

А. С. БАРАНОВ

## ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕЛКОШТУЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ГИПЕРПРЕССОВАННОГО ФИБРОБЕТОНА

STRENGTH AND DURABILITY OF SMALL PIECE PRODUCTS MADE FROM FIBRE REINFORCED CONCRETE

Изучено влияние рецептурно-технологических факторов на прочность и долговечность гиперпрессованного бетона. Впервые теоретически обосновано и экспериментально подтверждено влияние величины деформации упругого последействия на прочность и долговечность гиперпрессованного бетона. Выявлено, что армирование высокомодульными волокнами приводит к минимизации влияния деформации упругого последействия на прочность гиперпрессованного бетона. Установлено, что комплексное применение базальтовых волокон и суперпластификатора С-3 в гиперпрессованных бетонах позволит снизить величину деформации упругого последействия до 25 % и получить материал с маркой по морозостойкости  $F_{1,400}$  и выше.

**Ключевые слова:** интенсивность прессования, высокомодульные волокна, суперпластификатор С-3, прочность при сжатии, прочность на растяжение при раскалывании, морозостойкость, долговечность

В условиях современного строительства к мелкоштучным изделиям предъявляются повышенные требования по прочности и долговечности. В настоящее время большое распространение в производстве некоторых из них получила технология формования бетона гиперпрессованием. Широкое распространение данной технологии сдерживается отсутствием достаточного количества исследований влияния гиперпрессования на прочность и долговечность бетона.

Особенность гиперпрессованного бетона заключается в проявлении деформаций, возникающих в момент снятия давления прессования, способствующих снижению прочности и долговечности изделий из гиперпрессованного бетона [1–4].

С целью снижения влияния деформации упругого последействия на прочность и долговечность гиперпрессованного бетона предлагается применение пластифицирующей добавки и армирование высокомодульными (базальтовыми) волокнами. Предполагается, что применение пластифицирующей добавки позволит снизить напряжение в растворе бетона за счет уменьшения величины водоцементного отношения. А высокомодульные волокна, нормально ориентированные к растягивающим

*This research studies effects of technology factors on strength and durability of fibre reinforced concrete. It theoretically proves the influence of elastic aftereffect deformation values on fibre reinforced concrete strength and durability. The paper proves that high-modulus fiber reinforcement leads to lowering the effects of the influence of elastic aftereffect deformation on fibre reinforced concrete strength and durability. It also demonstrates that basalt fibre and superplasticizing admixture C-3 integrated use in fibre reinforced concrete reduces the deformation value of elastic aftereffect to 25% and makes it possible to obtain a material with  $F_{1,400}$  and above frost resistance properties.*

**Keywords:** compaction force, high-modulus fiber, superplasticizing admixture C-3, compression strength, tension breaking strength at cracking, frost hardness, durability

напряжениям, будут воспринимать их, что позволит значительно повысить прочность гиперпрессованного бетона [5]. Однако изучению комплексного воздействия дисперсного армирования и пластифицирующей добавки на свойства гиперпрессованного бетона до настоящего времени должного внимания не уделялось.

Предполагается, что с ростом интенсивности гиперпрессования происходит повышение величины деформации упругого последействия. В подтверждение вышесказанному были выполнены экспериментальные исследования по изучению влияния деформации упругого последействия на прочность на растяжение при раскалывании гиперпрессованного бетона.



Рис. 1. Форма для изготовления образцов из гиперпрессованного бетона

Для изготовления образцов использовались специальные формы высотой 7 см и диаметром 5 см, позволяющие моделировать формование изделий гиперпрессованием (рис. 1).

В качестве вяжущего принят портландцемент марки ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 32,5Б. Величина водоцементного отношения – 0,4. Состав бетона: портландцемент – 500 кг/м<sup>3</sup>, вода – 200 кг/м<sup>3</sup>, песок (модуль крупности 2,6) – 560 кг/м<sup>3</sup>, щебень (фракция до 10 мм) – 1200 кг/м<sup>3</sup>. Режим гиперпрессования был принят таким, который используется при изготовлении мелкоштучных изделий: кратковременное гиперпрессование продолжительностью не более 15 с, интенсивностью 6, 12 и 24 МПа. Для сопоставления изготовлены контрольные образцы, не подвергнутые гиперпрессованию, уплотненные вибрированием продолжительностью 15 с. После изготовления образцы помещались во влажную среду и по истечении срока твердения в 28 суток подвергались испытанию на растяжение при раскалывании.

Как показали данные экспериментальных исследований (рис. 2, табл. 1), при интенсивности прессования свыше 12 МПа наблюдается значительное снижение прочности на растяжение при раскалывании гиперпрессованного бетона. Прежде всего это следует связывать с деформацией упругого последствия и снижением плотности бетона в результате разуплотнения и увеличения в объеме уже запрессованного образца.

В подтверждение вышесказанному были проведены экспериментальные исследования зависимости величины деформации упругого последствия от интенсивности гиперпрессования (рис. 3). Перед снятием давления прессования съемный поршень-крышка фиксировался через специальные отверстия тягами. Ослабляя тяги, при сбросе давления прессования индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм, установленный на центр сверху поршня-крышки, фиксировал перемещения поршня. Данные перемещения и есть деформации упругого последствия.

Так, величина деформаций составила: при интенсивности гиперпрессования 6 МПа – 0,15-0,18 мм; 12 МПа – 0,3-0,32 мм, 24 МПа – 0,39-0,42 мм. Нетрудно сопоставить, что рост деформаций упругого последствия пропорционален интенсивности гиперпрессования.

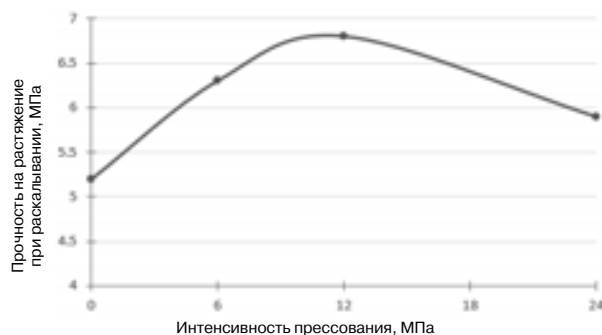


Рис. 2. Влияние упругого последствия на прочность гиперпрессованного бетона на растяжение при раскалывании

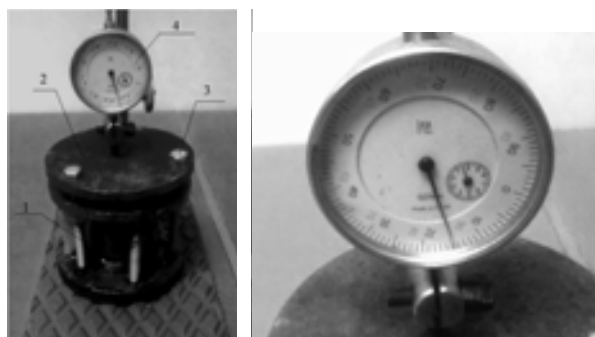


Рис. 3. Измерение величины упругого последствия: 1 – пресс-форма; 2 – крышка-поршень; 3 – фиксирующие болты; 4 – индикатор часового типа

Дисперсное армирование же способствует уменьшению влияния деформации упругого последствия на прочность гиперпрессованного бетона.

Для дисперсного армирования применяются базальтовые волокна диаметром 13–17 мкм и длиной 6–18 мм фирмы ООО «НПО Вулкан», их расход составляет 1,5 и 3 % от массы цемента.

Как показали результаты экспериментальных исследований (рис. 4), в гиперпрессованных бетонах, уплотненных с интенсивностью свыше 12 МПа при армировании их высокомодульными волокнами, наблюдается сглаживание эффекта разуплотнения и отсутствие потери прочности при высокой интенсивности прессования. Величина упругого последствия в гиперпрессованном фибробетоне

Зависимость прочности и плотности гиперпрессованного бетона на растяжение при раскалывании от интенсивности гиперпрессования

Таблица 1

Марка цемента	Давление гиперпрессования, МПа	Прочность, МПа / плотность образца, г/см <sup>3</sup>
ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 32,5Б	0	5,2/2,46
	6	6,3/2,511
	12	6,8/2,528
	24	5,9/2,51

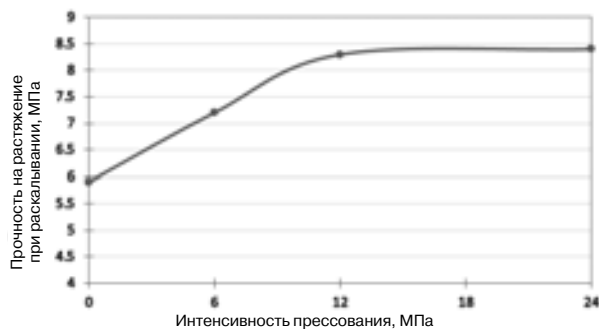


Рис. 4. Влияние упругого последействия на прочность на растяжение при раскалывании гиперпрессованного бетона

уменьшилась и составила: при интенсивности прессования 6 МПа – 0,13-0,16 мм, 12 МПа – 0,26-0,29 мм, 24 МПа – 0,34-0,37 мм. Прежде всего это следует связывать с ростом начальной прочности бетона при его дисперсном армировании [6]. Фибра в данном случае играет роль «подложки», на границе которой происходит ускоренное структурообразование [7].

Кроме того, наблюдалось увеличение плотности бетона. Известно, что базальтовые волокна вступают в химическое взаимодействие с растворной частью с частичным их разрушением [8]. При этом реакция имеет затухающий характер, структурные образования на границе фибры будут препятствовать ее разрушению и тем самым способствовать увеличению плотности гиперпрессованных бетонов.

Применение пластифицирующей добавки позволяет минимизировать напряжение внутри бетонной смеси за счет уменьшения величины водоцемент-

ного отношения и тем самым способствует дальнейшему снижению величины деформации упругого последействия. В качестве пластифицирующей добавки используется суперпластификатор С-3 в количестве 0,5 и 1 % от расхода цемента. Одновременно при введении С-3 в количестве 0,5 % снижается расход воды затворения на 10 % ( $V/C=0,36$ ), а при введении С-3 в количестве 1 % – на 20 % ( $V/C=0,32$ ).

Так, при расходе фибры и добавки 1,5 + 0,5 % и интенсивности прессования 6 МПа величина деформаций составила 0,11-0,14 мм, 12 МПа – 0,24-0,26 мм, 24 МПа – 0,32-0,35 мм; при дозировке 3 + 1 % и интенсивности 6 МПа – 0,08-0,1 мм, 12 МПа – 0,19-0,22 мм, 24 МПа – 0,26-0,3 мм. Тем самым комплексное применение пластифицирующей добавки и дисперсного армирования позволяет снизить величину деформации упругого последействия на 15 – 25 %. Такое снижение влияния деформации упругого последействия на прочность гиперпрессованного бетона при дисперсном армировании и применении суперпластификатора С-3 не могло не отразиться на его долговечности (морозостойкости).

В соответствии с ГОСТ 10060-2012 исследование морозостойкости гиперпрессованного бетона проводится по ускоренному методу (метод второй).

Установленные опытные данные показали, что при попеременном замораживании и оттаивании наблюдалось снижение прочности гиперпрессованного фибробетона при малых давлениях прессования с расходом волокон 1,5 % от расхода цемента (табл. 2). При интенсивности гиперпрессования 24 МПа в гиперпрессованном фибробетоне имелись тенденции к увеличению прочности относительно контрольных образцов.

Таблица 2

Изменение прочности образцов из гиперпрессованного фибробетона при попеременном замораживании-оттаивании

Давление гиперпрессования, МПа	Кол-во фибры, %	Средняя прочность, МПа		Нижняя граница доверительного интервала, МПа		Изменение прочности, %
		контр. образцы	основ. образцы	контр. образцы	основ. образцы	
0	0	28,2	25,6	21	18,7	-11
6		32,7	31,14	31,7	26	-18
12		38,5	38,8	37,1	36,1	-2,7
24		39,4	40,16	37,2	36,6	-1,6
0	1,5	33,1	31,33	29,5	20,7	-29,9
6		41,8	40,84	40,2	35	-13
12		45,3	44,4	44,2	38,2	-13,6
24		49,6	51,41	48,6	48,8	+0,5
0	3	29,8	27,65	27,6	21,9	-20,7
6		36,47	38,9	35,6	35,7	+0,2
12		40,8	42,8	39,5	37,6	-4,9
24		48,8	50,44	40,7	42,7	+5

**Вывод.** Комплексное применение базальтовых волокон и суперпластификатора С-3 в гиперпрессованных бетонах позволяет активно влиять на уменьшение деформации упругого последействия, увеличение не только их прочности, но и долговечности (морозостойкости) и получить материал с маркой по морозостойкости F<sub>1</sub>400 и выше.

8. Новицкий А.Г., Ефремов М.В. Использование базальтовой фибры для армирования бетонов // Доклады X Всероссийской научно-практической конференции (г. Белокуриха). М.: ЦЭИ «Химмаш», 2010. С.12-13.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
2. Баженов Ю. М. Технология бетона. М.: Издательство АСВ, 2002. 500 с.
3. Саталкин А.В. Исследование свойств прессованного бетона. М.: Союзстрой, 1938. 38 с.
4. Сеськин И.Е. Влияние технологии уплотнения бетона прессованием на работу конструкций: монография. Самара: СамГУПС, 2006. 227 с.
5. Баранов А.С., Баранов А.С., Власова С.Е. Влияние режима прессования на структуру и прочность цементного камня // Наука и образование транспорту: материалы IX Международной научно-практической конференции. Самара: СамГУПС, 2016. С.196-198.
6. Сеськин И.Е., Баранов А.С. Прочность прессованного фибробетона // Строительные материалы. 2012. №10. С.72-73.
7. Пухаренко Ю.В. Принципы формирования структуры и прогнозирования прочности фибробетонов // Строительные материалы. 2004. №10. С. 47-51.

Об авторе:

**БАРАНОВ Александр Сергеевич**  
заведующий лабораториями кафедры строительства Самарский государственный университет путей сообщения  
443066, Россия, г. Самара, 1-й Безымянный пер., 18  
E-mail: geleont@mail.ru

**BARANOV Alexandr S.**  
Head of Laboratory of the Construction Chair  
Samara State Transport University  
443066, Russia, Samara, 1st Bezymyznny court, 18  
E-mail: geleont@mail.ru

Для цитирования: Баранов А.С. Прочность и долговечность мелкоштучных изделий из гиперпрессованного фибробетона // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, №3. С. 46-49. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.8.  
For citation: Baranov A.S. Strength and durability of small piece products made from fibre reinforced concrete // Urban Construction and architecture. 2017. V. 7, 3. Pp. 46-49. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.8.