

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-4.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf>

Статья опубликована 30.08.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М. Выбор видов волокон для дисперсного армирования изделий из центрифугированного бетона // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 691.32

Маилян Левон Рафаэлович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Россия, Ростов-на-Дону¹
Профессор кафедры «Железобетонных и каменных конструкций»
Доктор технических наук
E-mail: mailyan@sroufo.ru

Стельмах Сергей Анатольевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Россия, Ростов-на-Дону
Доцент кафедры «Технологии вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики»
Кандидат технических наук
E-mail: sergej.stelmax@mail.ru

Холодняк Михаил Геннадиевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Россия, Ростов-на-Дону
Инженер кафедры «Технологии вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики»
E-mail: xolodniak@yandex.ru

Щербань Евгений Михайлович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Россия, Ростов-на-Дону
Старший преподаватель кафедры «Технологии вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики»
Кандидат технических наук
E-mail: au-geen@mail.ru

Выбор видов волокон для дисперсного армирования изделий из центрифугированного бетона

Аннотация. В статье рассмотрены теоретические и практические аспекты армирования бетонов дисперсными волокнами. Авторами изучено влияние армирующих волокон различного вида на характеристики бетонов. Исследована эффективность армирования дисперсным волокном в изделиях, работающих под нагрузкой. Выполнен сравнительный анализ различных видов волокон в лаборатории. По результатам проведенных авторами исследований и сопоставления свойств различных видов фиброволокна выявлены закономерности, правила применения, а также даны некоторые рекомендации по применению различных видов фиброволокна.

Авторами представлен анализ полученных результатов, который привел к выводу, что наибольший эффект во всех испытаниях дало применение базальтового фиброволокна. Базальтофибробетон по сравнению с обычным тяжелым бетоном обладает более высокой

¹ 344000, ЮФО, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

прочностью и деформативностью, так как армирующее его базальтовое волокно обеспечивает более высокую степень дисперсности армирования цементного камня, и само базальтовое волокно обладает более высокой прочностью, чем любая полимерная фибра. Кроме того, базальтофибробетон имеет большие упругие деформации, так как базальтовое волокно при растяжении пластических деформаций практически не имеет, а по модулю упругости превосходит бетон более чем в 3 раза.

Ключевые слова: центрифугированный бетон; дисперсное армирование; полиамидное волокно; полипропиленовое волокно; базальтовое волокно; критическая длина волокна; базальтофибробетон

Введение

Армирование бетона (в большей степени ячеистых и цементно-песчаных растворов) с помощью полимерных волокон (рис. 1) занимает постоянно расширяющуюся нишу в строительстве. В отличие от стальных армирующих сеток, волокна равномерно распределяются в объеме бетонной смеси, улучшают вяжущие свойства, делают смесь более устойчивой к расслоению.

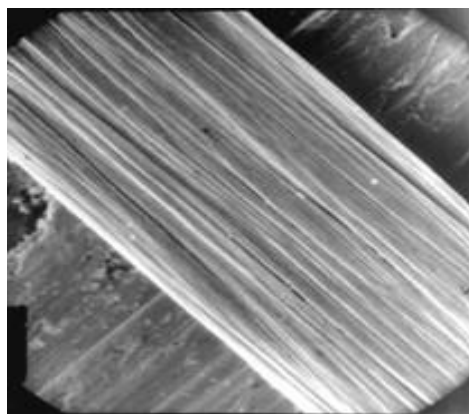


Рисунок 1. Поперечное сечение волокна и его поверхность под электронным микроскопом (фото авторов)

Применение волокон приводит к повышению предела прочности на растяжение при изгибе, снижению его усадки, повышению трещиностойкости. Вместе с тем возрастает устойчивость материала к чередующимся циклам замораживания и оттаивания, высыхания и увлажнения [1, 2, 4, 5-8].

Эффективность армирования бетона с помощью полимерного микроволокна – величина переменная, которая определяется рядом параметров: длиной и диаметром волокон, модулем упругости полимера, а также количеством волокон в единице объема бетонной смеси.

Наиболее важными факторами являются упругость и длина волокон: чем больше модуль упругости полимерной фибры соответствует аналогичному показателю цементной матрицы, и чем больше по длине используемые волокна, тем значительнее будет влияние дисперсного армирования на характеристики трещиностойкости бетона [12]. Следует отметить, что длина волокон не должна быть чрезмерно высокой – это приводит к технологическим трудностям при попытке провести равномерное распределение микроволокон в объеме подготавливаемой смеси [10].

Для каждого вида бетонной смеси следует опытным путем устанавливать, какая длина волокна является оптимальной. Так для тяжелого подвижного бетона применяют фибру длиной от 12 до 20 мм [3].

Основная часть

Эффективность армирования дисперсным волокном в изделиях, работающих под действием статических нагрузок, зависит от прочности бетона-матрицы, характеристик фибры, и концентрации фибры в объеме материала.

Эффективность работы фиброволокна в бетонных композициях возрастает с увеличением их длины. Существует понятие критической длины волокна $L_{кр}$, до которой напряжение, воспринимаемое собственно волокном в композиции, возрастает и при $L = L_{кр}$ становится равным прочности волокна. При разрушении композиции, наполненной волокном с $L < L_{кр}$, наблюдается выдергивание коротких волокон из матрицы, т.е. композиция разрушается на границе волокно / цементный камень (рисунок 1). Волокна с $L > L_{кр}$ сами разрушаются и полностью реализуют всю прочность [9]. Поэтому композиции, армированные волокном с $L > L_{кр}$, намного прочнее, чем волокна с $L_{кр}$. Чем меньше значение $L_{кр}$ волокна, тем эффективнее волокно упрочняет матрицу. Увеличение длины волокна приводит к упрочнению композиции, однако одновременно с этим увеличивается вязкость бетонной смеси, ухудшается перерабатываемость, технологичность, затрудняется процесс уплотнения. Еще один немаловажный фактор – относительное удлинение волокна при разрыве.

Для каждого вида волокон и для каждой композиции $L_{кр}$ индивидуальна. Существуют оценочные формулы, позволяющие определить $L_{кр}$, одна из них имеет следующий вид:

$$L_{кр} = 0,5 \cdot y_f \cdot d_{cp} / \phi_m \quad (1)$$

где: $L_{кр}$ – критическая длина волокна; y_f – усреднённая прочность волокна; d_{cp} – средний диаметр волокна; ϕ_m – адгезионная прочность на границе волокно/матрица.

Для увеличения эффективности (для снижения $L_{кр}$) поверхность, например, полиакриловых волокон, подвергают специальной обработке. В результате ее поверхность становится рифленой с выемкой вдоль волокна (таблица 1), что оптимизирует взаимодействие с вяжущим. Но несмотря на это, ввиду высокой разрывной прочности полиакрилового волокна по сравнению с цементным камнем, использование данного вида волокна длиной менее 0,5 мм неэффективно.

Таблица 1

Типы применяемого фиброволокна

Тип 1	Тип 2	Тип 3
		
Полиамидное волокно	Полипропиленовое волокно	Базальтовое волокно

Разработана авторами

Классификация фибры по жесткостным и прочностным характеристикам представлена в таблице 2.

Таблица 2

Классификация фибры по жесткости и прочностным характеристикам

Фиброволокно	Плотность, г/см ³	Прочность на растяжение, R, МПа·10 ³	Модуль упругости F _г , МПа·10 ³	Удлинение при разрыве, %
Базальтовое (Тип 1)	2,6	1,6-3,2	100-130	1,4-3,6
Полипропиленовое (Тип 2)	0,9	0,4-0,77	3,5-8	10,25
Полиамидное (Тип 3)	0,9	0,72-0,9	1,9-5	5-20

Разработана авторами

Дополняя классификацию, приведем дополнительную характеристику волокон: полипропиленовые волокна отличаются сравнительно низкой плотностью, что приводит к некоторому расслоению в процессе приготовления раствора, а также обладают недостаточной морозостойкостью; полиамидные волокна обладают ярко выраженными гидрофильными свойствами; базальтовые волокна наиболее хорошо из ряда минеральных волокон зарекомендовали себя по отношению к стойкости в щелочной среде. По некоторым данным прочность его при использовании в цементных бетонах не изменяется в течение всего срока эксплуатации [11].

Для конструкционных элементов, работающих под действие статических нагрузок, одной из главных характеристик является предел прочности на растяжение R_{fb} . Известны стадии работы композита с выключенной из работы матрицей из-за низкой растяжимости бетона в сочетании с двумя вариантами работы фибры: когда происходит разрыв волокна и когда происходит выдергивание из бетонной матрицы (рис. 2).

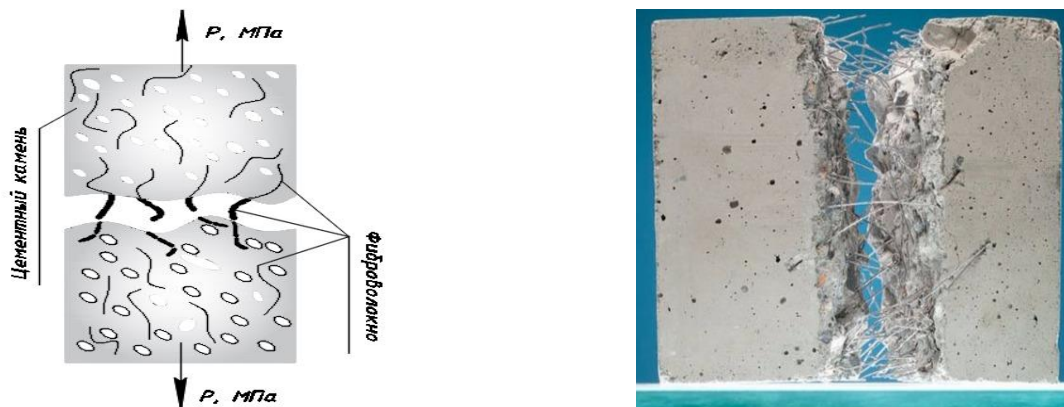


Рисунок 2. Разрушение на границе волокно / цементный камень (разработано авторами)

Естественно, что максимальное приращение прочности при растяжении фибробетона достигается при полном разрушении фибры. В этом случае прочностные возможности фибры используются предельно максимально.

Для сравнительного анализа различных видов волокон в лаборатории кафедры «Технологии вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики» Академии строительства и архитектуры Донского государственного технического университета приготавливалась бетонная смесь известного состава, в которую вводилась фибра, и контрольного состава без фибры. Формовались образцы-балочки размерами 10x10x40 см. Испытания проводились по ГОСТ 18105-2010 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности», ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» и ГОСТ 24544-81 «Бетоны. Методы определения деформации усадки и ползучести». Схемы проведения испытаний приведены в ГОСТ 10180, ГОСТ 24544 и являются стандартными.

По результатам проведенных исследований и сопоставления свойств различных видов фиброволокна были выявлены закономерности, правила применения и даны некоторые

рекомендации по применению того или иного вида фиброволокна. Графическая визуализация результатов таблицы 3 представлена на рис. 3-5.

Таблица 3

Сводные данные по результатам испытаний

Серия	Номер образца фибры	Расход фибры на 1 м ³ бетона, кг	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности на растяжение при изгибе		Общая усадка при полном высыхании	
				МПа	%	мм/м	%
К1	-	0	34,2	2,63	100	1,41	100
И1.1	1	0,90	29,5	2,73	104	1,21	86
И1.2		1,40	30,2	2,81	107	1,10	78
И1.3		1,9	32,7	3,20	122	0,89	63
И2.1	2	0,90	31,8	3,12	119	0,91	65
И2.2		1,40	32,1	3,64	139	0,89	63
И2.3		1,9	33,7	3,92	149	0,64	45
И3.1	3	0,90	32,7	3,30	125	0,87	62
И3.2		1,40	33,9	3,72	142	0,81	57
И3.3		1,9	34,1	4,10	156	0,72	51

Разработана авторами

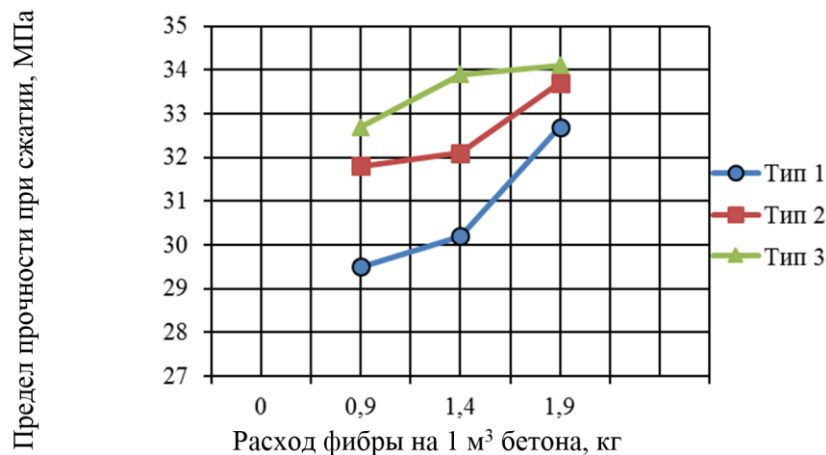


Рисунок 3. Зависимость предела прочности при сжатии от расхода фибры на 1 м³ бетона (разработано авторами)

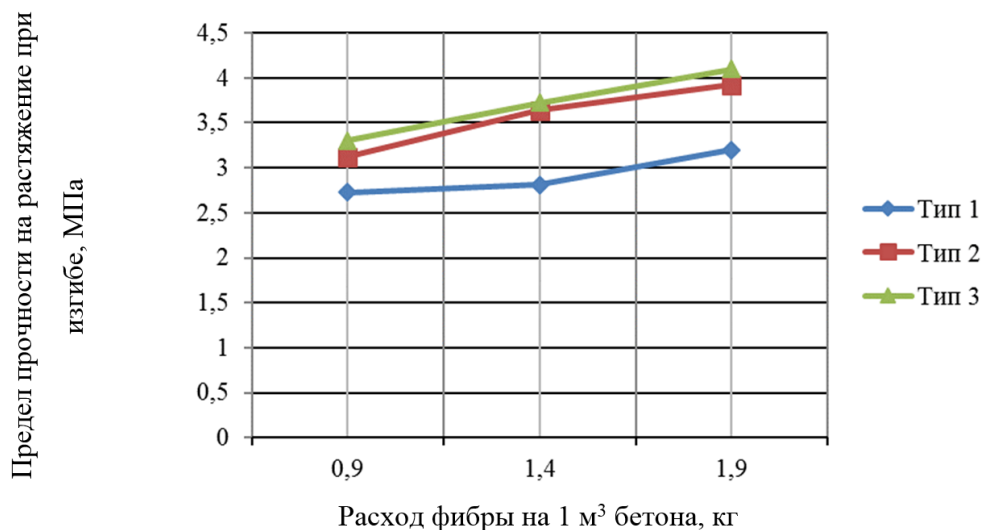


Рисунок 4. Зависимость предела прочности на растяжение при изгибе от расхода фибры на 1 м³ бетона (разработано авторами)

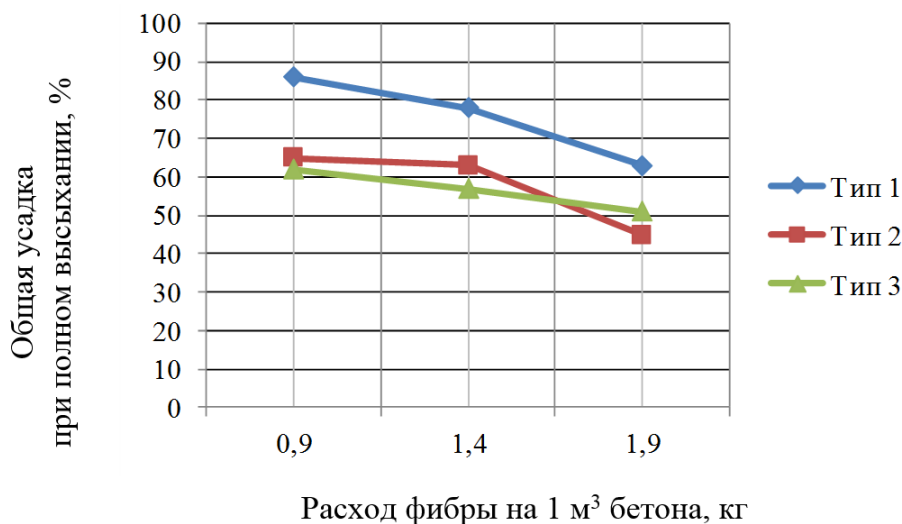


Рисунок 5. Количество общей усадки при полном высыхании %, от расхода фибры на 1 м³ бетона (разработано авторами)

Заключение

Анализ полученных результатов привел к выводу, что наибольший эффект во всех испытаниях дало применение базальтового фиброволокна. Базальтофибробетон по сравнению с обычным тяжелым бетоном, при условии разработки оптимальных способов распределения волокна в матрице и разработке самой матрицы, обладает более высокой прочностью и деформативностью, так как армирующее его базальтовое волокно обеспечивает более высокую степень дисперсности армирования цементного камня, и само базальтовое волокно обладает более высокой прочностью, чем любая полимерная фибра. Кроме того, базальтофибробетон имеет большие упругие деформации, так как базальтовое волокно при растяжении пластических деформаций практически не имеет, а по модулю упругости превосходит бетон более чем в 3 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берлин А. А. Принципы создания композиционных полимерных материалов [Текст] / А. А. Берлин, С. А. Вольфсон, В. Г. Ошмян. – М.: Химия, 1990. – 237, [1] с.: ил; 22 см. – Библиогр.: С. 231-238 (281 назв.). – 3750 экз. – ISBN 5-7245-0571-1 (в пер.).
2. Бехметов С. Х. Фибробетон с базальтовым дисперсно-волоконным наполнителем. Ташкент, 2009.
3. Власов С. В., Кандырин Л. Б., Кулезнев В. Н. и др. Технология переработки полимеров. Ч.1. Основы технологии переработки пластмасс [Текст]: учебник для вузов / под ред. В. Н. Кулезнева, В. К. Гусева. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Мир, 2006. – 597 с.: ил. – 2000 экз. – ISBN: 978-5-03-003764-6.
4. Ивлев В. А. Фибробетон в тонкостенных изделиях кольцевой конфигурации: дис. ... канд. тех. наук; 05.23.05. Уфа, 2009. 167 с.
5. Кандырин Л. Б., Симонов-Емельянов И. Д. Сборник аналитических и проблемных задач по курсу «Принципы создания полимерных композиционных материалов». – М., МИТХТ, 1999 г. – С. 83.
6. Маилян Л. Р., Шилов А. В. Изгибаемые керамзито-фиброжелезобетонные элементы на грубом базальтовом волокне. Ростов-на-Дону: Рост. гос. строит. ун-т, 2001. 174 с.
7. Маилян Л. Р., Шилов А. В., Джаварбек Н. Влияние фибрового армирования базальтовым волокном на свойства легкого и тяжелого бетонов // Новые исследования бетона и железобетона. – Ростов-на-Дону, 1997. – С. 7-12.
8. Маилян Л. Р., Маилян Л. Р., Осинов К. М. и др. Рекомендации по проектированию железобетонных конструкций из керамзитобетона с фибровым армированием базальтовым волокном. Ростов-на-Дону, 1996. С. 14.
9. Мешков П. И., Мокин В. А. От гарцовки – к модифицированным сухим смесям. // Строительные материалы. 1999. № 3. С. 34-35.
10. Сари М., Лекселент Дж. Армированные волокнами вяжущие композиционные материалы: вклад полиамидных волокон. 3-я Международная научно-техническая конференция «Современные технологии сухих смесей в строительстве». Сборник докладов. Санкт-Петербург, 2001.
11. Шурыгин В. П., Ткаченко Г. А., Петров В. П., Романенко Е. Ю. Повышение трещиностойкости центрифугированного бетона с комбинированным заполнителем // Транспортное строительство. 1988. №8. С. 33-34.
12. Янкелович Ф. Ц. Дисперсно-армированный бетон. – Рига: ЛатНИИТИ, 1978. 42 с.

Mailyan Levon Rafaelovich

Don state technical university, Russia, Rostov-on-Don
E-mail: mailyan@sroufo.ru

Stel'makh Sergey Anatol'evich

Don state technical university, Russia, Rostov-on-Don
E-mail: sergej.stelmax@mail.ru

Kholodnyak Mikhail Gennadievich

Don state technical university, Russia, Rostov-on-Don
E-mail: xolodniak@yandex.ru

Shcherban' Evgeniy Mikhaylovich

Don state technical university, Russia, Rostov-on-Don
E-mail: au-geen@mail.ru

Choice of fiber types for disperse reinforcement of products from centrifuged concrete

Abstract. The theoretical and practical aspects of reinforcement of concrete with dispersed fibers are considered in the article. The authors studied the effect of reinforcing fibers of various types on the characteristics of concrete. The efficiency of fiber reinforcement in products working under load is studied. A comparative analysis of different types of fibers in the laboratory was carried out. Based on the results of the studies carried out by the authors and comparing the properties of different types of fiber, regularities, rules of application have been revealed, and some recommendations have been made on the use of various types of fiber.

The authors present an analysis of the results obtained, which led to the conclusion that the greatest effect in all tests was the use of basalt fibers. Basalt fiber reinforced concrete in comparison with conventional heavy concrete has higher strength and deformability, since its reinforcing basalt fiber provides a higher degree of dispersion of reinforcement of cement stone, and basalt fiber itself possesses higher strength than any polymer fiber. In addition, basalt fiber reinforced concrete has large elastic deformations, since basaltic fiber has practically no plastic deformation at stretching, and exceeds the concrete modulus of elasticity by more than 3 times.

Keywords: centrifuged concrete; dispersed reinforcement; polyamide fiber; polypropylene fiber; basalt fiber; critical fiber length; basalt fiber concrete