовой фибры приводит и к падению средней плотности образцов. Следовательно, оптимальным расходом базальтовой фибры можно считать ее количество не более 1% от массы цемента.

Стеклянная фибра улучшает прочностные показатели, если ее расход не превышает 1% от массы цемента. При таком расходе прочность на изгиб может достигать величины 7,55 Мпа, а прочность на сжатие – 48,72 Мпа. Эти показатели сопоставимы с аналогичными показателями прочности образцов, модифицированных базальтовой фиброй и значительно выше в сравнении с полипропиленовой фиброй. Увеличение расхода стеклянной фибры приводит к получению неоднозначных результатов. При расходе стеклянной фибры 2% прочность на изгиб падает до величины в 7,18 МПа, а прочность на сжатие до 42,8 МПа. Однако увеличение расхода фибры до 5% не привело

к дальнейшему падению прочности на изгиб, а даже наоборот этот параметр несколько повысился и составил 7,7 МПа. Прочность на сжатие и при расходе фибры в 5 % понизилась и составила 42,3 Мпа. Экспериментальные данные позволяют говорить о том, что при использовании стеклянной фибры необходимо тщательно контролировать расход фибры при приготовлении смесей. Оптимальным значением расхода стеклянной фибры можно считать величину в 1 % от массы цемента.

ВСМ фибра показала способность к улучшению прочностных показателей образцов при ее расходе не более 1 %. Увеличение расхода свыше одного процента не целесообразно, так как ухудшаются и технологические свойства смеси и прочностные показатели образцов.

Полиэфирные волокна при использовании их для модификации цементно-песчаных растворов позволяют повышать прочность образцов на изгиб при введении их в количестве до 2 %. При этом прочность на сжатие уменьшается, но незначительно. Дальнейшее увеличение расхода полиэфирной фибры приводит к падению прочности и на изгиб, и на сжатие. При назначении оптимального расхода этого вида фибры необходимо руководствоваться теми из параметров, которые в конкретном случае будут наиболее важны. Если на первом месте будет стоять прочность на изгиб, то оптимальное количество полиэфирной фибры 2 % от массы цемента. Если наиболее важна будет прочность на сжатие, то рекомендуемое количество не должно превышать 1,5 % от массы цемента.

Применение обрезков ткани кордной полиэфирной пропитанной в качестве фибры позволяет улучшать прочность и на сжатие, и на изгиб при ее расходе до 2 %. Увеличение показателей незначительно, поэтому если рассматривать оптимальное количество фибры с экономической точки зрения, то увеличение расхода свыше 1 % нецелесообразно. Следует отметить и тот факт, что повышение расхода фибры до 5 % не приводит к значительным изменениям прочности.

Использование нити капроновой крученной показало самые низкие значения прочности по сравнению со всеми видами исследуемых фибр. Оптимальным расходом этого вида фибры можно считать 1 % от массы цемента.

Стальная фибра позволяет улучшать прочностные показатели образцов при любом ее расходе. То есть увеличение расхода стальной фибры приводит к увеличению прочности и на сжатие, и на изгиб. То есть для этого вида фибры оптимальное значение ее расхода должно определяться не по техническим показателям, а по экономическим.

Нить полиамидная по своему эффекту влияния на прочность цементно-песчаных образцов не отличается от того, как влияют остальные низкомолекулярные волокна. Максимальный эффект при использовании этой фибры может быть достигнут при ее расходе до 1% от массы цемента. Увеличение расхода фибры свыше 1 % приводит к падению прочности и на изгиб, и на сжатие.

По полученным данным и с учетом оптимальных прочностных показателей построена таблица 4.

Выполненная работа позволила наглядно показать важность правильного проектирования составов фибробетонов.

Таблица 4. – Результаты исследования влияния фибр на среднюю прочность на сжатие образцов

№ п/п	Наименование фибры	Оптимальное количество фибры, %	Rсж, Мпа	Rизг, Мпа
1	полипропиленовая	2	7,40	40,56
2	базальтовая	1	7,33	44,12
3	стеклянная	1	7,55	48,72
4	ВСМ	1	6,77	44,63
5	полиэфирные волокна	1,5	6,94	33,36
6	обрезки ткани кордной полиэфирной пропитанной	1	6,70	27,50
7	нить капроновая крученая	1	6,12	27,20
8	стальная	5	9,42	43,46
9	нить полиамидная текстурированная	1	7,66	33,80

Варьирование только видом фибры позволило оказать существенное влияние как на плотность проектируемых материалов, так и на их прочность. Эмпирически доказано, что прочность на изгиб может варьироваться при использовании исследуемых видов фибр в пределах 30,5 %. Прочность на сжатие может изменяться в еще больших пределах (79,1%).

По результатам выполненной работы нельзя говорить об оптимальных видах фибры, которая подходила бы для любых условий эксплуатации. Для окончательного вывода о целесообразности того или иного вида фибры требуется выполнение более глубокого анализа исследуемых материалов.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2020

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:

Л. М. Парфенова (председатель),
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,
Н. В. Давыденко, Р. М. Платонова

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ
[Электронный ресурс] : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-701-3.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

№ госрегистрации 3671815379.

ISBN 978-985-531-701-3

@Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Технический редактор *Т. А. Дарьянова.*

Компьютерная верстка *Т. А. Дарьяновой.*

Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой.*

Подписано к использованию 09.09.2020.

Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>