

Разработка эффективных составов фибробетона для подземного строительства

С.Г. Страданченко, М.С. Плешко, В.Н. Армейсков

Основным строительным материалом для возведения подземных и транспортных сооружений является железобетон. При всех известных достоинствах он имеет недостатки: конструктивные швы между сборными элементами; технологические швы в монолитных конструкциях; высокая стоимость и трудозатраты устройства гидроизоляции, дренажного слоя и защитной кладки; перенасыщенность арматурой несущих каркасов обделки; сложность обеспечения однородности свойств по всей протяженности монолитных конструкций; недостаточно эффективная работа при изгибающих и растягивающих нагрузках и др.

За последние 20 лет в технологии бетона и железобетона, благодаря более глубоким знаниям о механизме формирования высококачественной структуры цементного камня и бетона, возможности модифицировать цементную систему с помощью высокоэффективных добавок, совершенствованию способов армирования, произошли значительные изменения, характеризующиеся появлением бетонов нового поколения и изменением ряда традиционных нормативов.

В качестве наиболее перспективных технологий бетона и железобетона для подземного и транспортного строительства можно выделить:

1. Обеспечение трещиностойкости и водонепроницаемости массивных фундаментов при непрерывном бетонировании самоуплотняющимися смесями.

2. Применение расширяющих добавок в бетонах, повышающих водонепроницаемость, морозостойкость и стойкость при воздействии агрессивных сред, в том числе сульфатных.

3. Переход на высокопрочную рабочую арматуру класса А500С - А1000С, позволяющую существенно снизить вес сеток и каркасов.

4. Применение фибробетонов на основе стальной, полипропиленовой и др. фибры, обеспечивающей рост прочности бетона на растяжение при изгибе,

увеличение износостойкости, трещиностойкости и долговечности аэродромных, дорожных и половых покрытий, железнодорожных шпал и т.п.

5. Гидроизоляция материалами проникающего действия, заполняющими поры, трещины и капилляры бетона на глубину до 0,5 м и более и создающие эффективную водонепроницаемую оболочку.

Ряд новых технологий был успешно внедрен при строительстве транспортных тоннелей. В то же время технология строительства подземных сооружений характеризуется некоторыми специфическими особенностями, в частности влиянием на процесс твердения бетона и последующую работу конструкций деформаций массива, взрывных работ, подземных вод и др.

Повысить эффективность работы конструкций в таких сложных условиях можно при использовании бетона с высокой прочностью на сжатие и растяжение в раннем и проектном возрасте, но при минимально возможном модуле деформации материала.

Одним из возможных решений является включение в состав бетона полипропиленовой и стальной фибры.

Для оценки целесообразности применения полипропиленовой фибры выполнены испытания различных составов бетона с включением химических добавок пластифицирующего действия (табл. 1).

Таблица 1

Основная характеристика исследованных составов бетонов

№ п/п	Состав бетонной смеси					Характеристики смеси			
	Ц*, кг/м ³	Вид и количество добавки	П, кг/м ³	Щ, кг/м ³	В, л/м ³	ОК, см	γ, кг/м ³	П/Щ	В/Ц
1	350	-	750	1050	175	3	2325	0,714	0,50
2	350	С-3 (0,5%)**	750	1050	175	16	2326,7	0,714	0,50
3	350	Реламикс -2 (1,0%)	750	1050	168	15	2321,5	0,714	0,48
4	350	Biseal SCC (1,00%)	750	1050	168	16	2321,5	0,714	0,48
5	350	SikaViscoCrete (1,0%)	750	1050	168	12	2321,5	0,714	0,48

Примечания:

* - в табл. обозначено: Ц – содержание цемента, П – содержание песка, Щ – содержание щебня, В - содержание воды, ОК – величина осадки конуса; γ – плотность приготовленной бетонной смеси; В/Ц – водоцементное отношение; П/Щ – отношение массы песка к массе щебня.

** - процент содержания добавки по отношению к массе цемента.

Таблица 2

Параметры фибры из полипропилена

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
1	Вид материала	Чистый полипропилен С ₃ Н ₆ с замасливателем
2	Длина фибры, мм	18
3	Диаметр фибры, микроны	15
4	Плотность при 20 °С, г/см ³	0,91
5	Начальный модуль упругости, МПа	5700
6	Температура размягчения, °С	160
7	Температура воспламенения	>320 °С

На первом этапе исследован контрольный состав бетона без включения добавок (состав №1, табл. 1). Количество фибровых волокон принималось равным 0,7, 0,9, 1,1, 1,3 и 1,5 кг/м³. Для каждой серии образцов определялась прочность на сжатие в раннем и проектном возрасте, далее производился анализ влияния расхода фибры на изменение прочностных характеристик бетона.

Установлено, что изменение расхода полипропиленовой фибры оказывает влияние на прочность образцов бетона в возрасте 1 сут. Полученная зависимость отношения прочности фибробетона к прочности бетона обычного состава от расхода фибры представлена на рис. 1. На прочность бетона в возрасте 7 и 28 сут. изменение расхода фибры не оказывает существенного влияния.

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что включение фибры в бетон в количестве более 1,1 кг/м³ экономически не эффективно, кроме того происходит уменьшение подвижности бетонной смеси на 10 - 15%. Это затрудняет качественную укладку бетона за опалубку и последующее уплотнение.

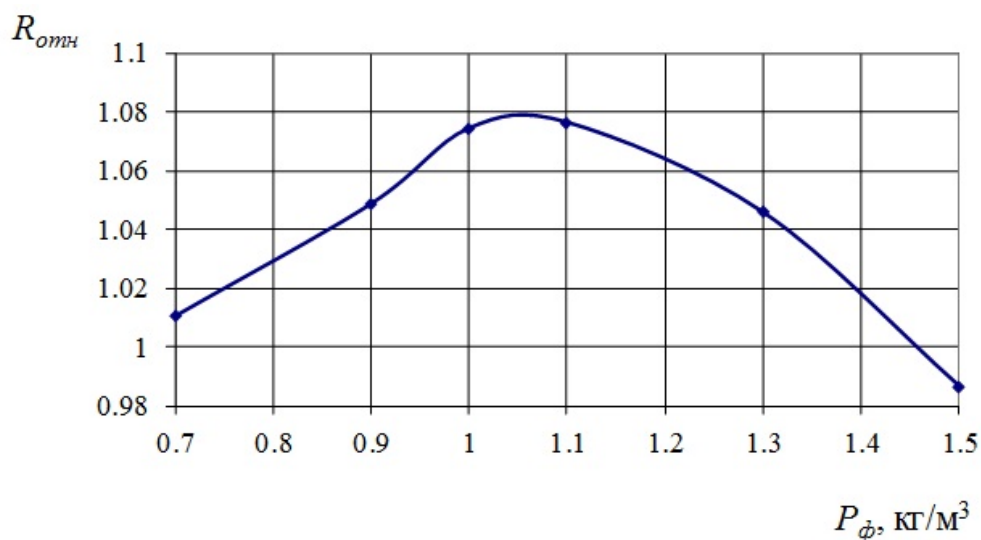


Рис. 1. Изменение относительной прочности фибробетона при различном содержании фибры

В связи с этим далее выполнены испытания фибробетонов с постоянным содержанием фибры в количестве 1 кг/м³.

Полученные данные о прочности фибробетона на сжатие в различном возрасте и начальном модуле упругости материала представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытаний фибробетона

№ состава	Прочность бетона на сжатие (среднее по 10 образцам), МПа в возрасте, сут.				Начальный модуль упругости бетона, МПа·10 ³
	1 сут.	3 сут.	7 сут.	28 сут.	
5	5,2	12,7	19,1	28,5	25,8
11	8,3	16,0	20,8	30,9	26,7
13	9,1	19,6	25,5	34,2	27,9
15	9,4	22,4	26,5	37,0	29,6

Обработка полученных данных показывает, что включение фибры позволяет увеличить отношение средней прочности бетона к начальному модулю упругости на 12,5%.

Увеличение сопротивляемости бетона растягивающим и изгибающим нагрузкам можно обеспечить путем включения в его состав стальной фибры. В табл. 4 представлены результаты сравнительных испытаний бетона и фибробе-

тона с различным содержанием стальной фрезерованной фибры «VULKAN HAREX». Расход цемента для всех образцов принят 360 кг/м^3 , водоцементное отношение – 0,58.

Таблица 4

Результаты испытаний обычного бетона и фибробетона на растяжение при изгибе

№ п/п	Прочность на растяжение при изгибе, МПа				
	Контрольный состав	Сталефибробетон при содержании фибры			
		$\mu=0,5\%$	$\mu=1,0\%$	$\mu=1,5\%$	$\mu=2,0\%$
1	2,16	2,34	4,49	4,75	5,63
2	2,15	2,08	4,44	4,99	5,28
3	1,91	2,51	5,04	5,79	4,96
4	2,18	2,27	4,14	4,92	5,66
5	1,96	2,16	4,34	5,34	5,31
6	1,81	2,17	4,69	5,23	6,05
7	2,39	2,19	4,28	5,11	5,13
8	2,16	2,14	4,64	5,16	5,59
9	2,39	2,46	4,78	5,49	5,43
10	2,18	2,26	4,55	5,39	5,40
-	$R_{cp}=2,13$	$R_{cp}=2,26$	$R_{cp}=4,54$	$R_{cp}=5,22$	$R_{cp}=5,44$

По сравнению с образцами контрольного состава прочность фибробетона на растяжение при изгибе возросла на 100 - 200%. Аналогичные данные получены и по испытаниям фибробетона на сжатие. Увеличение прочности составило 10 - 35%. Оптимальным расходом стальной фибры по экономическим соображениям является диапазон 1 - 1,5% на 1 м^3 бетона, так как в дальнейшем увеличение прочности замедляется.

Актуальной задачей для дальнейших исследований является исследование эффективности составов бетонов с комбинированным фибровым армированием, направленным на одновременное изменение и прочностных и деформационных характеристик. Помимо подземного и транспортного строительства такие бетоны могут найти применение при устройстве подземных инженерных сетей.

Литература:

1. Каприелов С.С., Батраков В.Г., Шейнфельд А.В. Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива [Текст] // Бетон и железобетон. – № 6. – 1999. – С. 6 - 10.
2. Плешко М.С. Крепь глубоких вертикальных стволов. Преспективы совершенствования [Текст] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – №4. – С. 159 - 165.
3. Сапронов, А.А., Зибров, В.А., Соколовская, О.В., Мальцева, Д.А. Распространение акустических волн в водопроводных сетях с изменяющимся диаметром труб [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона, 2012, – №4 (часть 2). – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1460> – Загл. с экрана. - Яз. рус.
4. Несветаев Г.В., Та Ван Фан. Влияние белой сажи и метакаолина на прочность и деформационные свойства цементного камня [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №4 (часть 1). – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1110> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
5. Pistill, M.F. Variability of Condensed Silica Fume from a Canadian Source and Influence on the Properties of Portland Cement // Cem. Concr. and Aggr. – 1984. – V.6: - №1. – P. 33-37.
6. Setter, N., Roy, D.M. Mechanical Flatures of Chemical Shrinkage of Cement Paste. // Cem. and Concr. Res. – 1978. – V.8. - №5. – P. 623-634.
7. Плешко, М.С., Крошнев, Д.В. Влияние свойств твердеющего бетона на взаимодействие системы «крепь – массив» в призабойной зоне ствола [Текст] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – №9. – С. 320-325.
8. Маилян, Л.Р., Налимова, А.В., Маилян, А.Л., Айвазян, Э.С. Челночная технология изготовления фибробетона с агрегированным распределением фибр и его конструктивные свойства. [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2011, №4.- Режим доступа:

<http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/714> (доступ свободный)- Загл. с экрана.- Яз. рус.

9. Маилян, Л.Р., Маилян А.Л., Айвазян Э.С. Расчетная оценка прочностных и деформативных характеристик и диаграмм деформирования фибробетонов с агрегированным распределением волокон. [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, №2.- Режим доступа:

<http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1760> (доступ свободный)- Загл. с экрана.- Яз. рус.

10. Кузнецова, О.В., Лазарева, Е.А., Тышлангян, Ю.С. Композиционные разработки в технологии производства. [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, №2. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1628> (доступ свободный) -Загл. с экрана.-Яз.рус.