

фосфорных отходов и отходов обработки мрамора / В. С. Фадеева, С. А. Садыкова, В. П. Варламов // Строительные материалы. – 1981. – № 6. – С. 21 – 22.

6. Пустотелый лицевой кирпич для сейсмических районов / Р. Ш. Валишев, Ф. И. Великанова, А. И. Ставчинский [и др.] // Строительные материалы. – 1981. – № 5. – С. 13.

7. Садыкова С. А. Улучшение свойств лессового кирпича / С. А. Садыкова // Строительные материалы. – 1980. – № 7. – С. 12.

8. Сайбулатов С. Ж. Ресурсосберегающая технология керамического кирпича на основе зол ТЭС / С. Ж. Сайбулатов – М. : Стройиздат, 1990. – 248 с.

9. Альперович И. А. Лицевой кирпич объемного окрашивания на основе карбонатной глины / И. А. Альперович, Н. Г. Перадзе // Промышленность керамических стеновых материалов и пористых заполнителей. – 1990. – Вып. 2. – С. 20 – 23.

10. Альперович И. А. Лицевой керамический кирпич – экологически чистый стеновой материал / И. А. Альперович // Строительные материалы. – 1994. – № 10. – С. 5 – 7.

11. Петухова Г. Н. Использование бокситовых шламов в производстве строительной керамики / Г. Н. Петухова // Промышленность строительных материалов. – 1988. – Вып. 5. – С. 11 – 13.

12. Абрахимов В. З. Влияние железосодержащего шлака на структуру пористости керамического кирпича / В. З. Абрахимов, Е. С. Абрахимова, В. П. Долгий // Известие вузов. Строительство. – 2006. – № 1. – С. 36 – 39.

13. Абрахимов В. З. Исследование фазового состава керамического кирпича ИК-спектроскопическим методом / В. З. Абрахимов, Е. С. Абрахимова // Изв. вузов. Строительство. – 2006. – № 5. – С. 41 – 44.

14. Абрахимов В. З. Термомеханические исследования керамического кирпича / В. З. Абрахимов, Е. С. Абрахимова // Известие Вузов. Строительство. 2006. – № 7. – С. 12 – 16.

15. Бутт Ю. М. Твердение вяжущих при повышенных температурах / Ю. М. Бутт, Л. И. Рашкович. – М. : Госстройиздат, 1961. – 232 с.

16. Горшков В. С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В. С. Горшков, В. В. Тимашев, В. Г. Савельев – М. : Высшая школа, 1981. – 333 с.

17. Горелик С. С. Рентгенографический и электроннооптический анализ / С. С. Горелик, Л. Н. Расторгуев, Ю. А. Скаков. – М. : Metallургия, 1970. – 150 с.

18. Вегман Е. Ф. Кристаллография, минералогия, петрография, рентгенография / Е. Ф. Вегман, Ю. Г. Руфанов, И. Н. Федорченко. – М. : Metallургия, 1990. – 262 с.

19. Joint Committee on Powder diffraction standards / A Pennsylvania Non-profit Corporation 1601. Park Lane. Swarthmore, Pa.19081. Printed in Philadelphia. – 1975.

20. Горшков В. С. Термография строительных материалов / В. С. Горшков – М. : Издательство литературы по строительству, 1968. – 237 с.

УДК 693.547.2

МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН

Н. А. Сторожук, д. т. н., проф., О. Н. Яременко, магистр

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, вакуумирование, вибровакуумирование, виброуплотнение, отсеvy гранитных карьеров, днепровский песок

Постановка проблемы. Природные запасы мелкого заполнителя исчерпываются. Поэтому возникает проблема использования для приготовления бетонов и строительных растворов альтернативных источников такого заполнителя. На наш взгляд, наиболее подходящим и перспективным является использование мелкозернистых отходов, получаемых при производстве щебня из плотных горных пород (гранита, сиенита, базальта и т. п.).

Бетоны на мелком заполнителе (мелкозернистые бетоны) характеризуются очень высокой водопотребностью, поэтому при формировании изделий их следует подвергать вакуумированию с целью удаления излишней воды затворения и, соответственно, повышения физико-механических свойств таких бетонов.

Анализ публикаций. Начало промышленного применения мелкозернистых бетонов датируется 20-ми годами прошлого столетия. В 1960 – 1970-х годах практиковалось активное применение мелкозернистых бетонов в строительстве. А именно: в тонкостенных

железобетонных и армоцементных конструкциях; в конструкциях, подвергаемых автоклавной обработке; в специальных изделиях и технологиях, в которых применение крупнозернистого бетона нерационально; для производства бетонополимеров, которые используются в тонкостенных конструкциях; для районов, где отсутствует крупный заполнитель требуемого качества; в сельскохозяйственном строительстве; в дорожном строительстве [1].

В 1962 г. Бухарский домостроительный комбинат (Узбекистан) перешел на формование всех изделий и конструкций крупнопанельных домов из песчаного бетона. В качестве заполнителя применяли крупнозернистый песок с модулем крупности $3,0 \dots 3,2$ [2].

На Северодонецком ДСК плиты перекрытий, панели внутренних стен и фундаментные блоки изготавливали из мелкозернистого автоклавного бетона [7].

В МИСИ им. Куйбышева (г. Москва) с 1967 г. изучались технология и свойства мелкозернистых бетонов с использованием песков с модулем крупности $M_{кр} = 1$. На их основе изготавливали следующие железобетонные изделия из мелкозернистого неавтоклавного бетона: шестиметровые пустотные преднапряженные плиты (ПК-60-12) и трехметровые пустотелые настилы (ПК-30-12) с обычным армированием [4].

Исследования по вакуумированию мелкозернистых бетонных смесей дали существенные положительные результаты по прочности при сжатии и изгибе. Особо следует отметить применение такого бетона в производстве объемных элементов и различного назначения плоских плит и панелей с немедленной распалубкой, в производстве изделий из бетона повышенной плотности (трубы, плиты дорожные и др.), а также при возведении монолитных конструкций [3; 5].

Опыт применения мелкозернистого бетона доказал достаточно высокую экономическую эффективность по сравнению с обычным тяжелым бетоном. Мелкозернистая бетонная смесь хорошо укладывается в опалубку или формы при различных способах уплотнения, изделия имеют хороший товарный вид, отличаются высокой точностью размеров [2]. Несмотря на то, что расход цемента в бетоне при отсутствии крупного заполнителя возрастает, был получен ряд положительных результатов: более высокое отношение прочности при изгибе к прочности при сжатии, повышенная призмная прочность, хорошая долговечность, малая водонепроницаемость, достаточная трещиностойкость [6].

Убедительно доказано, что вибровакуумирование – один из самых эффективных способов уплотнения мелкозернистых бетонов, который позволяет готовить смеси нужной консистенции для удовлетворительной укладки их в формы при виброформовании. Затем, в процессе вакуумирования, предоставляется возможность удалить излишнюю воду затворения. Установлено, что применение вибровакуумирования более эффективно для мелкозернистых смесей, чем для крупнозернистых [8].

Основной материал. Исследован зерновой состав отходов, получаемых при производстве щебня на Рыбальском карьере (г. Днепропетровск). Для сравнения определен и зерновой состав местного днепровского песка (рис. 1).

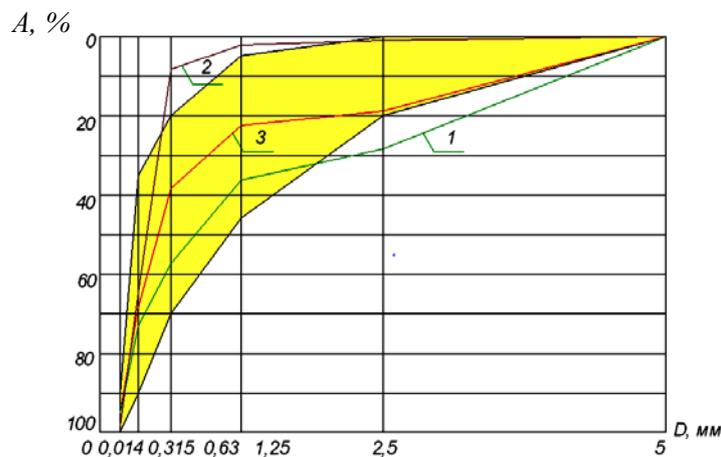


Рис. 1. Зерновой состав заполнителей: 1 – отсевов гранитного карьера; 2 – днепровского песка; 3 – смеси днепровского песка и отсевов гранитного карьера

Как отсева гранитного карьера, так и днепровский песок по зерновому составу не вписываются в область стандартных песков. При этом кривая, характеризующая зерновой

состав днепровского песка, находится выше стандартной кривой, характеризующей допустимые мелкие пески. А кривая, характеризующая зерновой состав отсевов, находится ниже стандартной кривой, характеризующей крупные пески. Модуль крупности днепровского песка составил $M_{кр} = 1,74$, а отсевов – $M_{кр} = 2,9$. Такие результаты исследований послужили основанием для получения на основе отсевов гранитного карьера и днепровского песка рационального по зерновому составу мелкого заполнителя. В результате выполненных исследований установлено, что такая смесь характеризуется соотношением между отсевом и песком как 1 : 0,5 (О : П), т. е. к отсеvu необходимо добавить 33 % (одну треть) днепровского песка. Полученная смесь заполнителя по зерновому составу хорошо вписывается в область стандартного мелкого заполнителя (рис. 1).

На следующем этапе, используя стандартную методику [3], определили водопотребность всех рассматриваемых заполнителей (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика мелких заполнителей и прочность бетонов на их основе

Вид мелкого заполнителя	Насыпная плотность, кг/м ³	Истинная плотность, кг/м ³	Пористость, %	Модуль крупности	Водо-потребность, %	Прочность бетонов состава (Ц : З), (МПа)	
						1 : 3	1 : 4
Песок днепровский	1570	2650	40,75	1,74	9,5	15,2	10
Отсевы Рыбальского гранитного карьера	1480	2600	43,07	2,9	12,5	28	19,6
Смесь отсевов и песка	1555	2620	40,06	2,45	12,5	25,7	19

Как видно из приведенных данных, отсеvy гранитных карьеров и рациональная смесь отсевов с днепровским песком обладают более высокой водопотребностью, чем днепровский песок. Это объясняется окатанной формой зерен днепровского природного песка, тогда как частицы отсевов и смеси имеют очень шероховатую, угловатую форму. Установлено, что смесь отсевов гранитных карьеров и днепровского песка имеет модуль крупности $M_{кр} = 2,45$.

В исследованиях при определении прочностных характеристик мелкозернистых бетонов использовали портландцемент М400 (по паспорту), имеющий фактическую активность на момент его применения для приготовления бетонных смесей $R_n = 306$ кгс/см² (30,6 МПа). Подвижность мелкозернистой бетонной смеси характеризовалась распылом конуса на встряхивающем столике 120...122 мм. Формовали образцы 7 × 7 × 7 см вибрационным способом, все отформованные образцы твердели в нормальных условиях 28 суток. Результаты определения предела прочности при сжатии приведены в той же таблице 1. Полученные данные свидетельствуют, что как для составов 1 : 3 (цемент : заполнитель), так для составов 1 : 4 образцы-кубы на отсевах и на смеси отсевов и песка показали прочность в 2 раза большую, чем у образцов на днепровском песке. Следует особо отметить, что образцы на отсевах стабильно показывают наибольшую прочность в сравнении с другими составами. Немного меньшую прочность имеют образцы на смеси отсевов и днепровского песка. Следует еще раз особо отметить, что днепровский песок обладает водопотребностью 9,5 %, а отсеvy гранитных карьеров и рациональная смесь – по 12,5 %. Это свидетельствует о высокой водопотребности мелкозернистых бетонов на перечисленных заполнителях. Поэтому такие смеси следует уплотнять вибровакuumированием. Вакуумирование должно быть применено на качественно новом уровне. При этом учтено следующее.

Вакуумирование как дополнительная операция всегда окупит себя и даст значительный эффект, если наряду с положительными свойствами вакуумбетона (повышение плотности, прочности, морозостойкости, водонепроницаемости, снижение усадочных деформаций и водопоглощения и др.) рационально использовать и некоторые специфические особенности вакуумбетона и технические возможности технологии, такие как:

- высокая структурная прочность свежееуплотненного вакуумбетона (до 0,2...0,5 МПа) и возможность немедленной распалубки, извлечение вкладышей и т. п.;

- возможность извлечения из формы, транспортирования и штабелирования свежесформованных изделий при помощи вакуумщитов (используя эффект вакуумприсоса);
- интенсивное твердение вакуумбетона в начальные сроки.

Эти возможности вакуумной обработки могут быть рационально использованы в случае применения соответствующего оборудования и современной технологии [8].

В дальнейших исследованиях, с целью уменьшения влияния масштабного фактора формовали вибровакуумированием и для сравнения вибрационным способом образцы $15 \times 15 \times 7$ см из мелкозернистых бетонных смесей составов 1 : 3 (цемент:заполнитель) и 1 : 4.



Рис. 2. Вибровакуумустановка

Подвижность бетонных смесей характеризовалась осадкой нормального конуса ОК = 3...4 см. Перед вакуумированием образцы виброуплотняли 20 с, а продолжительность вакуумирования составляла 6 мин (рис. 2). Продолжительность виброуплотнения при формовании образцов вибрационным способом составляла 30 с. Результаты определения плотности и прочности мелкозернистых бетонов на различных заполнителях приведены в таблице 2.

Таблица 2

Плотность и прочность бетонов

Вид заполни- теля	В/Ц бетона		Плотность (кг/м ³)		Прочность, (МПа)	
	Вибрирован- ного	Вибро- вакуумиро- ванного	Вибрирован- ного	Вибро- вакуумиро- ванного	Вибрирован- ного	Вибро- вакуумирован- ного
Состав 1 : 3						
Песок	0,54	0,34	2041	2165	15,2	20,9
Отсев	0,57	0,45	2107	2193	26,3	33,8
Смесь	0,52	0,37	2195	2220	25,1	32,0
Состав 1 : 4						
Песок	0,54	0,43	2018	1987	9,3	17,1
Отсев	0,57	0,47	2054	2142	18,2	27,4
Смесь	0,52	0,46	2131	2166	17,2	26,5

Виброуплотненные бетоны на отсевах гранитных карьеров и особенно на смеси отсевов с днепровским песком имеют плотность значительно большую, чем бетоны на днепровском песке. Это свидетельствует о лучшей степени уплотнения бетонов, в которых заполнителями являются отсевы гранитных карьеров.

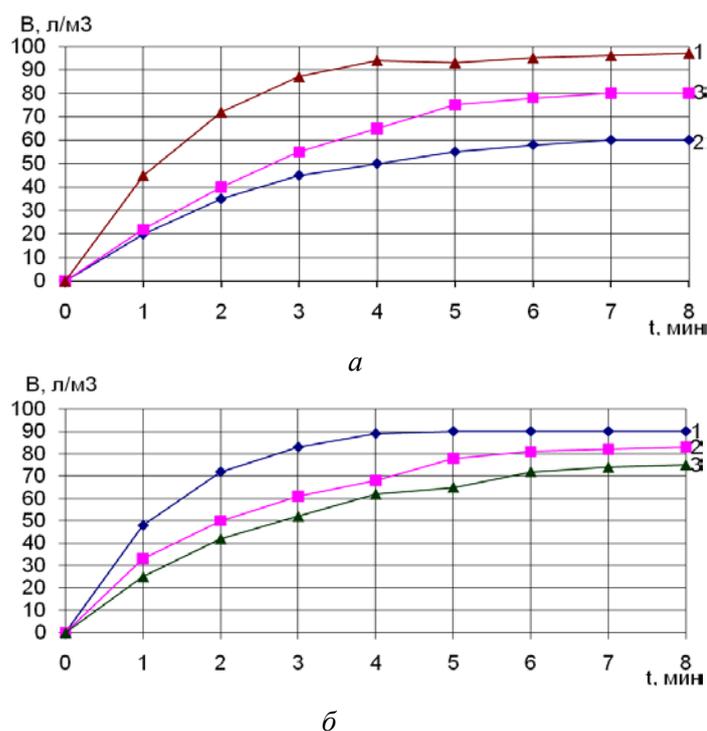


Рис. 3. Количество извлеченной воды в зависимости от продолжительности вакуумирования бетонов: а – мелкозернистые бетоны состава 1 : 3; б – то же состава 1 : 4 : 1 – мелкозернистый бетон на днепровском песке; 2 – то же на отсевах гранитного карьера; 3 – то же на смеси отсевов гранитного карьера и днепровского песка

Вибровакуумная обработка всех видов бетонных смесей позволяет существенно повысить прочность бетонов, особенно это касается бетонов на отсевах. При составе бетона 1 : 3 прочность увеличилась до 33,8 МПа, а при составе 1 : 4 – до 27,4 МПа. Если учесть, что активность цемента 30,6 МПа, то, по нашему мнению, это существенные показатели по прочности для мелкозернистых бетонов (с умеренным расходом цемента).

Существенным показателем уплотнения мелкозернистых смесей вибровакуумированием является количество удаленной излишней воды затворения под действием вакуума. На рисунке 3 приведены такие результаты исследований по количеству извлеченной воды. Как и следовало ожидать, наибольшее количество извлеченной воды получено при вакуумной обработке мелкозернистых смесей на днепровском песке, несмотря на то, что такие пески характеризуются меньшей водопотребностью в сравнении с отсевами гранитных карьеров.

При вибровакуумировании бетонных смесей на днепровском песке удалено 90...95 л/м³ воды затворения, а из бетонов на отсевах – только 60...80 л/м³. Это еще раз подтверждает очень большую водоудерживающую способность отсевов как заполнителей для бетонов и целесообразность уплотнения таких бетонов вибровакуумированием. Таким образом, при высокой водоудерживающей способности бетоны на отсевах имеют значительно большую прочность в сравнении с бетонами на днепровском песке.

Выводы. Отсевы гранитных карьеров по модулю крупности и зерновому составу относятся к крупнозернистым пескам. Но водопотребность их является намного большей, чем водопотребность днепровского (мелкого) песка.

Прочность при сжатии виброуплотненных бетонов на отсевах является практически в два раза больше, чем у бетонов на днепровском песке. Вибровакуумирование уложенных в форму бетонных смесей позволяет повысить прочность всех видов исследуемых бетонов на 60...100 %. Это открывает широкие возможности использования вибровакуумированных мелкозернистых бетонов в строительстве.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Баженов Ю. М.** Высокопрочный мелкозернистый бетон для армоцементных конструкций / Ю. М. Баженов. – М. : Госстройиздат, 1963. – 128 с.

2. **Баженов Ю. М.** Опыт применения песчаного бетона в жилищном строительстве / Ю. М. Баженов, Е. С. Темкин, А. Б. Кузанов, В. Т. Филипский // Бетон и железобетон. – М., 1973. – № 5. – С. 3 – 4.
3. **Баженов Ю. М.** Технология бетона / Ю. М. Баженов. – М. : Высшая школа, 1978. – 455 с.
4. Железобетонные изделия из мелкозернистого неавтоклавного бетона / В. Н. Байков, А. В. Волженский, И. А. Трифонов [и др.] // Бетон и железобетон. – М., 1973. – № 5. – С. 6 – 8.
5. **Веригин Ю. А.** Турбулентная активация вяжущих цементно-песчаного бетона / Ю. А. Веригин, Н. С. Преображенский // Бетон и железобетон. – М., 1973. – № 5. – С. 19.
6. **Воробьев Ю. А.** Товарный мелкозернистый бетон на обогащенном песке / Ю. А. Воробьев, Д. С. Симоненко // Бетон и железобетон. – М., 1973. – № 5. – С. 19 – 20.
7. Опыт применения мелкозернистых автоклавных бетонов / И. М. Красный, В. М. Медведев, Г. И. Уचाкин [и др.] // Бетон и железобетон. – М., 1973. – № 5. – С. 4 – 6.
8. **Сторожук Н. А.** Вибровакуумирование бетонных смесей и свойства вакуумбетона / Н. А. Сторожук. – Д. : Пороги, 2008. – 251 с.

УДК 666.941.2

ИНСТРУМЕНТАРИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

*В. Н. Деревянко, д. т. н., проф., А. П. Полтавцев, к. т. н., доц., А. А. Максименко, асп.,
Т. В. Мартыненко, Н. В. Кондратьева*, к. т. н., доц.*

**Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный
химико-технологический университет»*

Ключевые слова: *магнезиальное вяжущее, свойства, методы исследований, приборы*

Введение. Эффективность проведения экспериментальных исследований во многом зависит от применяемых методов и аппаратного оснащения. В каждом конкретном случае исследователи, исходя из поставленных задач, разрабатывают методологию, подбирают методы проведения экспериментов, приборы и оборудование. Для экспериментальных исследований основными требованиями являются достаточная точность и повторяемость. Задача облегчается при наличии нормативных документов. Отсутствие таковых требует подбора или разработки методик, оборудования и установок, и, соответственно, обоснования для их применения.

Технические условия, действующего в настоящее время ГОСТ 1216-87 «Порошки магнезиальные каустические» (ПМК-75), рекомендуют использовать в качестве вяжущего строительного назначения отход огнеупорной промышленности – пыль с электрофильтров, печей производства периклаза. Но необходимых, на наш взгляд, требований, гарантирующих его строительно-технические свойства, не содержит.

Анализ публикаций. Известный специалист Л. Я. Крамар в работе [9] рассматривает требования, предъявляемые разными сторонами к специально выпускаемым для строительных целей магнезиальным вяжущим. Сводные данные характеристик магнезиального вяжущего строительного назначения включают: существовавший в СССР до 1960-х годов норматив ОСТ 3035-33, германский DIN 273 ч. 1, норматив США ASTM 323 и действующий в России ГОСТ 1216-87.

Материалы и методы. Так, регламентируемый химический состав вяжущего в соответствии с ГОСТ 1216-87 включает содержание MgO, CaO, SiO₂ и изменение массы при прокаливании должен представлять информацию о полезной и вредной части вяжущего. При этом, если говорить о полезной составляющей MgO, то в нормативе отображено только общее содержание оксида магния, определяемое химическим методом. Хотя эта характеристика может включать свободный MgO, а также связанный с угольной кислотой (MgCO₃) и с водой – Mg(OH)₂. Кроме того, MgO может быть разной степени закристаллизованности: слабо закристаллизованным, почти аморфным и высокоактивным, средне закристаллизованным и, соответственно, среднеактивным, а также в виде обожженного периклаза, так называемого пережога, представляющего хорошо закристаллизованный слабоактивный материал [3; 8]. Следовательно, эта часть ГОСТа должна уточнять, в каком виде в вяжущем присутствует MgO, определять его основные технические свойства, качество и долговечность получаемых материалов.