

УДК 693.547.2

**ВИБРОУПЛОТНЕННЫЕ И ВИБРОВАКУУМИРОВАННЫЕ  
МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ НА ОБОГАЩЕННОМ  
ЗАПОЛНИТЕЛЕ**

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

*ГВУЗ "Приднепровская государственная академия строительства и  
архитектуры", г. Днепропетровск*

**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.

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 свежесформованного 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].

**Анализ публикаций.** Начало промышленного применения мелкозернистых бетонов датируется 20-ми годами прошлого столетия.

В 60-х - 70-х годах практиковалось активное применение мелкозернистых бетонов в строительстве:

- 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. Бухаровский 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...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 дало 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, было получено ряд положительных результатов: более высокое отношение прочности при изгибе к прочности при сжатии, повышенная призмная прочность, хорошая долговечность, малая водонепроницаемость, достаточная трещиностойкость [6].

**Основной материал.** В исследованиях использовали следующие материалы:

- отсеви, получаемые при производстве щебня на Рыбальском гранитном карьере (г. Днепропетровск);

- песок днепровский (г. Днепропетровск);

- портландцемент М400 (г. Кривой Рог), активность цемента на момент его использования в исследованиях  $R_{ц} = 306 \text{ кгс/см}^2$  (30,6 МПа).

Основные характеристики применяемых в исследованиях заполнителей приведены в таблице.

Таблица 1

*Зерновой состав мелкозернистых заполнителей*

Расход песка, %	Полные остатки на ситах					Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Модуль крупности (M <sub>кр</sub> )
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16		
0	28,5	36,25	57,5	73,25	95,75	1480	2,9
10	27,5	37,0	55,5	75,5	91,5	1490	2,87
15	25,0	35,0	51,5	71,0	91,5	1560	2,74
30	25,0	33,5	49,0	72,5	94,0	1560	2,74
100	1	2,25	8,25	64,75	98,5	1570	1,74
Требования Стандарта	0...20	5...45	20...70	50...80	85...100		

Исследования выполнены с использованием мелкозернистых бетонов составов 1:3 и 1:4 (цемент : заполнитель). Подвижность бетонных смесей характеризовалась расплывом конуса на встряхивающем столике 120...122 мм. С целью уменьшения влияния масштабного фактора на показатели прочностных характеристик формовали образцы 15x15x7 см как вибрационным способом так и вибровакуумированием.

Исследования выполнены в два этапа. Вначале рассмотрены виброуплотненные бетоны. Сравнивая результаты испытания этих бетонов (рис. 1) на отсевах гранитных карьеров и днепровском песке, установлено, что прочность бетонов на отсевах является значительно большей в сравнении с прочностью бетонов на днепровском песке. Так для бетона на отсевах состава 1 : 3 она составила 26 МПа, а на песке 16 МПа. Кроме этого исследованиями установлен рациональный состав мелкозернистого заполнителя из смеси гранитных отсевов и днепровского песка. Установлено, что для состава 1 : 3 рациональное содержание песка в смеси заполнителей должно быть 10%, а для состава 1 : 4 - 15...20%. На таком заполнителе достигнуто наибольшее увеличение прочности - 29 МПа (для состава 1 : 3).

Во всех случаях исследований достигнуто существенное увеличение плотности для бетонов на обогащенном заполнителе – так, например, она увеличилась для состава 1 : 3 с 2070 до 2180 кг/м<sup>3</sup>.

Важнейшим недостатком виброуплотненных мелкозернистых бетонов является их высокая водопотребность (рис. 2). Поэтому предложено такие бетоны подвергать после предварительного виброуплотнения вакуумированию.

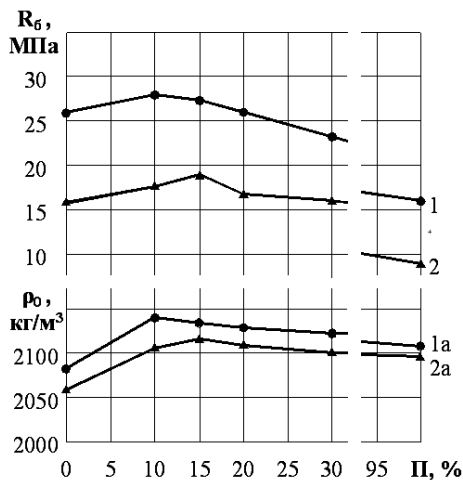


Рис. 1. Прочность и плотность виброуплотненных бетонов в зависимости от содержания песка в обогащенной смеси: 1 - бетон состава 1 : 3; 2 - то же состава 1 : 4; 1а, 2а - соответственно плотности бетонов

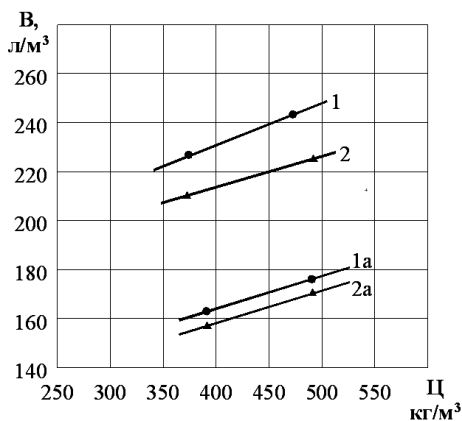


Рис. 2. Водопотребность виброуплотненного и вибровакуумированного бетонов в зависимости от расхода цемента: 1 - виброуплотненного бетона на отсевах гранитного карьера; 2 - то же на обогащенных отсевах; 1а - вибровакуумированного бетона на отсевах; 2а - то же на обогащенных отсевах

В исследованиях продолжительность вакуумной обработки при разрежении 0,7...0,75 (полный вакуум принят за единицу) составляла 6...8 мин до прекращения извлечения воды затворения. Результаты исследований приведены на рис. 3. Вибровакуумирование позволяет увеличить прочность бетона до 34 МПа для состава 1 : 3, а для состава 1 : 4 до 28 МПа. Такие высокие показатели достигнуты за счет оптимизации состава заполнителей и надлежащего уплотнения мелкозернистой смеси вибровакуумированием с одновременным удалением 80...100 л/м<sup>3</sup> излишней воды затворения (рис. 4) и получить бетоны с содержанием воды (150...160 л/м<sup>3</sup>), соответствующим сверхжестким бетонным смесям, что в итоге сказывается на высокой плотности и прочности вакуумированных бетонов (рис. 2 и 3).

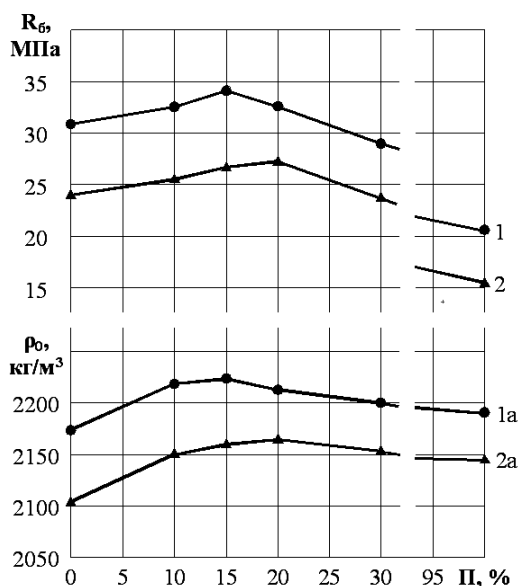


Рис. 3. Прочность и плотность вибровакуумированных бетонов в зависимости от содержания песка в обогащенной смеси: 1 - бетон состава 1 : 3, 2 - то же состава 1 : 4; 1а, 2а - соответственно плотности бетонов

На рис. 5 показана зависимость прочности виброуплотненного и вибровакуумированного бетонов от расхода цемента. Рисунок наглядно показывает преимущества вакуумной обработки мелкозернистых бетонов. Вибровакуумирование увеличивает прочность бетона при одном и том же расходе цемента на 10...12 МПа в сравнении с виброуплотненным. А при

получении равнопрочных бетонов предоставляется возможность получить экономно цемента 120...140 кг/м<sup>3</sup>.

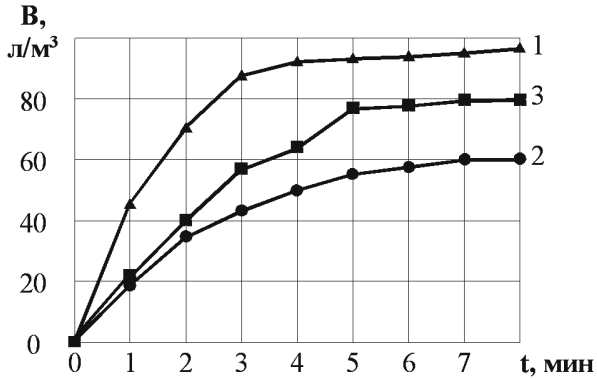


Рис. 4. Количество извлеченной воды в зависимости от продолжительности вакуумирования бетонов: 1 - мелкозернистый бетон на днепровском песке; 2 - то же на отсевах гранитного карьера; 3 - то же на смеси отсевов гранитного карьера и днепровского песка

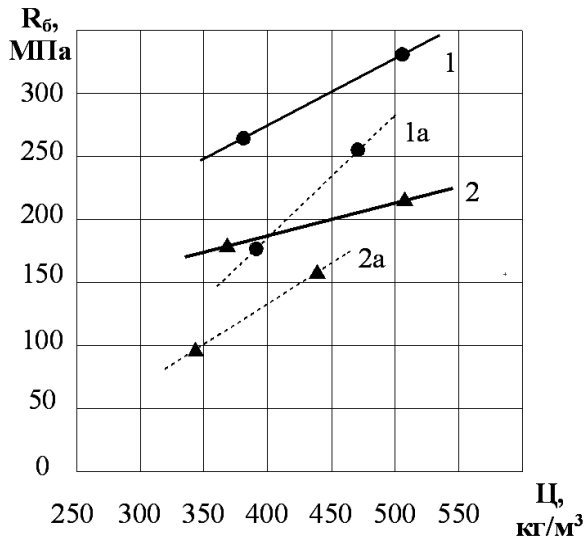


Рис. 5. Прочность вибровакуумированного и виброуплотненного бетонов в зависимости от расхода цемента: 1 - вакуумированный бетон состава 1 : 3; 2 - тоже состава 1 : 4; 1а, 2а - соответственно виброуплотненные бетоны

**Выводы.** Прочность при сжатии виброуплотненных бетонов на отсевах гранитных карьеров является практически в 2 раза больше, чем у бетонов на днепровском песке. Предложен состав заполнителя для мелкозернистых бетонов на основе отсевов гранитного карьера и днепровского песка. Показано, что рациональный состав заполнителя зависит от расхода цемента.

Вибровакуумирование увеличивает прочность мелкозернистого бетона на 10...12 МПа в сравнении с виброуплотненным при одном и том же расходе цемента. При получении равнопрочных бетонов предоставляется возможность получить экономию цемента 120...140 кг/м<sup>3</sup>.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов Ю. М. Высокопрочный мелкозернистый бетон для армоцементных конструкций / Юрий Михайлович 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 / Юрий Михайлович 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 / Николай Андреевич Сторожук. – Днепропетровск: Пороги, 2008. – 251 с.