

2. Дорфман А.Э. Испытание фрагмента безбалочного бескапитального перекрытия во Владивостоке / А.Э. Дорфман, Л.Н. Левонтин, Б.В. Сендеров, М.Г. Шустерман // Сб. трудов ЦНИИЭП. – №3. – М.: Стройиздат, 1970. – С.36-38.

3. Дорфман А.Э. Проектирование безбалочных бескапитальных перекрытий / А.Э. Дорфман, Л.Н. Левонтин. – М.: Стройиздат, 1975. – 124 с.

4. Вахненко П.Ф. Залізобетонні конструкції / П.Ф. Вахненко, А.М. Павліков, О.В. Горик, В.П. Вахненко; за ред. П.Ф. Вахненка. – К.: Вища шк., 1999. – 508 с.

5. Серия КУБ-2,5. Унифицированная система сборно-монолитного безригельного каркаса. Выпуск 1-1. Основные положения по расчету, монтажу и компоновке зданий. – М., 1990. – 54 с.

6. Серия КУБ-2,5. Унифицированная система сборно-монолитного безригельного каркаса. Выпуск 2-1. Панели перекрытий, диафрагмы. – М., 1990. – 28 с.

7. Яров В.А. Экспериментальные исследования узлов сопряжения плиты перекрытия с колонной в безбалочных каркасах монолитных зданий / В.А. Яров, А.А. Коянкин // Бетон и железобетон в Украине. – 2010. – № 1. – С.28-30.

8. Дорошкевич Л.О. Міцність з'єднань плита-колона у монолітних залізобетонних безбалочних безкапітальних перекриттях / Л.О. Дорошкевич, С.Б. Максимович, Б.Г. Демчина, Б.Ю. Максимович // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – Львів, 2010. – № 664. – С.16-25.

9. Павліков А.М. Конструювання та розрахунок плит збірно-монолітних конструктивних систем житлових будівель / А.М. Павліков, С.С. Жарий // Зб. наук. пр. (галузеве машинобудування, будівництво) Полтавського нац. техн. ун-ту ім. Юрія Кондратюка. Вип. 24. – Полтава, 2009. – С.8-13.

10. Мордич А.И. Опыт практического применения и основные результаты натурных испытаний сборно-монолитного каркаса БелНИИС / А.И. Мордич, В.Н. Белевич, В.Н. Симбиркин, Д.И. Навой // Бюллетень строительной техники. – М., 2004. – №8. – С.8-12.

11. Яров В.А. Экспериментальные исследования узлов сопряжения плиты перекрытия с колонной в безбалочных каркасах монолитных зданий / В.А. Яров, А.А. Коянкин // Бетон и железобетон в Украине. – 2010. – №1. – С.28-30.

12. Селютина Л.Ф. Исследование вариантов конечно-элементной дискретизации монолитных ребристых перекрытий с балочными плитами / Л.Ф. Селютина, М.С. Тяпков // Бетон и железобетон в Украине. – 2010. – №1. – С.31-33.

13. ДСТУ Б В.2.6-7-95. Вироби будівельні бетонні та залізобетонні збірні. Методи випробувань навантаженням. Правила оцінки міцності, жорсткості та тріщиностійкості. – К., 1995.

*Отримано 27.04.2012*

УДК 666.9.022.3

С.И. ФЕДОРКИН, д-р техн. наук, Е.С. МАКАРОВА, канд. техн. наук,  
И.И. ЕЛЬКИНА

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства, г.Симферополь*

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ ПУТЕМ МОДИФИКАЦИИ ЦЕМЕНТА МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫМИ МАЛЫМИ ЧАСТИЦАМИ**

Исследована возможность увеличения прочности цементного камня путем модификации цемента. Изучены свойства образцов и проведена статистическая обработка экспериментальных результатов. Разработана технологическая схема производства бетонных изделий с использованием модификации цемента активированными малыми частицами.

Досліджено можливість збільшення міцності цементного каменю шляхом модифікації цементу. Вивчено властивості зразків і проведена статистична обробка експериментальних результатів. Розроблено технологічну схему виробництва бетонних виробів з використанням модифікації цементу активованими малими частками.

The possibility of increase strength cement by modification of the cement. The properties of the samples and performed the statistical analysis of the experimental results. The technological scheme production of concrete products using a modification cement activated by small particles.

*Ключевые слова:* цементный камень, модификация, механоактивация, малые частицы, шлакопортландцемент, суспензия, технология производства.

Повышение прочности цементного камня при изготовлении бетонов различного назначения является актуальной задачей, решение которой позволяет существенно снизить расход вяжущего в бетоне или повысить прочность цемента. Уменьшение расхода такого дорогого и энергоемкого компонента, как цемент, в многотоннажном производстве бетонов дает возможность снизить стоимость изделий и повысить конкурентоспособность отрасли строительной индустрии.

Одним из наиболее простых способов повышения активности цемента и, соответственно, прочности цементного камня в бетоне является увеличение тонкости помола цемента. Существуют различные способы диспергирования цемента: помол в мельницах различных типов, кавитационная обработка в ультразвуковых и другого типа кавитаторах, высокоимпульсная электроразрядная обработка и т.п. [1].

Однако, до настоящего времени, в строительной индустрии эти методы активации и диспергирования не нашли широкого применения, несмотря на некоторые положительные результаты опытно-промышленных испытаний. Это связано, прежде всего, с повышением энергоемкости и усложнением технологии производства.

В последние годы значительный интерес проявляется к исследованиям особого класса материалов – ультрадисперсных сред, представляющих собой макроскопические ансамбли частиц, размеры которых лежат в области от 1 до 100 нм (0,001-0,1 мкм), так называемых наночастиц. Совокупность имеющейся обширной информации об уникальных свойствах ультрадисперсных сред и об их качественно новых практических приложениях позволяют считать, что перевод материала в ультрадисперсное состояние представляет собой столь же эффективное направление в материаловедении, как различного вида термообработка и легирование [2-4].

Изучая свойства малых обломочных частиц и их энергетическое состояние, авторы работы [3] сделали вывод о том, что энергия механической активации затрачивается на создание особого агрегатного со-

стояния твердых тел – ультрадисперсной фазы обломочных малых частиц.

Существенный вклад малых частиц во внутреннюю энергию измельчаемых веществ свидетельствует о возможности получения механоактивированных систем путем перемешивания обычных порошков и порошков из активированных малых частиц. Это предположение подтверждено нами при получении материалов на основе известняковых отходов камнепиления и силикат-натриевой связки [5].

В настоящей статье приведены результаты исследований, целью которых являлось повышение прочности цементного камня за счет модификации цемента механоактивированными малыми частицами.

Исследования проводились на шлакопортландцементе М400 Бахчисарайского цементного завода и портландцементе М500 Краматорского цементного завода. Активацию и диспергирование цемента производили в водной среде с использованием ультразвукового аппарата УЗАП-2,5/22-ОП, предназначенного для проточной обработки суспензий. Интенсивность ультразвукового воздействия составляла 25 Вт/см<sup>2</sup>.

Эксперимент проводили следующим образом: из указанных выше цемента готовили пробы по 1 кг каждая. От каждой пробы отбирали часть цемента 10, 20 и 30% по массе для приготовления суспензий. Объем воды суспензий выбирали таким образом, чтобы при смешивании обработанной ультразвуком суспензии с сухим остатком цемента. В/Ц раствора было равно 0,5. Из полученного раствора формовали образцы-кубики размером 2×2 см, которые выдерживали 28 суток во влажных условиях, затем определяли их предел прочности при сжатии по стандартной методике.

Результаты исследований свидетельствуют о монотонном росте прочности цементного камня при увеличении количества активированного цемента в растворе.

Результаты исследований приведены на рис.1.

При увеличении содержания активированного цемента в растворе до 30% прочность цементного камня возрастает на 41% для шлакопортландцементе М400 Бахчисарайского цементного завода и на 38% для портландцементе М500 Краматорского цементного завода.

Ограничение количества цемента в суспензии 30 процентами связано с седиментацией цемента в суспензии.

Ультразвуковое воздействие вызывает в обрабатываемой суспензии кавитацию, которая приводит к диспергированию минералов в водной среде с получением минеральных взвесей коллоидной или близкой к ней дисперсности, т.е. малых частиц наноразмеров, которые являются центрами кристаллизации при формировании структуры цементного камня.

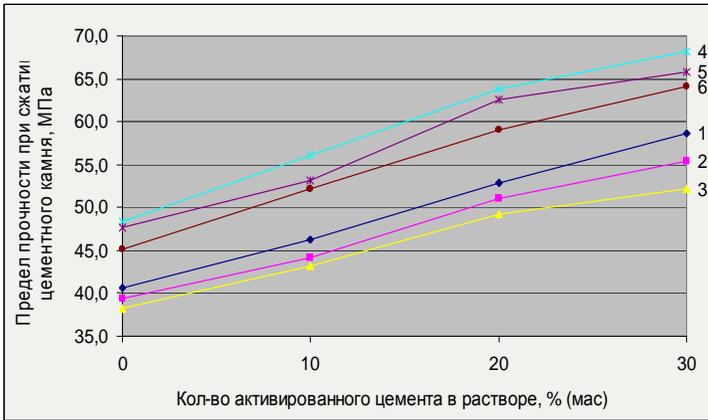


Рис.1 – Влияние количества активированного цемента в растворе на прочность:

1,2,3 – для шлакопортландцемента М400 Бахчисарайского цементного завода с В/Ц 0,45; 0,5 и 0,55 соответственно; 4,5,6 – для портландцемента М500 Краматорского цементного завода с В/Ц 0,45; 0,5 и 0,55 соответственно

Для изучения одновременного влияния количества активированного цемента и В/Ц в формовочной смеси на физико-механические свойства образцов был принят рототабельный центральный композиционный план (РЦКП) [6, 7].

Рототабельные планы позволяют получать уравнения регрессии, предсказывающие значения выходной величины объекта с одинаковой точностью во всех направлениях на одинаковом расстоянии от центра плана. Рототабельные планы оптимальны и в том смысле, что они позволяют минимизировать систематические ошибки, связанные с неадекватностью представления результатов исследования.

При РЦКП точки плана располагаются на трех сферах: центральные точки (сфера нулевого радиуса), точки куба и «звездные точки». При количестве опытов  $n = 3$  общее число точек рототабельного плана  $N = 13$ , значение радиуса «звездных точек»  $\alpha = 1,141$  [8, 9].

Стандартная методика обработки рототабельного плана позволила вывести уравнения регрессии, описывающие аналитическую функцию изменения физико-механических свойств от исследуемых факторов.

Исходные данные для статистической обработки результатов исследований и план эксперимента приведены ниже в таблице.

Алгебраический полином второго порядка, описывающий зависимость прочности от В/Ц ( $X_1$ ) и количества портландцемента в формовочной смеси ( $X_2$ ), имеет вид:

$$Y_1 = 61,26 - 1,841X_1 + 6,183X_2 - 0,564X_1^2 - 0,862X_2^2.$$

Исходные данные								
Наименование фактора	Ед. изм.	Код	Уровни варьирования					Интервал варьиров.
			-1,141	-1	0	1	1,141	
В/Ц		X1	0,443	0,45	0,5	0,55	0,557	0,05
Активированный цемент	%	X2	8,59	10	20	30	31,41	10
Количество опытов								3
Количество опытов								2
Количество точек								13

Группы точек	№ точки	Матрица планирования			Квадраты переменных		Взаимодействие X1X2	Экспериментальные данные				S <sup>2</sup> y
		X0	X1	X2	X1 <sup>2</sup>	X2 <sup>2</sup>		Yi1	Yi2	Yi3	Yu	
Nф	1	1	1	1	1	1	1	63,20	63,80	64,60	63,87	0,22
	2	1	-1	1	1	1	-1	68,20	66,25	67,00	67,15	0,96
	3	1	1	-1	1	1	1	-1	50,80	51,60	52,02	51,47
Na	4	1	-1	-1	1	1	1	55,80	54,60	55,02	55,14	0,36
	5	1	1,141	0	1,302	0	0	56,20	59,20	58,30	57,90	2,29
	6	1	-1,141	0	1,302	0	0	62,10	63,80	61,50	62,47	0,96
No	7	1	0	1,141	0	1,302	0	66,20	65,00	68,20	66,47	1,11
	8	1	0	-1,141	0	1,302	0	53,10	51,30	51,80	52,07	0,83
	9	1	0	0	0	0	0	62,50	60,24	64,50	62,41	2,37
No	10	1	0	0	0	0	0	60,26	62,20	63,20	61,89	1,37
	11	1	0	0	0	0	0	62,30	63,50	61,25	62,35	0,66
	12	1	0	0	0	0	0	60,10	63,20	61,10	61,47	2,44
	13	1	0	0	0	0	0	63,25	63,20	60,50	62,32	0,83

Представленное уравнение регрессии позволяет количественно оценить влияние варьирования каждого из изучаемых технологических факторов (В/Ц и количества активированного портландцемента в формочной смеси) на прочность образцов.

Анализ уравнения регрессии свидетельствуют о положительном влиянии роста содержания активированного портландцемента в формочной смеси на увеличение прочности образцов.

Таким образом, экспериментально подтверждена возможность модификации цемента механоактивированными в суспензии малыми частицами.

На основании полученных результатов разработана технология производства бетонных изделий, представленная на рис.2.

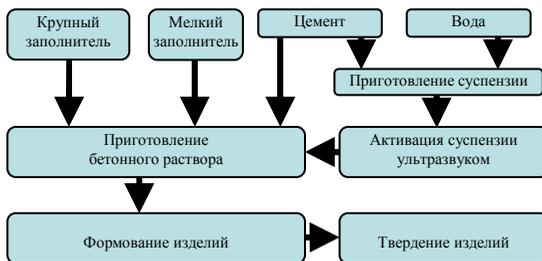


Рис.2 – Технологическая схема производства бетонных изделий с использованием модификации цемента активированными малыми частицами

Учитывая небольшой объем активируемого цемента (20-30%), данная технология может быть легко реализована путем установки в технологическую линию ультразвукового аппарата проточной обработки суспензий.

*Выводы*

1. Исследована возможность увеличения прочности цементного камня на 40% путем модификации цемента механоактивированными малыми частицами, полученными ультразвуковой обработкой 20-30% цемента в суспензии.
2. С помощью ротatableльного центрального композиционного плана проведена статическая обработка экспериментальных результатов и получено уравнение регрессии зависимости прочности образцов от В/Ц и содержания активированного портландцемента в формовочной смеси.
3. Разработана технологическая схема производства бетонных изделий с использованием модификации цемента активированными малыми частицами. Суть технологии состоит в отборе 20-30% цемента, приготовлении и активации ультразвуком суспензии, смешивании активированной суспензии с остальной частью цемента и заполнителями, формовании и твердении изделий.

1. Файнер М.Ш. Теоретические и экспериментальные основы разрядно-импульсной технологии бетона / М.Ш. Файнер. – К.: УкрИНТИ, 1993. – 81 с.

2. Владимиров П.С. Роль малых частиц при технологической переработке минерального сырья / П.С. Владимиров, Г.И. Доливо-Добровольский. – Львов: 1986. – С.166-172. – (Записи Всесоюзного Минералогического общества. Вып.2).

3. Процессы самоорганизации в системах обломочных малых частиц / В.И. Ревнивец, П.С. Владимиров, Г.И. Доливо-Добровольский, О.Н. Тихонов. – 1990. – (Неорганические материалы). Т.26. – 1990. – С.1086-1091.

4. Морохов И.Д. Физические явления в ультрадисперсных средах / И.Д. Морохов, Л.И. Трусов, В.Н. Лапова. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 224 с.

5. Федоркин С.И. Механоактивация вторичного сырья в производстве строительных материалов / С.И. Федоркин. – Симферополь: Таврия, 1997. – 180 с.

6. Вознесенский В.А. Экспериментально-статистическое моделирование и оптимизация в материаловедении / В.А. Вознесенский. – К., 1993. – 16 с.

7. Ермаков С.М. Математическая теория оптимального эксперимента / С.М. Ермаков, А.А. Жиглявский. – М.: Наука, 1987. – 318 с.

8. Налимов В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 340 с.

9. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей / В.З. Бродский, Л.И. Бродский, Т.И. Голикова, Е.П. Никитина, Л.А. Панченко. – М.: Металлургия, 1982. – 752 с.

*Получено 27.04.2012*