

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НАПРЯГАЮЩИХ БЕТОНОВ С МНОГОУРОВНЕВЫМ ДИСПЕРСНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

Введение. Концепция армирования напрягающего бетона фиброволокнами не реализована в полной мере вплоть до сегодняшнего дня. В большинстве случаев в первую очередь дисперсное армирование рассматривается с точки зрения эффективности при повышении прочностных характеристик, а напрягающий бетон используется лишь в качестве одной из модификаций бетонной матрицы [1]. Ввиду особенности напрягающего бетона в ходе свободного расширения создавать самонапряжение в ограничивающих его элементах, вопрос дисперсного армирования такого бетона раскрывается с новой стороны. Впервые было предложено совместить идею многоуровневого армирования с концепцией использования фибры в качестве объемного ограничителя в напрягающем бетоне. Такой подход одновременно действует в нескольких направлениях: расширяясь, напрягающий бетон при верно подобранной концентрации фибры создает обжатие волокон, в то же время, фибра, формируя пространственный каркас, способна сдерживать напряжения расширяющейся системы. При этом упрочнение матрицы, вызванное образованием этtringита, способно отодвинуть процесс трещинообразования.

Материалы и методы. Учитывая принцип многоуровневой организации структуры фибробетона [2, 3], был разработан собственный вариант многоуровневого армирования, где в качестве армирования макроуровня принята стальная и композитная базальтовая фибра, высокие показатели модуля упругости которых позволяют сдерживать деформации расширения напрягающей бетонной матрицы и одновременно выполнять армирующую функцию. Для усиления мезо- и микроуровня выбраны базальтовая и полипропиленовая фибры, которые, ввиду своего небольшого размера, способны упрочнить структуру матрицы. Тонкие кристаллы этtringита, образующиеся в гидратирующей системе напрягающего бетона, не только расширяют систему, но и создают армирующий эффект на субмикроуровне.

За основу был выбран базовый состав напрягающего бетона с применением расширяющейся добавки сульфоалюминатного типа, в котором варьировались тип и количество фиброволокон. В работе оценивались следующие параметры: относительные деформации расширения, модуль упругости, прочность на сжатие и растяжение при изгибе.

Результаты и обсуждение. В результате проведенных экспериментов (таблица 1) установлена зависимость свободного расширения от количества и типа фибры. Так, при увеличении концентрации высокомодульных волокон, расширение системы уменьшается, что подтверждает высказанные нами ранее предположения. Это видно на примере серии 1, где свободное расширение образцов НБКС (композитные базальтовые + стальные волокна) значительно меньше, чем у остальных образцов. При этом низко модульные волокна незначительно воздействуют на прочность бетона при моноармировании, однако при совмест-

ном использовании с высокомодульными волокнами возникает синергетический эффект, повышающий прочностные показатели на сжатие и на растяжение при изгибе. Синергетический эффект наиболее явно прослеживается в серии 1, где при достижении требуемых деформаций расширения по сравнению с неармированным бетоном прочность на сжатие увеличилась на 25 %, а на растяжение при изгибе – на 44 %. Положительный эффект наблюдается также при оценке модуля упругости (+43 %).

Таблица 1– Результаты испытаний по трем сериям

Серия 1				
Наименование показателя (возраст 28 суток)	НБО (э)	НБК	НБКБ	НБКС
Свободное расширение, %	0,24	0,22	0,13	0,06
Прочность на растяжение при изгибе, МПа	5,2	6,1	6,8	7,5
Прочность на сжатие, МПа	39,2	41,8	49,2	59,6
Модуль упругости, ГПа	26,2	26,1	32,4	37,5
Серия 2				
Наименование показателя (возраст 28 суток)	НБО (э)	НБС	НБП	НБПС
Свободное расширение, %	0,32	0,25	0,28	0,20
Прочность на растяжение при изгибе, МПа	8,1	8,2	9,1	9,5
Прочность на сжатие, МПа	52,7	51,1	52,3	54,4
Модуль упругости, ГПа	36,8	38,7	36,3	37,3

Заключение. Применение многоуровневого дисперсного армирования позволяет расширить возможности использования напрягающего бетона за счет повышения прочности на растяжение, модуля упругости при достижении требуемых показателей самонапряжения. Оптимизация расхода расширяющейся добавки и фиброволокон в составе фибробетонной смеси позволяет получать фибробетоны с повышенной долговечностью и эксплуатационной надежностью, тем самым расширив их сферы применения.

Список цитированных источников

1. Обухов, А. Н. Повышение прочности сталефибробетона на НЦ при роликовом формовании / А. Н. Обухов, И. Ф. Руденко, С. А. Селиванова // Бетон и железобетон. – 1987. – № 9. – С. 20–21.
2. Чернышов, Е. М. Неоднородность структуры и сопротивление разрушению конгломератных строительных композитов: вопросы материаловедческого обобщения и развития теории : монография / Е. М. Чернышов, Е. И. Дьяченко, А. И. Макеев ; под общей редакцией Е. М. Чернышова. – Воронеж : Воронежский гос. арх.-строит. ун-т, 2012. – 98 с.
3. Чернышов, Е. М. Типы подструктур в целостной полиструктуре бетона и закономерности формирования параметров поля напряжений в композите (к развитию теории конструирования и синтеза структур конгломератных строительных композитов) / Е. М. Чернышов, А. И. Макеев // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году : Сб. науч. тр. РААСН: в 2 т. / сост. и отв. ред. Г. И. Рогунова ; Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН). – Москва : АСВ, 2021. – Т. 2. – С. 304–314.