

Суворов И.О., аспирант

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

**ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОГО ПОЛИАРМИРОВАНИЯ НА УСАДОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ФИБРОПЕНОБЕТОНА НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ\***

suv-home@yandex.ru

*В статье приводятся результаты исследований влияния полиармирования на усадочные деформации и прочностные характеристики неавтоклавного фибропенобетона. Низкомодульные и высокомодульные армирующие волокна обладают различными характеристиками: полипропиленовые – повышенной химической стойкостью, базальтовые – высоким модулем упругости, хризотилевое волокно характеризуется высоким сцеплением с цементным камнем. Для сочетания преимуществ разных видов волокон, применяется их комбинация. В ходе работы были проведены экспериментальные исследования и отмечена возможность регулирования характеристик композита при введении комбинации полипропиленовых, базальтовых и хризотилевых волокон. Указывается, что армирование ячеистого бетона различными видами волокон приводит к снижению усадочных деформаций и обеспечивает улучшение прочностных свойств материала. Значение усадочных деформаций на 56 сутки твердения образцов достигает 1,44 мм/м. Применение комбинации волокон в составе неавтоклавного фибропенобетона снижает трещинообразование и повышает стойкость материала к внешним воздействиям.*

**Ключевые слова:** неавтоклавный фибропенобетон, усадочные деформации, комбинация волокон.

Фибровое армирование в процессе приготовления пенобетонной смеси влияет главным образом на реологические свойства. Во время протекания усадочных деформаций фибра воспринимает растягивающие напряжения, но эластичные низкомолекулярные волокна полипропилена не могут эффективно препятствовать этому процессу. Решением проблемы может стать совместное армирование высоко- и низкомолекулярными волокнами с разными характеристиками, которые существенно улучшают свойства фибропенобетона, по сравнению с моноармированным вариантом [1].

Применение полиармирования обусловлено необходимостью предотвращения образования микро- и макротрещин. В технологии тяжелого бетона применяются такие сочетания с использованием фибр различной длины, в частности смеси стальных и полипропиленовых волокон. Их использование понижает пластическую усадку в процессе трещинообразования. Применение полипропиленовой фибры в бетонах снижает вероятность образования усадочных трещин на 60-90 %. Корректируя соотношение объема комбинации волокон, возможно направленное регулирование свойств материала. Это приводит к повышению трещиностойкости, коррозионностойкости, атмосферостойкости, стойкости к переменному увлажнению-высушиванию, замораживанию-оттаиванию [2]. Разрушение пенобетона под действием нагрузок идет хрупко. В дисперсно-армированных фибропенобетонах трещина, достигнув поверхности волокна, приостанавливает свое движение. Это вызвано тем, что модуль

упругости фибры больше модуля упругости ячеистого бетона. При разрыве матрицы, фибра оказывается способной в определенном диапазоне напряжений воспринимать нагрузку самостоятельно. Трещины, возникающие в бетонной матрице при напряжениях ниже предела упругости волокна, будут носить обратимый характер при условии снятия нагрузки. Для того чтобы трещина в фибропенобетоне могла продолжить свое развитие, напряжениям необходимо либо разорвать волокно, либо выдернуть его из бетонной матрицы [3].

Волокна разделяют на два типа: низкомолекулярные, например полипропиленовые, с характерным для них большим относительным удлинением при разрыве и высокомолекулярные, например базальтовые. Синтетические волокна на основе полипропилена характеризуются повышенной деформативностью и химической стойкостью. Перспективы применения базальтовых волокон зависят от их устойчивости к воздействию щелочной среды гидратирующего цемента. Возможно применение в качестве армирующего материала волокон асбеста (хризотил-асбест). Эти волокна отличаются малой длиной и трудностью распушки [4]. Хризотилевое волокно играет активную роль в процессе гидратации цемента, что улучшает физико-механические характеристики цементного камня [5]. Взаимовлияние синтетических и асбестовых волокон на микро- и макроуровне в результате их совместного введения в смесь обеспечивает повышение прочностных характеристик и трещиностойкости ячеистого бетона. Распушенный

асбест, располагаясь в межпоровых перегородках, уплотняет их за счет создания вокруг волокон зон бетона с улучшенными свойствами. Это приводит к увеличению прочности сцепления синтетических волокон с бетоном и, следовательно, прочности материала в целом. Синтетические волокна диаметром 15-25 мкм обладают весьма развитой поверхностью и выполняют функцию барьеров на пути распространения трещин, улучшают условия работы асбеста по

повышению трещиностойкости композита [6].

Для сочетания различных характеристик волокон, имеет смысл применение их комбинации в пенобетонах неавтоклавно твердения. Были изготовлены образцы фибропенобетона плотностью 1200 кг/м<sup>3</sup>, армированные полипропиленовым, базальтовым и хризотилевым волокнами. Характеристики армирующих волокон по Ф. Н. Рабиновичу приведены в табл. 1.

Таблица 1

### Характеристики армирующих волокон

Вид волокна	Диаметр волокна, мкм	Длина волокна, мм	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Удлинение при разрыве, %	Прочность на растяжение, МПа	Модуль Юнга, МПа
Полипропиленовое	18	12	0,9	10,0-25,0	400-770	3500-8000
Базальтовое	18	12	2,6	1,4-3,6	1600-3600	80000-110000
Хризотилевое	0,4	5	2,6	0,5-0,7	910-3100	68000
Пенобетон						3000

В ходе работы использовались следующие сырьевые материалы: портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н Сланцевского цементного завода; наполнитель – минеральный порошок МП-1 (ГОСТ Р 52129) и песок (ГОСТ 8736). В качестве порообразующего вещества применялся пенообразователь *Reniment SB31L* (Германия) в концентрации 4%. Плотность пены составляла 75 г/л. Фибра вводилась в воду затворения. Для приготовления фибропенобетонной смеси использовалась лабораторная установка. Пеногенератор установки производит пену

требуемой плотности, которая поступает в пенобетоносмеситель с лопастями, обеспечивающими равномерное перемешивание. Подача готовой смеси в стандартные формы осуществляется шлангом за счет избыточного давления, создаваемого в пенобетоносмесителе. Сырьевые составы и результаты испытаний образцов представлены в табл. 2. Для сравнения, приведены моноармированные образцы фибропенобетона и мелкозернистый бетон.

Таблица 2

### Составы смесей и результаты испытаний образцов

№ п/п	Расход компонентов, кг/м <sup>3</sup>			Фибра, % об.	В/Т	Свойства		
	Цемент	Песок	МП-1			Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на изгиб, МПа
контрольный состав пенобетона без фибрового армирования								
0	300	480	300	0	0,26	1219	4,5	1,8
армированный полипропиленовым волокном мелкозернистый бетон								
1	515	820	515	0,1	0,23	1855	19,6	6,4
армированный полипропиленовым волокном фибропенобетон								
2	300	480	300	0,4 и 0,0	0,26	1189	4,2	2,5
армированный базальтовым волокном фибропенобетон								
3	300	480	300	0,0 и 0,4	0,26	1269	5,0	4,0
полиармированный полипропиленовым и базальтовым волокном фибропенобетон								
4	300	480	300	0,2 и 0,1	0,26	1220	5,4	2,0
5				0,1 и 0,2		1259	5,6	2,1
6				0,2 и 0,2		1247	5,2	2,4
7				0,2 и 0,4		1206	4,8	2,9
8				0,4 и 0,2		1220	5,0	3,4
9				0,4 и 0,4		1256	5,4	4,3
полиармированный полипропиленовым, базальтовым и хризотилевым волокном фибропенобетон								
10	300	480	300	0,2 и 0,1 и 0,1	0,27	1245	5,4	2,6
11				0,4 и 0,2 и 0,2		1217	4,9	3,5
12				0,2 и 0,2 и 0,4		1242	5,3	3,7

Для определения значений усадки при высыхании неавтоклавного фибропенобетона применялся прибор, представляющий собой штатив с электронно-цифровым индикатором. Усадочные деформации образцов-балочек измерялись в 14, 28, 56 и 112 сутки, после хранения в естественных условиях. В соответствии с ГОСТ 25485 усадка при высыхании неавтоклавных

пенобетонов не должна превышать 3,0 мм/м. График зависимости усадочных деформаций от содержания комбинации армирующих волокон в возрасте 14, 28 и 56 суток представлен на рис. 1. График изменения усадочных деформаций моно- и полиармированных образцов во времени представлен на рис. 2.

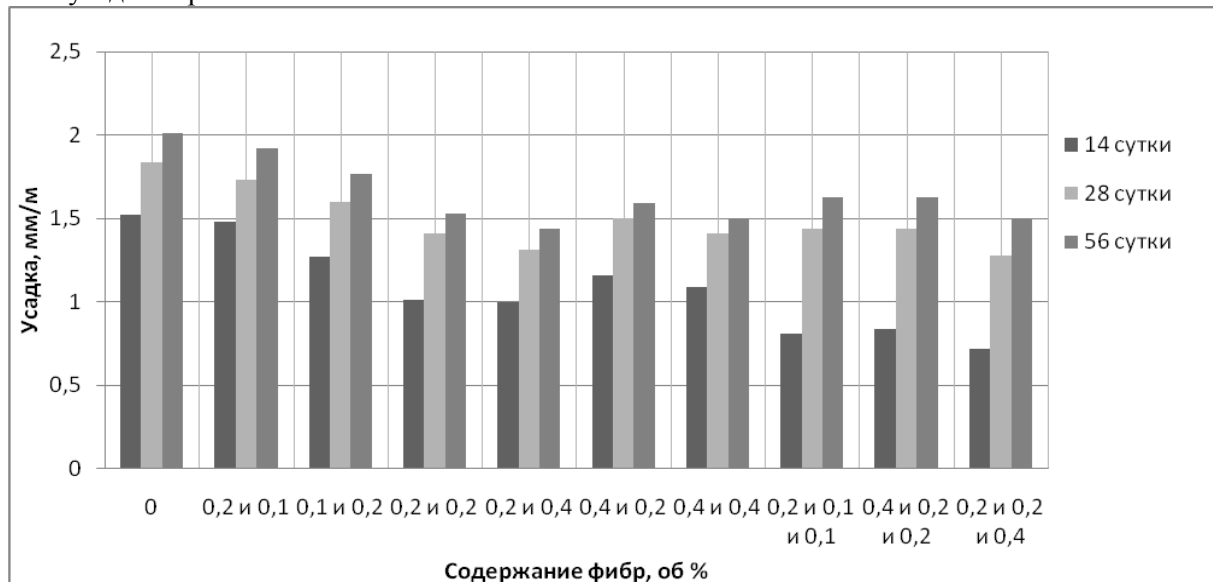


Рис. 1. График зависимости усадочных деформаций от содержания комбинации армирующих волокон в возрасте 14, 28 и 56 суток

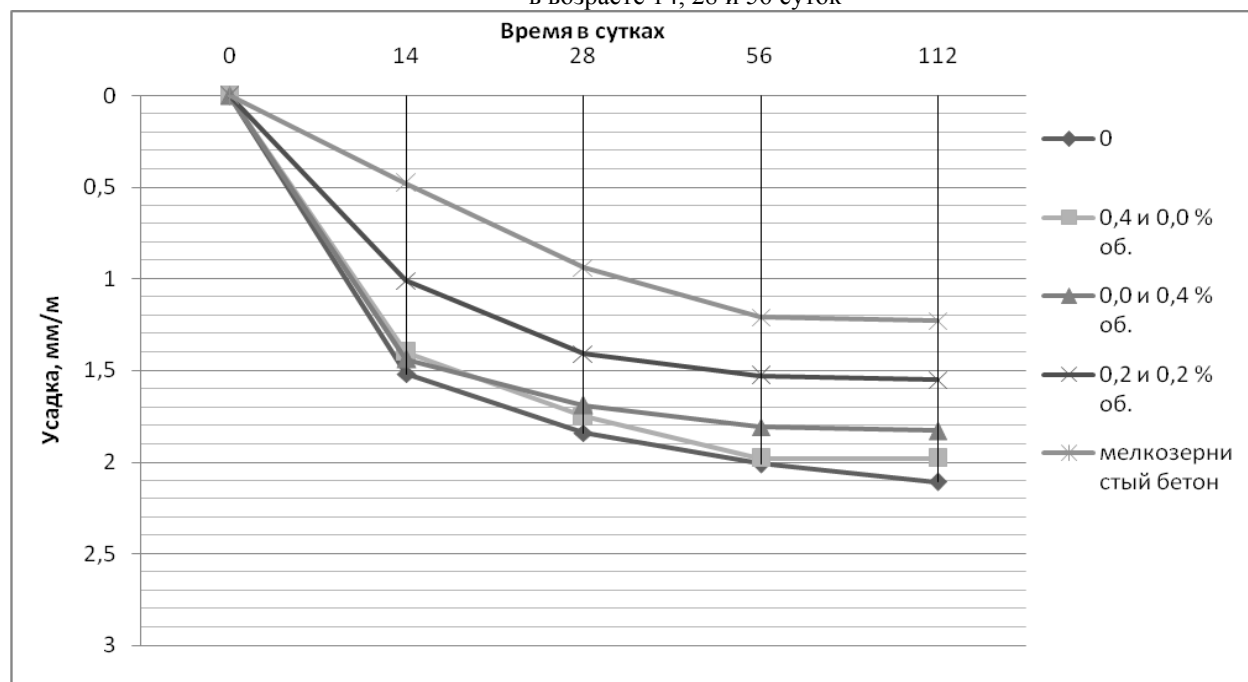


Рис. 2. График изменения усадочных деформаций моно- и полиармированных образцов во времени

Наименьшие усадочные деформации характерны для образцов фибропенобетона, армированных полипропиленовой и базальтовой фиброй в количестве 0,2 % и 0,4 % об. соответственно. Значение усадочных деформаций на 28-е сутки твердения составило 1,32 мм/м, на 56-е – 1,44 мм/м. Это значение можно считать фактической усадкой изделий

после твердения в естественных условиях, так как разница величин составляет 0,12 мм/м. Усадка к 56-м суткам твердения образцов, моноармированных 0,4 % об. полипропиленовой фибры составила 1,98 мм/м, базальтовой – 1,81 мм/м. Полиармированные образцы с той же объемной концентрацией (0,2 % и 0,2 %) характеризуются меньшими усадочными

деформациями, составляющими 1,53 мм/м к 56-м суткам твердения. Комбинация волокон, при одинаковой объемной концентрации, является более эффективной по сравнению с моноармированными образцами. Это объясняется совместной работой нескольких видов волокон, обладающих различными характеристиками, такими как химическая стойкость, высокий модуль упругости и высокое сцепление с цементным камнем.

*\*Работа выполнена в соответствии с планом НИР № 7.546.2011 «Развитие фундаментальных основ и практических принципов получения строительных конструкций повышенной эксплуатационной надежности и безопасности (применительно к уникальным зданиям и сооружениям)» по государственному заданию (рег. № 01201257464).*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пухаренко Ю. В. Свойства и перспективы применения ячеистого фибробетона // Популярное бетоноведение. Ячеистые бетоны в строительстве. 2008. №1. С. 75–77.
2. Базанов С. М., Торопова М. В. Улучшение качества бетона на основе использования смешанных волокон // Популярное бетоноведение. 2008. №7. С. 73–78.
3. Моргун Л. В. Теоретическое обоснование и экспериментальная разработка технологии высокопрочных фибропенобетонов // Строительные материалы. 2005. №6. С. 59 – 63.
4. Рабинович Ф. Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. М.: Изд. АСВ, 2004. 560 с.
5. Иванов В.В., Чемякина Н.А. Использование хризотилового волокна в пенобетонах // Популярное бетоноведение. Ячеистые бетоны в строительстве. 2008. №1. С. 265–269.
6. А. с. 1671646 СССР, МПК С04В38/02. Сырьевая смесь для изготовления ячеистого бетона / Стрельников А.Н., Пухаренко Ю.В., Лобанов И.А. (СССР). – №4609874/33; заявл. 30.11.1988; опубл. 23.08.1991, Бюл. №31.