УДК 06.54.31:691.5:691.32:666.9.035

© *Ю. В. Пухаренко*, д-р техн. наук, профессор
© *С. Н. Панарин*, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник
© *С. И. Веселова*, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник
© *И. У. Аубакирова*, канд. техн. наук, доцент
© *С. А. Черевко*, мл. науч. сотрудник
© *В. Д. Староверов*, канд. техн. наук, ст. преподаватель
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: tsik@spbgasu.ru

© *Ju. V. Puharenko*, Dr. Sci. Tech., Professor
© *S. N. Panarin*, PhD in Tech. Sci., senior scientific worker
© *S. I. Veselova*, PhD in Tech. Sci., senior researcher
© *I. U. Aubakirova*, PhD in Sci. Tech., assistant Professor
© *S. A. Tscherevko*, junior research worker
© *V. D. Staroverov*, PhD in Sci. Tech., senior teacher
(Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: tsik@spbgasu.ru

НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫЙ БЕТОН НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ КАМНЕДРОБЛЕНИЯ[1]

На основе фракционированных отходов камнедробления и добавок-пластификаторов, модифицированных углеродным наноматериалом фуллероидного типа, полученным по оригинальному методу из отходов химических производств, предложены составы мелкозернистого бетона.

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы по государственному контракту № 16.740.11.0648.

Ключевые слова: отходы, отсевы дробления, углеродные наноструктуры, наномодифицированная добавка, мелкозернистый бетон.

Возросший спрос на новые материалы и технологии в строительной индустрии обуславливает разработку и внедрение композитов, отличающихся высокими показателями долговечности и эксплуатационной надежности. Обеспечение необходимого сочетания технологичности и требуемых свойств материала достигается путем целенаправленного управления процессами структурообразования. Современное состояние строительного материаловедения определяет возможность применения для этих целей методов, основанных на нанотехнологических принципах. Наноструктуры, вводимые в дисперсные гетерогенные системы, проявляют свою эффективность в первую очередь на нанодисперсном и микродисперсном структурных уровнях и отвечают за формирование свойств на макроскопическом уровне композита. Об актуальности работ по созданию наноструктурированных строительных материалов свидетельствуют положительные результаты довольно многочисленных исследований, выполненных в данной области в последние годы.

Говоря о многообразии конструкционных материалов, необходимо отметить, что в последнее время все больше внимания уделяется мелкозернистым бетонам.

Известно [1], что основное влияние при формировании структуры и свойств мелкозернистого бетона оказывает количество и характеристики вяжущих веществ (химический, вещественный и фазово-минералогический состав, тонкость помола, активность) и заполнителей (крупность зерен, гранулометрический состав, характеристика поверхности, пустотность). Насыщение цементной матрицы высокодисперсными частицами является предпочтительным методом

оптимизации структуры мелкозернистых бетонов, а использование при этом высокоэффективных пластифицирующих добавок, модифицированных углеродными наночастицами, способствует снижению расхода наиболее дорогостоящего компонента – цемента [2, 7].

Многочисленные исследования в области оптимизации гранулометрического состава песков для мелкозернистых бетонов (например, [6, 8]) показали целесообразность применения смешанных составов заполнителей с минимальным значением межзерновой пустотности. Наиболее простым способом создания оптимального состава заполнителей является использование фракционированных песков. Так, во многих зарубежных странах производители бетонных смесей имеют возможность использовать до 6 фракций мелкого заполнителя, а также их смеси в заданном соотношении.

Известно, что в нашей стране основными потребителями фракционированных заполнителей остаются производства сухих строительных смесей, в то время как в технологии бетонов их применение широкого применения не нашло из-за высокой стоимостью фракционированного природного песка.

Альтернативой природным пескам в ряде случаев могут служить искусственные заполнители, полученные на основе отходов дробления гранитного щебня (ОД). Являясь отходом производства гранитного щебня, ОД накапливаются на дробильно-сортировочных производствах в огромном количестве и на сегодня в промышленных объемах не используются.

Отходы дробления, получаемые в карьерах Ленинградской области, представляют собой полифракционный материал с максимальной крупностью зерен 5 мм, отличающийся от гранулометрического состава стандартных песков избыточном содержании фракций 2,5–5 мм и значительным количеством пылевидной составляющей. Следовательно,

использование ОД в бетонных смесях без фракционирования практически невозможно. В связи с этим на базе Семиозерского карьероуправления запроектирован и создан сушильно-сортировочный комплекс, позволяющий производить отделение избытка фракций 2,5–5 мм, а также пылевидной составляющей ОД 0–0,16 мм.

С целью определения оптимального количества ОД в составе смеси для мелкозернистого бетона проведено исследование их влияния на плотность и пустотность составного заполнителя. С этой целью изготавливались смеси кварцевого песка ($М_{кр}$=2,3) и ОД (откорректированного состава) в различных соотношениях. Результаты приведены в таблице 1. Как видно из полученных данных наиболее оптимальным составом смеси является соотношение 60 % ОД : 40 % кварцевый песок. Следовательно, при этом составе можно прогнозировать максимальную прочность бетона.

Таблица 1

Зависимость плотности и пустотности смеси заполнителей от соотношения ОД : песок

Соотношение ОД : песок	Плотность, кг/м^3	Пустотность, %
100 : 0	1790	31,9
90 : 10	1815	31,1
80 : 20	1830	30,5
70 : 30	1873	28,8
60 : 40	1885	28,5
50 : 50	1875	28,9
40 : 60	1856	29,5
30 : 70	1834	30,3
20 : 80	1822	30,8
10 : 90	1810	31,2
0 : 100	1803	31,5

Для проверки данной гипотезы были изготовлены образцы мелкозернистого бетона методом вибропрессования. Результаты испытания образцов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Влияние соотношения ОД : песок в заполнителе на физико-механические характеристики вибропрессованных образцов

№п/п	Соотношение ОД : песок, %	Плотность, кг/м^3	Прочность при сжатии, МПа
1	0 : 100	2290	40,5
2	10 : 90	2280	41,5
3	20 : 80	2280	43,6
4	30 : 70	2260	44,2
5	40 : 60	2280	44,8
6	50 : 50	2340	45,3
7	60 : 40	2360	46,4
8	70 : 30	2320	45,1
9	80 : 20	2300	43,6
10	90 : 10	2290	41,5
11	100 : 0	2270	41,3

Из таблицы 2 видно, что соотношение ОД : песок 60 : 40 также дает максимальные значения средней плотности и прочности.

На основе выполненных работ были разработаны составы мелкозернистого бетона классов по прочности на сжатие В25 и В30 с сокращенным расходом цемента соответственно на 16 % и 19 % по сравнению с нормированным расходом, установленным для мелкозернистого бетона в пределах от 480 до 600 кг/м^3 в зависимости от удобоукладываемости бетонной смеси.

В дальнейшей работе была исследована возможность применения оптимизированных составов ОД в подвижных смесях для получения высокопрочных мелкозернистых бетонов. Для этих целей были использованы наномодифицированные добавки на основе поликарбоксилатов.

Ранее была показан возможность применения наномодификатора фуллероидного типа [2, 7], получаемого путем плазменно-дугового синтеза

в установке дугового испарения с последующей физико-химической обработкой, для модификации воды затворения и водных растворов добавок различной химической природы. В результате такого способа наноструктурного модифицирования в промышленных объемах изготавливались бетоны с повышенными прочностными и другими параметрами, положительно характеризующими композит.

В настоящее время, в связи с тем, что стоимость вяжущего по сравнению с предыдущими годами значительно сократилась, а при этом набор методов синтеза различных нанообъектов существенно расширился, была поставлена задача получения наномодификаторов для бетонов и растворов нового поколения с пониженной себестоимостью и не уступающих по своему модифицирующему действию изученным ранее аналогам. В этой связи синтез наноструктур из отходов химических производств является наиболее предпочтительным. Учитывая это, разработан способ переработки катодных депозитов для получения смешанного углеродного наноматериала, содержащего много- и однослойные нанотрубки, нанобаррели, нанолуковицы и т. п. При этом из 1 т катодных депозитов вырабатывается до 200 кг углеродного наноматериала по цене не более 3,5 тыс. рублей за килограмм, что значительно дешевле существующих аналогов [3, 4, 5].

Синтезированный при обработке депозитных отходов фуллереновых производств наноматериал был использован для модификации добавок для бетонов и растворов, с применением которых были разработаны составы мелкозернистого бетона с сокращенным расходом цемента и собственно добавки (табл. 3).

Таблица 3

Состав наномодифицированного бетона

Расход компонентов	Подвижность бетонной	Средняя плотность бетона,	Предел прочности при

на 1 м^3 бетонной смеси	смеси	кг/м^3	сжатии в возрасте 28 сут., МПа
Цемент ПЦ 500 – 350 кг ОД – 800 кг Гранитный щебень фр. 5–10 мм – 1070 кг Вода – 150 л Наномодифицированный пластификатор – 1,4 кг	ОК=14 см (ПЗ)	2290	61,0

Таким образом, применение наноматериала, получаемого по оригинальной технологии, позволило сократить стоимость наночастиц и повысить физико-механические характеристики бетона, что определяет возможность широкого использования метода наноструктурного модифицирования цементных композитов при получении изделий и конструкций различного назначения.

Список литературы

1. *Баженов, Ю. М.* Технология и свойства мелкозернистых бетонов: Учебное пособие / Ю. М. Баженов, Л. А. Алимов, В. В. Воронин, Р. Б. Ергешев. – Алматы: КазГосИНТИ, 2000. – 195 с.

2. *Ковалева, А. Ю.* Опыт промышленного применения наномодифицированных бетонных смесей / А. Ю. Ковалева, И. У. Аубакирова, В. Д. Староверов // Вестник гражданских инженеров. – 2008. – №3(16). – С. 74–76.

3. *Летенко, Д. Г.* Получение углеродных наноструктур из отходов химических производств / Д. Г. Летенко, В. А. Никитин, Н. А. Чарыков, К. Н. Семенов, Ю. В. Пухаренко // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – № 1(22). – С. 108–118.

4. *Летенко, Д. Г.* Физико-химические свойства водных дисперсий смешанного наноуглеродного материала фуллероидного типа (часть 1) / Д. Г. Летенко, В. А. Никитин, А. Ю. Меньшикова, Ю. В. Пухаренко, Н. А.

Чарыков // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – № 2(23). – С. 131–138.

5. *Летенко, Д. Г.* Физико-химические свойства водных дисперсий смешанного наноуглеродного материала фуллероидного типа (Часть 2) / Д. Г. Летенко, А. С. Иванов, М. Ю. Матузенко, В. А. Никитин, Ю. В. Пухаренко, Н. А. Чарыков // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – № 3(24). – С. 117–122.

6. *Панарин, С. Н.* Модификация гранулометрического состава отсевов гранитного щебня для получения строительных песков // С. Н. Панарин, В. А. Арсентьев, Л. Ф. Биленко // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – №3(24). – С. 123–126.

7. *Пухаренко, Ю. В.* Структура и свойства наномодифицированных цементных систем / Ю. В. Пухаренко, И. У. Аубакирова, В. А. Никитин, В. Д. Староверов // Международный конгресс «Наука и инновации в строительстве «SIB-2008». Современные проблемы строительного материаловедения и технологии. – Воронеж, 2008. – Т.1, кн. 2. – С. 424–429.

8. *Хамидулина, Д. Д.* Отсевы дробления – эффективный способ повышения качества бетонов / Д. Д. Хамидулина, М. С. Гаркави, В. И. Якубов и др. // Строительные материалы. – 2006. – №11. – С.50–51.

9. *Пухаренко, Ю. В.* Наномодифицированный бетон на основе отходов камнедробления / Ю. В. Пухаренко, С. Н. Панарин, С. И. Веселова, И. У. Аубакирова, С. А. Черевко, В. Д. Староверов // Вестник гражданских инженеров. – 2011. – № 3(28). – С. 72–76.