

**БАЛЫКОВ А. С., НИЗИНА Т. А., КОРОВКИН Д. И.,
ВОЛОДИН В. В., КАШТАНОВ А. А., КАШТАНОВА Е. А.
ВЫСОКОПРОЧНЫЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ
НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

Аннотация. В статье показана возможность применения природных и техногенных песков в рецептуре модифицированных мелкозернистых бетонов повышенной прочности. Разработаны составы высокопрочных мелкозернистых бетонов классов В60-В90, включающие строго подобранные компоненты бетонной смеси, в числе которых вяжущие, заполнители, а также целевые высококачественные добавки.

Ключевые слова: высокопрочный мелкозернистый бетон, техногенный и природный заполнитель, физико-механические характеристики.

**BALYKOV A. S., NIZINA T. A., KOROVKIN D. I.,
VOLODIN V. V., KASHTANOV A. A., KASHTANOVA E. A.
HIGH-STRENGTH FINE-GRAINED CONCRETES
BASED ON NATURAL AND TECHNOGENIC RAW MATERIALS**

Abstract. The article shows the use of natural and technogenic sands in the formulation of modified high-strength fine-grained concretes. The developed compositions of high-strength fine-grained concretes of B60-B90 classes include strictly selected components of the concrete mix consisting of binders, fillers, and targeted high-quality additives.

Keywords: high-strength fine-grained concrete, technogenic and natural filler, physical and mechanical characteristics.

Современные высококачественные цементные композиты характеризуются улучшенной технологичностью и удобоукладываемостью, высокой прочностью при сжатии, стабильностью объема и долговечностью [1–3].

Одним из приоритетных направлений мирового бетоноведения является использование высокопрочных и ультравысокопрочных цементных бетонов, так называемых High-Strength Concretes (HSC) и Ultra High-Strength Concretes (UHSC). За последние 25 лет созданы бетоны нового поколения с прочностью при сжатии 150-200 МПа и более, которые возможно производить на современных бетонных заводах в промышленных масштабах [4]. Применение композитов такой прочности позволяет значительно уменьшить геометрические размеры сечений сжатых и изгибаемых элементов несущих конструкций, существенно снижая при этом их объем и массу и, как следствие, расход бетона и стальной арматуры [5].

Однако на данный момент не существует четкой классификации такого рода бетонов. Согласно российским нормативным документам, в частности новому ГОСТ 31914-2015, к высокопрочным бетонам могут быть отнесены тяжелые и мелкозернистые цементные композиты класса по прочности при сжатии В60 и выше.

Многими авторами, в частности [1; 2; 4–12], отмечается тенденция к расширению применения мелкозернистого бетона в строительных конструкциях. Этот вид бетона имеет целый ряд заметных преимуществ, среди которых: высококачественная структура и высокая технологичность при правильно подобранной рецептуре; простота изготовления изделий как методом прессования, так и методом литья; возможность широкого применения сухих смесей с гарантией высокого качества и эффективного модифицирования композитов широким спектром органоминеральных добавок, обеспечивающих получение материалов с различными комплексами свойств [13; 14]; снижение стоимости бетона (до 15–25%) за счет использования дешевых местных песков по сравнению с бетоном на крупном заполнителе; возможность получения тонкостенных и слоистых конструкций, декоративных бетонов и фибробетонов, а также материалов и изделий переменной плотности, в частности фильтрующих, и целый ряд других достоинств.

Помимо природных местных песков, нужно отметить важность использования и техногенных заполнителей в рецептуре мелкозернистых бетонов. Актуальность и перспективность данного направления в бетоноведении обусловлены необходимостью и возможностью расширения сырьевой базы перспективного вида бетона при возрастающем дефиците природного заполнителя и накоплении многотоннажных зернистых промышленных отходов, например, при литейном производстве. Высокая степень использования песков-отходов способствует экономии энерго-сырьевых ресурсов, развитию экономических и технологических решений по их утилизации, а тем самым и улучшению экологической обстановки в регионах.

Необходимо отметить, что в большинстве литературных источников по созданию высокопрочных бетонов указывается на необходимость обеспечения активности цемента на уровне 45-50 МПа и выше (в основном бездобавочного или с минимальным содержанием добавок ЦЕМ I) для изготовления бетонов прочностью на сжатие 120-150 МПа и более [1]. Однако данных о применении низкомарочных и рядовых портландцементов марок М300 и М400 с активностью 25-40 МПа в рецептуре получения бетонов повышенной прочности резко ограничено. На наш взгляд, необходимо использовать возможность получения составов бетонов повышенной прочности с применением всей номенклатуры выпускаемых промышленностью портландцементов, позволяющую сделать оптимальный выбор активности цемента для высококачественных бетонов нового поколения различной

прочности в зависимости от требуемых условий (характера работы материала, оптимального расхода вяжущего, требований по экзотермии, воздействий на изделие внешней среды и др.) по аналогии со СНиП 82-02-95, применяемого для рядовых бетонов.

В данном экспериментальном исследовании оценивалась возможность получения высокопрочных мелкозернистых бетонов с применением рядовых портландцементов, природных песков Республики Мордовия и других регионов, а также песков-отходов литейного производства предприятия ООО «ВКМ Сталь» Республики Мордовия.

Мелкие заполнители, используемые в экспериментальном исследовании: П1 – формовочный песок-отход литейного производства ООО «ВКМ Сталь» фракции 0,3 мм (природное месторождение – карьер Ульяновской области ООО «Ташлинский ГОК»); П2 – чистый формовочный песок фракции 0,1 мм (Бурцевское месторождение Нижегородской области) и его обожженный отход (ПЗ), образующийся при применении данного песка на производстве ООО «ВКМ Сталь»; П4 и П5 – природные кварцевые пески Новостепановского карьера (Республика Мордовия, Ичалковский район, п. Смольный) фракций 0,16-0,63 мм и 0,63-5 мм соответственно.

В качестве вяжущего применялся портландцемент ЦЕМ I 32,5Б (Ц1) производства ПАО «Мордовцемент» и портландцемент ЦЕМ I 42,5Б (Ц2) производства ПАО «Сенгилеевский цементный завод» (Ульяновская область). Для увеличения доли тонкодисперсных компонентов вяжущего в состав бетонной смеси вводился микрокальцит КМ-100 (МКМ) в количестве 45–75% от массы портландцемента.

В качестве активных минеральных добавок использовались микрокремнезем конденсированный неуплотненный МК-85 (МК) и уплотненный (МКУ), а также высокоактивный метакаолин белый (ВМК).

Для обеспечения водоредуцирующего и пластифицирующего эффектов применялся высококачественный суперпластификатор Melflux двух модификаций – 1641 F (MF1) и 5581 F (MF2), вводимый в количестве 0,9–1% от массы портландцемента.

Бетонные смеси изготавливались подвижными, большинство составов имели консистенцию от литых до самоуплотнящихся. В ходе эксперимента исследовались следующие характеристики: прочность при сжатии (ГОСТ 310.4) и на растяжение при изгибе (ГОСТ 310.4) в возрасте 28 суток.

Составы мелкозернистых бетонов и результаты их испытаний представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

**Составы высокопрочных мелкозернистых бетонов
(содержание цемента в кг на 1 м³ бетонной смеси)**

№ состава	Ц1, кг	Ц2, кг	Содержание модификатора, % от массы портландцемента			Содержание песка, % от массы портландцемента					В/Ц
			МК	МКУ	ВМК	П1	П2	П3	П4	П5	
1	394	0	0	10	0	0	0	0	144	244	0.58
2	0	722	0	0	10	0	0	0	145	0	0.37
3	722	0	0	0	10	0	0	145	0	0	0.51
4	722	0	0	0	10	0	145	0	0	0	0.47
5	0	722	10	0	0	0	0	0	145	0	0.34
6	722	0	0	0	10	145	0	0	0	0	0.33
7	0	750	0	0	0	145	0	0	0	0	0.29
8	0	500	0	0	10	0	0	0	260	0	0.45
9	0	500	10	0	0	0	0	0	260	0	0.43

Таблица 2

Прочностные свойства композитов в возрасте 28 суток

№ состава	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа
1	5.7	51.2
2	10.5	110.3
3	6.5	56.1
4	9	66.8
5	14.4	104.0
6	11.1	94.9
7	9.2	98.6
8	6.9	82.4
9	8	86.5

Наибольшие значения прочностных характеристик в возрасте 28 суток зафиксированы у составов №2 и 5: соответственно 10,5 и 14,4 МПа – на растяжение при изгибе, 110,3 и 104,0 МПа – при сжатии. Данные составы получены на Сенгилеевском портландцементе с применением ВМК, МК и Ичалковского природного кварцевого песка фракцией 0,16-0,63 мм. Из составов на Мордовском портландцементе следует отметить состав с ВМК (№ 6) с прочностными показателями 11,1 и 94,9 МПа на растяжение при изгибе и при сжатии соответственно.

Среди остальных составов стоит выделить состав №1 со средней прочностью при сжатии 51 МПа при расходе портландцемента 394 кг/м³ бетонной смеси, а также составы №8 и 9 со средним расходом вяжущего 500 кг на 1 м³ бетонной смеси, имеющими высокую прочность при сжатии – 82 и 87 МПа соответственно.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований были разработаны составы высокопрочных мелкозернистых бетонов классов В60-В90, включающие заполнители как природного, так и техногенного происхождения, а также целевые высококачественные добавки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов Ю. М., Демьянова В. С., Калашников В. И. Модифицированные высококачественные бетоны. – М.: АСВ, 2006. – 368 с.
2. Фаликман В. Р. Новые эффективные высокофункциональные бетоны // Бетон и железобетон. – 2011. – № 2. – С. 78–84.
3. Ушеров-Маршак А. В. Бетоны нового поколения – бетоны с добавками // Бетон и железобетон. – 2011. – № 1. – С. 78–81.
4. Калашников В. И. Эволюция развития составов и изменение прочности бетонов. Бетоны настоящего и будущего // Строительные материалы. – 2016. – № 1-2. – С. 96–103.
5. Хозин В. Г., Ханифов Ф. М. Стратегия инновационного развития бетонного строительства в Республике Татарстан // Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции «Высокопрочные бетоны: технологии, конструкции, экономика (ВПБ-2016)». – Казань: КГАСУ, 2016. – С. 10–12.
6. Баженов Ю. М. Многокомпонентные мелкозернистые бетоны // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2001. – № 10. – С. 24.
7. Лесовик Р. В., Ключев С. В. Техногенные пески для производства высококачественного фибробетона // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – М., 2012. – № 8. – С. 31–33.
8. Низина Т. А., Балыков А. С. Анализ комплексного влияния модифицирующих добавок и дисперсного армирования на физико-механические характеристики мелкозернистых бетонов // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 4-1. – С. 25–32.
9. Низина Т. А., Балыков А. С., Сарайкин А. С. Экспериментальные исследования дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов // УралНИИпроект РААСН. – 2015. – № 4. – С. 91–95.
10. Низина Т. А., Балыков А. С. Экспериментально-статистические модели свойств модифицированных дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов // Инженерно-строительный журнал. – 2016. – № 2. – С. 13–25.

11. Низина Т. А., Пономарев А. Н., Балыков А. С. Мелкозернистые дисперсно-армированные бетоны на основе комплексных модифицирующих добавок // Строительные материалы. – 2016. – № 9. – С. 68–72.
12. Низина Т. А., Балыков А. С. Построение экспериментально-статистических моделей «состав – свойство» физико-механических характеристик, модифицированных дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2016. – Вып. 45(64). – С. 54–66.
13. Низина Т. А., Балбалин А. В., Балыков А. С. Фрактальный анализ кривых деформирования композиционных строительных материалов при сжатии [Электронный ресурс] // Огарёв-online. Раздел «Технические науки». – 2015. – Выпуск 13. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/fraktalnyj-analiz-krivykh-deformirovaniya-kompozicionnykh-stroitelnykh-materialov-pri-szhatii>.
14. Селяев В. П., Низина Т. А., Балыков А. С., Низин Д. Р., Балбалин А. В. Фрактальный анализ кривых деформирования дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов при сжатии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2016. – № 1. – С. 129–146.