

БАЛЫКОВ А. С., НИЗИНА Т. А., САРАЙКИН А. С., ВОЛОДИН В. В., ПОТЕКАЕВ А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПОТРЕБНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ
ФИБРОБЕТОННОЙ СМЕСИ И ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ

Аннотация. Исследовано влияние водопотребности фибробетонных смесей на физико-механические характеристики модифицированных дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов. Графическая интерпретация результатов осуществлялась по треугольным диаграммам Гиббса-Розебома, построенным с применением программы Statistica 10.0.1011. Проведен анализ оптимальных комплексов добавок и дисперсных волокон с целью повышения исследуемых характеристик цементных композитов.

Ключевые слова: дисперсно-армированный мелкозернистый бетон, модифицирующая добавка, дисперсное волокно, водопотребность, плотность в нормальных влажностных условиях, предел прочности на растяжение при изгибе, предел прочности при сжатии, треугольная диаграмма Гиббса-Розебома.

BALYKOV A. S., NIZINA T. A., SARAYKIN A. S., VOLODIN V. V., POTEKAEV A. V.
STUDY OF WATER DEMAND OF MODIFIED
FIBER-REINFORCED CONCRETE MIXTURE AND ITS EFFECT ON PHYSICAL AND
MECHANICAL CHARACTERISTICS OF FINE-GRAINED CONCRETES

Abstract. The effect of water demand of fiber concrete mixtures on the physical and mechanical properties of modified disperse-reinforced fine-grained concretes is studied. A graphical interpretation of the study results was carried out on Gibbs-Roseboom triangular diagrams constructed with the use of Statistica 10.0.1011. The optimal additive complexes and dispersed fibers are analyzed in order to improve the cement composites characteristics.

Keywords: disperse-reinforced fine-grained concrete, polyfunctional modifying additive, dispersed fiber, water demand, density at normal humidity conditions, limit of tensile strength in bending, limit of compressive strength, Gibbs-Roseboom triangular diagram.

Мировой опыт свидетельствует, что перспективным направлением современного строительного материаловедения является дисперсное армирование композиционных материалов. На сегодняшний день достигнуты значительные успехи в области повышения активности цементных минеральных вяжущих веществ, что позволяет разрабатывать составы бетонов с пределом прочности на сжатие 100-150 МПа и выше [1; 2]. Однако прочность растворов и бетонов при растяжении остается во много раз ниже прочности на сжатие. В связи с этим, использование дисперсных волокон для армирования с целью повышения прочности

при растяжении цементных композитов может послужить толчком к получению бетонов нового типа, с более широкими возможностями их применения в строительстве [1–4].

Несмотря на значительное количество научных исследований, применение дисперсного армирования в строительных изделиях сдерживается рядом причин: отсутствует достаточная нормативная база по проектированию и оптимальным методам распределения волокон в матрице вяжущего, расчету сырьевых составов, технологиям производства строительных изделий с использованием дисперсных волокон [5].

Наряду с дисперсным армированием, широкие перспективы открывает и использование в составах бетонов и растворов тонкодисперсных кремнийсодержащих минеральных добавок, таких как микрокремнезем и метакаолин, позволяющих увеличивать плотность цементного камня за счет микронаполнения и связывания (пуццоланический эффект) гидратной извести (портландита); стабилизировать бетонные смеси с высоким водосодержанием; усиливать эффективность работы поверхностно-активных веществ, вводимых в состав материала; а также получать повышенные физико-механические и эксплуатационные свойства цементных композитов при пониженных расходах цемента [6–8]. Другими востребованными модификаторами являются добавки гидроизоляционного типа, в частности система материалов «Пенетрон», позволяющая значительно повысить стойкость бетона к воздействию агрессивных сред [9].

Исследование водопотребности модифицированных дисперсно-армированных бетонных смесей и ее влияния на основные физико-механические характеристики цементных композитов является важным и актуальным. Фиброармирование композиций на основе цемента приводит к ухудшению удобоукладываемости смесей, вызывая кластеризацию и комкование [10; 11], а тем самым снижает эксплуатационные характеристики цементных композитов. Вместе с этим, введение в рецептуру бетонных смесей активных минеральных добавок с высокой удельной поверхностью еще в большей степени приводит к необходимости решения вопроса их водоредуцирования. Применение высокоэффективных суперпластификаторов на поликарбоксилатной основе не в полной мере позволяет решить данную проблему, что требует проведения дополнительных исследований по поиску наиболее оптимальных комплексов добавок и дисперсных волокон для получения цементных композитов с повышенными эксплуатационными требованиями.

В качестве вяжущего был использован портландцемент класса ЦЕМ I 42,5Б производства ОАО «Мордовцемент», мелкозернистого заполнителя – речной песок с размером зерна менее 5 мм, добываемый в поселке Смольный Ичалковского района Республики Мордовия. Для дисперсного армирования бетонов применялись волокна следующих видов: низко модульное полипропиленовое волокно (ППН), высоко модульное

полиакрилонитрильное волокно (ПАН), модифицированная астраленами базальтовая микрофибра под фирменным названием «Астрофлекс-МБМ» (МБМ). С целью полифункциональной модификации мелкозернистых бетонов использовались: микрокремнезем конденсированный уплотненный (МКУ), высокоактивный метакаолин (ВМК), гидроизоляционная добавка в бетонную смесь «Пенетрон Адмикс» (Адмикс). Для достижения требуемых реологических свойств в состав бетонных смесей вводился суперпластификатор Melflux 1641 F (MF 1641 F).

В исследовании варьировалось две группы факторов – вид и содержание используемых добавок (v_1 (МКУ), v_2 (ВМК), v_3 (Адмикс)), а также вид и содержание применяемой фибры (w_1 (ППН), w_2 (ПАН); w_3 (МБМ)). Для исследуемой системы «состав – свойства» контролировалось выполнение следующих условий:

$$0 \leq v_i \leq 1; \sum v_i = 1; i=1, 2, 3; \quad 0 \leq w_i \leq 1; \sum w_i = 1; i=1, 2, 3. \quad (1)$$

Численные значения уровней варьирования исследуемых факторов представлены в таблице 1. Неизменными составляющими фибробетонной смеси оставались: доля речного песка – 65% от массы твердой фазы и содержание суперпластификатора Melflux 1641 F – 0,5% от массы вяжущего.

Таблица 1

Уровни варьирования исследуемых факторов экспериментального исследования

Факторы			Уровни варьирования			
			0	0,333	0,5	1
Вид добавки	v_1	МКУ, % от массы цемента	0	6,667	10	20
	v_2	ВМК, % от массы цемента	0	2	3	6
	v_3	Адмикс, % от массы цемента	0	0,5	0,75	1,5
Вид фибры	w_1	ППН, % от массы цемента	0	0,333	0,5	1
	w_2	ПАН, % от массы цемента	0	0,5	0,75	1,5
	w_3	МБМ, % от массы цемента	0	1,667	2,5	5

В ходе эксперимента были исследованы: водопотребность, предел прочности при сжатии (ГОСТ 310.4) и на растяжение при изгибе (ГОСТ 310.4), плотность в нормальных влажностных условиях (ГОСТ 12730.1-78) в возрасте 28 суток. Прочностные характеристики мелкозернистых бетонов определялись на установке WilleGeotechnik® (модель 13-PD/401) для испытания строительных материалов [12]. Настройка основных параметров и фиксирование полученных экспериментальных результатов осуществлялось с применением программного обеспечения GEOSYS 8.7.8.

Для обработки результатов экспериментальных исследований применялись методы математической статистики, а для их графической интерпретации - треугольные диаграммы Гиббса-Розебома в виде двумерных карт линий уровня (изолиний) (рис. 1), построенные с применением программы Statistica 10.0.1011.

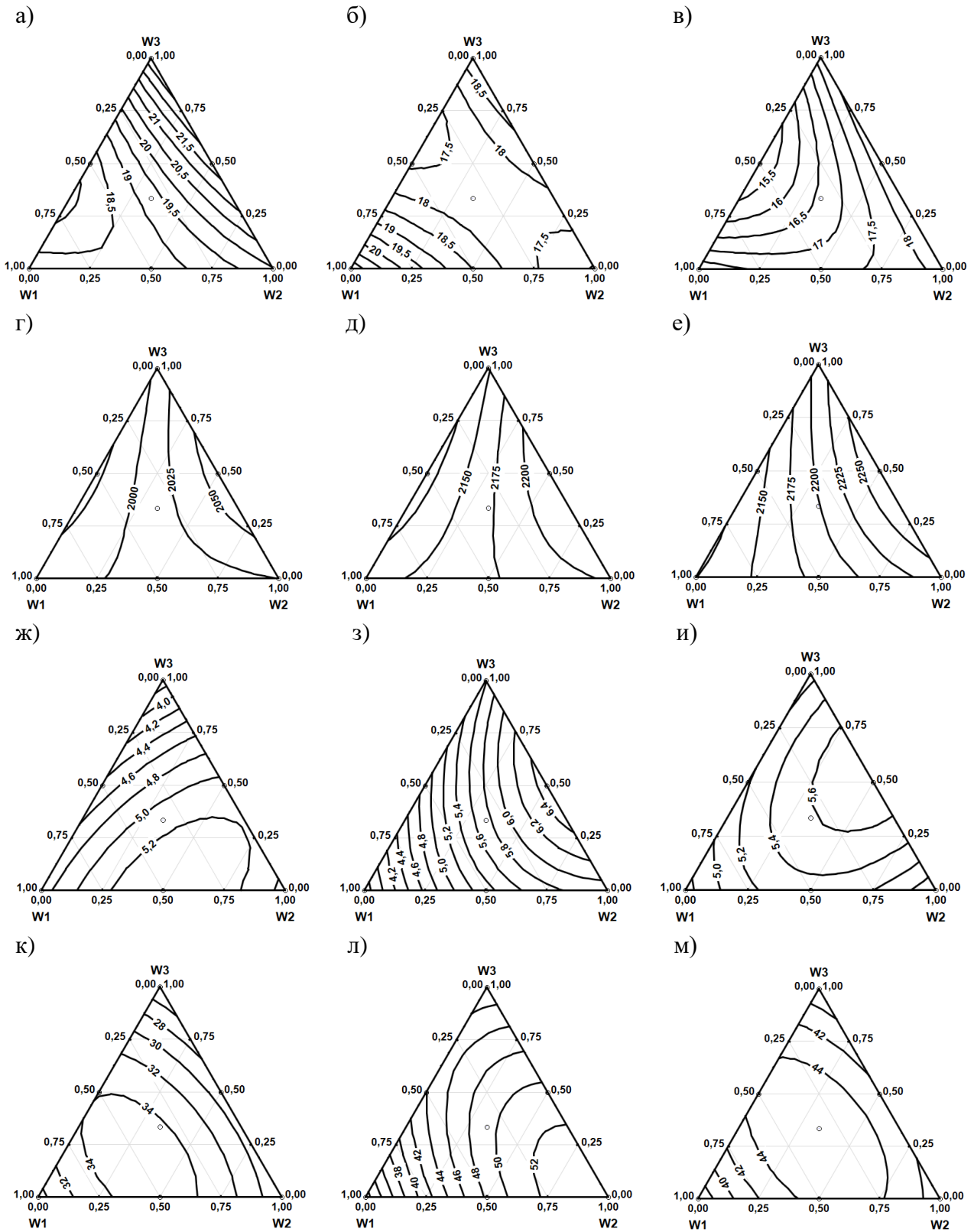


Рис. 1. Треугольные диаграммы Гиббса-Розебма изменения водопотребности (а, б, в) (% от массы сухих компонентов); плотности в нормальных влажностных условиях (г, д, е) ($\text{кг}/\text{м}^3$); предела прочности на растяжение при изгибе (ж, з, и) (МПа) и при сжатии (к, л, м) (МПа) дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов в зависимости от содержания добавок (v_1, v_2, v_3) и фибры (w_1, w_2, w_3) (см. таблицу 1): а), г), ж), к) $v_1 = 1, v_2 = 0, v_3 = 0$; б), д), з), л) $v_1 = 0, v_2 = 1, v_3 = 0$ в), е), и), м) $v_1 = 0, v_2 = 0, v_3 = 1$.

Проведенный графический анализ изолиний показал, что увеличение содержания в составах высокоактивного метаксаолина позволило получить цементные композиты с высокой плотностью (рис. 1, д). ВМК оказал наилучшее влияние и на исследуемые прочностные характеристики мелкозернистых дисперсно-армированных бетонов. Наибольшие результаты были зафиксированы при максимальном количестве метаксаолина ($v_2 = 1$) и следующем содержании данных дисперсных волокон:

- для предела прочности на растяжение при изгибе – при равном соотношении полипропиленовой и полиакрилонитрильной фибр ($w_2 = w_3 = 0,5$) (рис. 1, з);

- для предела прочности при сжатии – при максимальном использовании ПАН-фибры ($w_2 = 1$) (рис. 1, л).

Напротив, повышение доли микрокремнезема приводит к снижению физико-механических характеристик фибробетонов. Наиболее низкая плотность зафиксирована у цементных композитов, модифицированных добавкой микрокремнезема ($v_1 = 1$) и дисперсно-армированных комплексом волокон «ППН+МБМ» при долях фибр близких к равным ($w_1 = w_3 = 0,5$) (рис. 1, г). Самые низкие показатели исследуемых упруго-прочностных характеристик имеют составы с МКУ и МБМ ($v_1 = 1, w_3 = 1$) (рис. 1, ж, к).

Высокие физико-механические показатели цементных композитов с метаксаолином, армированных полиакрилонитрильным волокном и/или модифицированной базальтовой микрофиброй, обусловлены, в том числе и их сниженной водопотребностью по сравнению с составами с микрокремнеземом (рис. 1, а, б). Наиболее высокая водопотребность при применении микрокремнезема и метаксаолина зафиксирована у бетонных смесей дисперсно-армированных модифицированной базальтовой микрофиброй и полипропиленовым волокном соответственно (рис. 1, а, б), а при использовании добавки Адмикс – у смесей с полиакрилонитрильной синтетической фиброй.

По результатам анализа линий равного влияния (рис. 1) можно сделать вывод о взаимозависимости исследуемых показателей модифицированных дисперсно-армированных бетонов. Наиболее высокие физико-механические характеристики были зафиксированы для составов с метаксаолином, армированных полиакрилонитрильным волокном; данные составы обладают и пониженной водопотребностью. Замена в смесях, армированных ПАН-фиброй и МБМ, ВМК на МКУ приводило к повышению водопотребности смесей, снижению плотности и прочности цементных композитов на их основе. Данные факты свидетельствуют о негативном влиянии МКУ на процессы структурообразования модифицированных мелкозернистых дисперсно-армированных бетонов по сравнению с другими видами применяемых добавок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рабинович Ф. Н. Дисперсно армированные бетоны. – М.: Стройиздат, 1989. – 176 с.
2. Рабинович Ф. Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: Монография. – М.: АСВ, 2004. – 560 с.
3. Низина Т. А., Балыков А. С., Сарайкин А. С. Экспериментальные исследования дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов с полифункциональными модификаторами // УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН. – 2015. – № 4. – С. 91–96.
4. Низина Т. А., Балыков А. С. Сравнительный анализ влияния вариантов дисперсного армирования и полифункционального модифицирования на изменение физико-механических характеристик мелкозернистых бетонов // Вестник Волжского регионального отделения РААСН. – Вып. 16. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2016 (в печати).
5. Сарайкина К. А., Голубев В. А., Семкова Е. Н. Щелочестойкость базальтового волокна и способы ее повышения // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Строительство и архитектура.– 2012. – № 1. – С. 185–192.
6. Низина Т. А., Балбалин А. В. Влияние минеральных добавок на реологические и прочностные характеристики цементных композитов // Вестник ТГАСУ. – 2012. – № 2. – С. 148–153.
7. Низина Т. А., Балбалин А. В. Механическая активация цементных смесей с полифункциональными добавками // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 2. – С. 36–42.
8. Селяев В. П., Низина Т. А., Балбалин А. В. Многофункциональные модификаторы цементных композитов на основе минеральных добавок и поликарбоксилатных пластификаторов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – Ч. 2, Вып. 31 (50). – 2013. – С. 156–163.
9. Технологический регламент на проектирование и выполнение работ по гидроизоляции и антикоррозионной защите монолитных и сборных бетонных и железобетонных конструкций. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: СРО «РСПППГ», 2008. – 64 с.
10. Kuder K., Ozyurt N., Mu E., Shah S. Rheology of fiber-reinforced cement systems using a custom built rheometer. – Brittle Matrix Composites 8 : Proc. 8th Int. Symp. BMC8. – Warsaw: Woodhead Publ. Ltd., ZTUREK, 2006. – P. 431–439.
11. Ponikiewski T. Investigation on random distribution of fibres in cement composites. – Brittle Matrix Composites 9 : Proc. 9th Int. Symp. BMC9. – Warsaw: Woodhead Publ. Ltd., IFTR, 2009. – P. 131–138.
12. Низина Т. А., Селяев В. П. Материальная база вуза как инновационный ресурс развития национального исследовательского университета // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций факторов: материалы Всеросс. науч.-техн. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – С. 115–121.