\rightarrow

ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

УДК 539.421

Е. Р. Богданова

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕТОНА, ДИСПЕРСНО АРМИРОВАННОГО СИНТЕТИЧЕСКОЙ ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ ФИБРОЙ

Представлены результаты экспериментальных исследований четырех партий опытных образцов бетона, дисперсно армированных синтетической полипропиленовой фиброй. Оценены прочностные характеристики бетона с различным массовым содержанием фибры. Построены графики «нагрузка – СМОО». Проведен сравнительный анализ полученных результатов, в ходе которого выявлено наиболее рациональное содержание фибры по массе. Обозначена проблема снижения прочностных характеристик опытных образцов при переармировании фиброй.

Дисперсное армирование, фибробетон, полипропиленовая фибра, экспериментальное исследование.

В начале XX в. впервые возникла идея дисперсного упрочнения бетона рубленым канатом. Упразднение трудоемких арматурных и сварочных работ, уменьшение массы конструкции делает идею дисперсного армирования бетона при производстве строительных конструкций весьма привлекательной и перспективной. Во многих странах ведется активная научно-исследовательская деятельность в отношении свойств дисперсно армированного бетона, фибробетон широко применяется при облицовке тоннелей, возведении фундаментов под оборудование динамического действия, в дорожном строительстве.

Широкое распространение при изготовлении фибробетона получили три вида армирующих волокон: отрезки тонкой стальной проволоки, стекловолокна и синтетические волокна на основе полипропилена. Последние относятся к так называемому низкомодульному типу волокон, характеризующихся повышенной деформативностью. Однако высокая

химическая стойкость синтетического волокна в щелочной среде сохраняет перспективность применения данного типа волокон при армировании бетона. Установлено, что синтетические волокна не увеличивают прочностные характеристики бетона при статическом нагружении, однако улучшают сопротивление материала при ударных нагрузках, например, повышают сопротивление бетона раздроблению и сколу при взрыве [6].

В ИЛ «Механическая лаборатория им. проф. Н. А. Белелюбского» [4, 5] проведено комплексное исследование образцов бетона и опытных образцов бетона с содержанием по массе полипропиленовой фибры Durus S400 (длиной 55 мм) 3,5; 5 и 7,5 кг/м³ для определения оптимального содержания фибры по массе (рис. 1). Опытные образцы фибробетона испытаны на четырехточечный изгиб для определения максимального напряжения при изгибе, на трехточечный изгиб, для установления остаточной прочности на растяжение при



Рис. 1. Фибра полипропиленовая Durus S400

изгибе, на истираемость. В задачи исследования входило получение экспериментальных данных и анализ результатов.

Определение остаточной прочности при раскрытии трещин

Для определения одного из основных показателей качества фибробетона — остаточной прочности на растяжение при изгибе испытаны четыре комплекта призм по методике СТО НОСТРОЙ ФБТК-2013 [7]: № 1 — бетон, № 2 фибробетон с концентрацией полимерной фибры 3,5 кг/м³, № 3 — фибробетон с концентрацией полимерной фибры 5 кг/м³, № 4 — фибробетон с концентрацией полимерной фибры 7,5 кг/м³. В исследованиях для всех образцов использовали бетон класса В35 (определение класса бетона по прочности производили по ГОСТ 10180-2012 [2]). Образцы для испытаний представляют собой призмы размером $150 \times 150 \times 600$ мм с надрезом посередине (рис. 2). Ширина прорези составляет не более 5 мм, глубина 25 ± 1 мм. Образец нагружали сосредоточенной нагрузкой на универсальной испытательной машине Instron^{тм} модели SATEC^{тм} грузоподъемностью 1200 кН. Схема нагружения образца и экспериментальная установка представлены на рис. 3.

Для замера величины перемещения внешних граней надреза (CMOD) на образец установили датчик перемещения С.О. D. Gauge Instron. Датчик монтируется по центру образца и надреза таким образом, чтобы расстояние между нижней частью образца и линией измерения составляло менее 5 мм, как показано на рис. 3. Испытания проводили до достижения СМОD = 4 мм либо до разрушения образца с разделением на две части. Результаты испытаний приведены в табл. 1, обработанные результаты – в виде графиков «нагрузка – СМОD» (рис. 4).

Результаты испытаний на четырехточечный изгиб

Испытания проводили по методике ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения

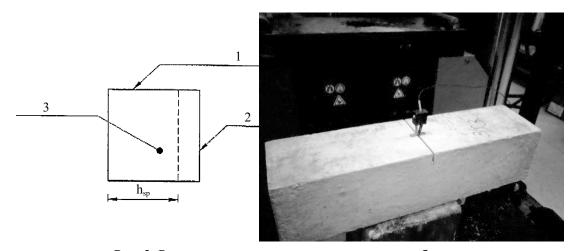


Рис. 2. Расположение надреза в испытательном образце: 1 – верхняя поверхность бетонирования; 2 – надрез; 3 – сечение испытательного образца

ТАБЛИЦА 1. Результаты испытаний на трехточечный изгиб

	Остаточное сопротивление на растяжение при изгибе, Н/мм2					Продод	Макси-		
Марки-	СМОД, мм							Предел пропорцио-	мальная
ровка								нальности	изгибаю-
образца	0,5	1	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	(LOP),	щая на-
			9-	, ,	,-	. , ,	, ,,	Н/мм ²	грузка, Н
Образцы бетона									
0.1	0,54	_	_	-	_	_	_	4,42	13 429,7
0.2	0,36	_	_	_	_	_	_	4,35	13319,7
0.3	0,25	0,08	_	_	_	_	_	3,81	11911,1
0.4	0,16	0,05	_	_	_	_	_	3,76	12015,3
0.5	0,17	0,05	_	_	_	_	_	4,04	12750,3
0.6	0,21	0,09	_	_	_	_	_	4,06	12775,3
Среднее								,	
значе-	0,28	0,07						4,07	_
ние									
		O	бразцы фі	ибробето	на, конце	нтрация	3,5 кг/м ³		
3/5.1	1,26	1,23	1,17	1,16	1,12	1,10	1,09	3,81	12 100,6
3/5.2	0,90	0,97	1,04	1,09	1,10	1,10	1,11	3,95	12 122,6
3/5.3	1,05	1,03	1,04	1,06	1,08	1,09	1,10	3,62	11 537,1
3/5.4	0,86	0,88	0,92	0,91	0,94	0,97	0,97	3,73	11696,2
3/5.5	0,96	0,94	0,99	1,05	1,09	1,13	1,12	3,74	11 500,9
3/5.6	1,04	1,09	1,11	1,10	1,09	1,09	1,08	3,59	11 400,3
Среднее									
значе-	1,01	1,02	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	3,74	_
ние							7 / 3		
	Образцы фибробетона, концентрация 5 кг/м ³							12200	
5.1	0,96	0,92	0,94	0,97	0,99	0,99	0,94	3,92	12388,9
5.2	1,75	1,85	1,95	2,03	2,10	2,14	2,15	4,83	15 425,9
5.3	1,81	1,84	1,92	2,00	2,07	2,12	2,16	3,83	12317,8
5.4	1,42	1,41	1,46	1,45	1,44	1,44	1,46	4,25	13 530,7
5.5	1,44	1,48	1,55	1,58	1,62	1,68	1,74	4,02	12611,7
5.6	1,24	1,23	1,25	1,28	1,32	1,34	1,31	4,40	13 929,5
Среднее									
значе-	1,44	1,46	1,51	1,55	1,59	1,62	1,63	4,21	_
ние	ние								
7/5 1	2.12					•			12 (22 7
7/5.1	2,13	2,30	2,48	2,54	2,56	2,56	2,57	4,24	13 632,7
7/5.2	2,20	2,38	2,49	2,59	2,66	2,71	2,73	4,25	13 527,7
7/5.3	1,93	1,99	2,05	2,10	2,13	2,13	2,00	3,87	12486,1
7/5.4	1,59	1,62	1,68	1,74	1,77	1,77	1,75	4,35	13717,5
7/5.5	1,57	1,63	1,70	1,76	1,82	1,93	2,05	3,75	12 163,2
7/5.6	1,51	1,56	1,64	1,71	1,76	1,81	1,80	4,37	14 124,5
Среднее	1.02	1.01	2.01	2.07	2.12	2.15	2.15	4 1 4	
значе-	1,82	1,91	2,01	2,07	2,12	2,15	2,15	4,14	_
ние									

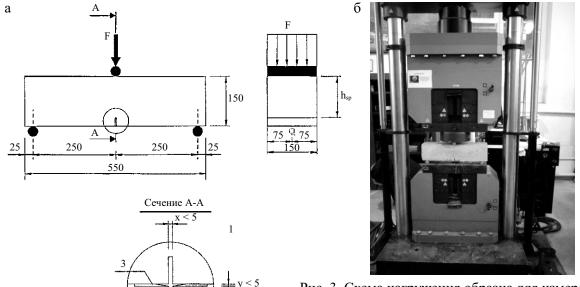
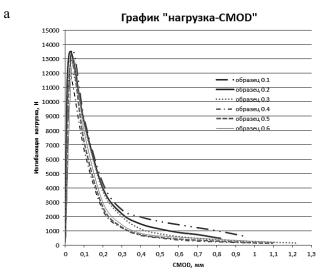
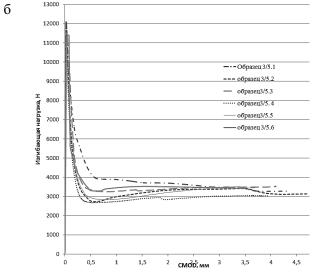
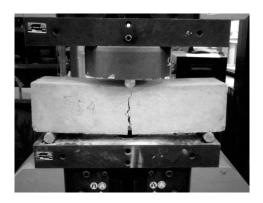


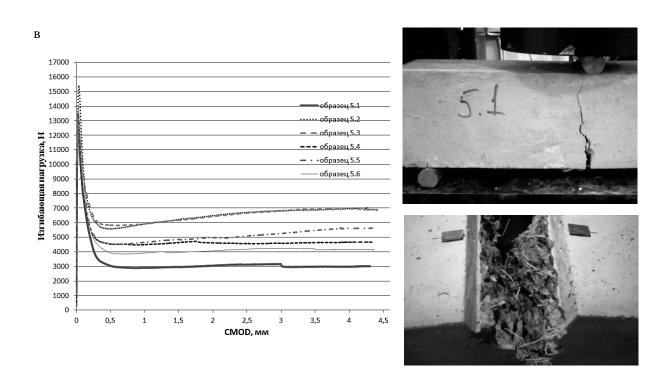
Рис. 3. Схема нагружения образца для измерения СМОD (а) и внешний вид установки (б): 1 – деталь (надрез), 2 – датчик, 3 – ребро призмы











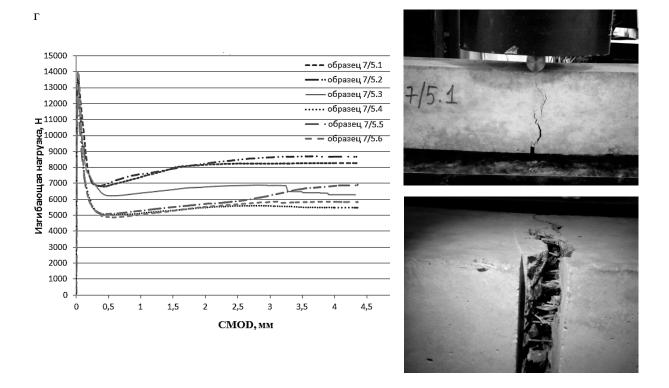


Рис. 4. Графики «нагрузка – СМОD»: а) образцы бетона; б–г) образцы фибробетона: при концентрации полимерной фибры 3,5 кг/м³ (б); 5 кг/м³ (в); 7,5 кг/м³ (г)

прочности по контрольным образцам» [2] на призматических образцах. Испытания проводили на испытательной машине AG-300. Вид

экспериментальной установки представлен на рис. 5. Результаты испытаний на четырехточечный изгиб сведены в табл. 2.

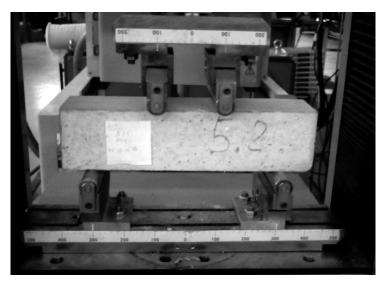


Рис. 5. Экспериментальная установка

ТАБЛИЦА 2. Результаты испытаний на четырехточечный изгиб

Маркиров- ка образца	Толщина образца, мм	Ширина образца, мм	Расстояние между опорами, мм	Расстояние между нагрузка-ми, мм	Разрушаю- щая нагрузка, кН	Напряжение при изгибе, Н/мм ²	Среднее значение напряжения, Н/мм ²		
Бетон									
0.1	101,3	98,6	300	100	14,573	4,321			
0.2	100,5	99,	300	100	13,723	4,105	4,16		
0.3	98,8	99,5	300	100	14,164	4,375	4,10		
0.4	99,0	100,4	300	100	12,582	3,836			
Фибробетон с концентрацией полимерной фибры 3,5 кг/м ³									
3/5.1	99,2	100,8	300	100	12,147	3,674			
3/5.2	99,3	100,6	300	100	11,491	3,475	264		
3/5.3	100,7	101,2	300	100	11,853	3,465	3,64		
3/5.4	98,4	101,0	300	100	12,851	3,942			
	Фибробетон с концентрацией полимерной фибры 5 кг/м ³								
5.1	98,8	101,0	300	100	13,810	4,202			
5.2	99,2	101,0	300	100	12,798	3,863	1 4 21		
5.3	99,0	100,6	300	100	14,316	4,356	4,21		
5.4	98,8	100,5	300	100	14,480	4,428			
Фибробетон с концентрацией полимерной фибры 7,5 кг/м ³									
7/5.1	99,5	100,3	300	100	12,953	3,913			
7/5.2	99,0	100,1	300	100	13,339	4,079	4,02		
7/5.3	98,4	100,4	300	100	13,179	4,067			

Результаты испытаний на истираемость

Испытания на истираемость проводили в ИЦ «Прочность» по методике ГОСТ 13087-81 «Бетоны. Методы определения истираемости» [3] на кубических образцах на лабораторном круге истирания ЛКИ-3. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Выводы

Образцы дисперсно армированного бетона с низкомодульными полипропиленовыми волокнами не показали улучшения прочностных характеристик бетонной матрицы. Однако остаточное сопротивление растяжению при

изгибе фибробетонных образцов оказалось выше, чем у неармированных бетонных образцов. Ниспадающая ветвь на графике «нагрузка – СМОО» (см. рис. 4) для образцов фибробетона имеет пологий протяженный участок трещинообразования матрицы, что обусловлено процессом выдергивания фиброволокон из бетонной матрицы в сечении трещины в отличие от образца неармированного бетона с хрупким характером разрушения.

Результаты испытаний показали, что концентрация фибры по массе 5 кг/м³ наиболее оптимальна. При содержании фибры по массе 7,5 кг/м³ происходит переармирование образца, что приводит к понижению прочностных характеристик образцов и истираемости по сравнению с образцами с концентрацией фибры 5 кг/м³. Так, предел пропорциональности

ТАБЛИЦА 3. Результаты испытаний на истираемость

Маркировка образца	Истираемость, г/см ²	Средняя величина истираемо- сти, г/см ²		
	Бетон			
0.1	0,62			
0.2	0,60			
0.3	0,45	0,6		
0.4	0,64			
Фибробето	н с концентрацией полимерной	фибры 3,5 кг/м ³		
3/5.1	0,77			
3/5.2	0,79	0.8		
3/5.3	0,78	0,8		
3/5.4	0,79			
Фибробето	он с концентрацией полимерной	фибры 5 кг/м3		
5.1	0,85			
5.2	0,73	0.8		
5.3	0,77	0,8		
5.4	0,82			
Фибробето	н с концентрацией полимерной	фибры 7,5 кг/м ³		
7/5.1	0,70			
7/5.2	0,66			
7/5.3	0,73	0,7		
7/5.4	0,68			

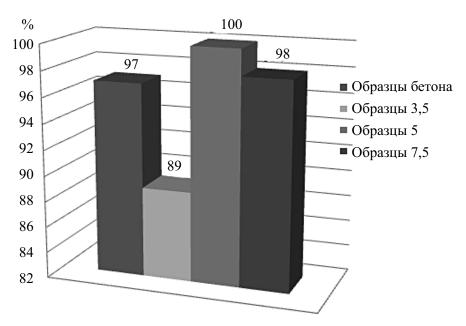


Рис. 6. Процентное соотношение предела пропорциональности образцов

для образцов с концентрацией фибры 7,5 кг/м³ снизился на 2% (рис. 6), истираемость для образцов с концентрацией фибры 7,5 кг/м³ — на 12%.

Библиографический список

- 1. Бенин А.В. Планирование эксперимента / А.В. Бенин, В.В. Гарбарук. СПб. : ПГУПС, 2010. 90 с.
- 2. ГОСТ 10180-2012. «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».
- 3. ГОСТ 13087-81. «Бетоны. Методы определения истираемости».

- 4. Елизаров С.В. Механическая лаборатория им. проф. Н. А. Белелюбского. Страницы 155-летней истории / С.В. Елизаров, Ю.П. Каптелин, А.В. Бенин. СПб. : ПГУПС, 2009. 75 с.
- 5. Елизаров С. В. Механическая лаборатория им. проф. Н. А. Белелюбского (к 200-летию Петербургского государственного университета путей сообщения) / С.В. Елизаров, Ю.П. Каптелин, А.В. Бенин // Alma mater (Вестн. высш. шк.). 2009. № 9. С. 58–64.
- 6. Рабинович Ф. Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: моногр. / Ф. Н. Рабинович. М.: ACB, 2004. 560 с.
- 7. СТО НОСТРОЙ ФБТК-2013 (проект документа).