

В.А. БАЛАЯН, С.А. КРОЯН, А.В. БАЛАЯН

**ВЛИЯНИЕ МЕХАНОАКТИВАЦИИ ЦЕМЕНТА И
СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ
(Ванадзор)**

Рассмотрены вопросы влияния механохимических технологий на активацию компонентов рецептурных составов бетонных смесей. Дана оценка перспективности механохимических технологий активации для получения строительных материалов высокого качества с гарантированными свойствами, обеспечивающими высокие эксплуатационные свойства строительных материалов.

Ключевые слова: суперпластификатор, портландцемент, минеральная добавка, вибрационная мельница, прочность, математическая модель.

К приоритетным направлениям развития строительства относится создание новых строительных материалов на базе прогрессивных технологий, обеспечивающих конкурентоспособность на рынке строительных материалов за счет улучшения эксплуатационных характеристик, потребительского качества изделий, снижения их себестоимости.

В последнее время в строительной индустрии появился устойчивый практический интерес к проведению механической активации полупродуктов в различных по энергонапряженности мельницах. Механоактивация материалов в мельницах является наиболее распространенной технологической операцией в современном производстве.

Рассмотрим механическое воздействие давления и истирания с уклоном на физико-химические свойства твердых порошковых веществ и химические реакции в веществах, происходящие с их участием. При механической обработке порошкообразных веществ поле напряжений возникает не во всем объеме твердой частицы, а на поверхности ее контакта с другой частицей или мелющим телом. Разрушающее воздействие имеют импульсный характер во времени с чередованием процессов возникновения поля напряжения и его релаксации и локальный характер механического воздействия на вещество. При этом в механоактиваторе протекают различного рода твердофазные процессы, начиная от полиморфных переходов и кончая реакциями разложения.

Целью работы является исследование свойств модифицированных бетонов, полученных с использованием высокоэффективных технологий в процессах подготовки и формирования бетонных смесей (механоактивация компонентов бетона, применение модифицирующих добавок, виброизмельчение).

Механоактивация общестроительных и декоративных цементов [1–4] позволяет увеличить рабочую поверхность цементов и скорость их растворения в

3...4 раза. Кинетика твердения цементного камня позволяет производить строительные работы без принудительной тепловлажностной обработки за счет быстрого нарастания прочности (за 1 сут. - 50%, за 3 сут. - 70%, за 7 сут. - 90% от марочной прочности на сжатие). Водопотребление цемента снижается почти вдвое до значения нормальной густоты 17...18% [1-6], исходная марочная прочность цемента увеличивается в 1,75 раза, упрощается процесс уплотнения и гидратации цементного теста при комнатной температуре.

Известно, что в промышленно развитых странах доля модифицированных бетонов составляет 80...90%. Повышению качества и функциональной эффективности модифицирующих добавок способствуют последние научные достижения. В настоящей работе для повышения активности цемента, интенсификации взаимодействия компонентов портландцементных систем с суперпластификатором С-3 использована вибрационная однокамерная мельница (рис. 1). Для механоактивации дозированные количества цемента, минеральной добавки и порошка суперпластификатора С-3 подаются в камеру мельницы, где происходят разрушение твердых частиц цемента и “прививка” суперпластификатора С-3 на свежесформированные поверхности частиц цемента.

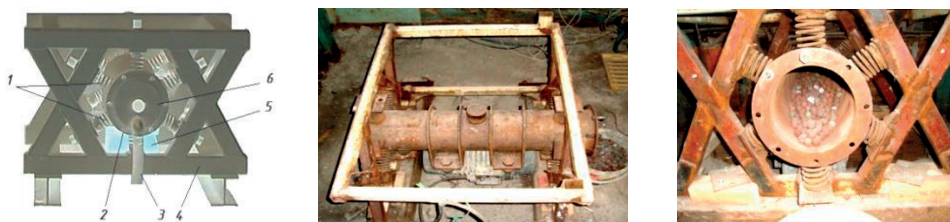


Рис. 1. Однокамерная вибрационная мельница

Влияние совместной механоактивации цемента и суперпластификатора на структурообразование бетона производилось по кинетике водопоглощения в нормальных условиях при $В/Ц=0,32...0,34$. Количество минеральных добавок в процессе проведения исследований оставалось неизменным и составляло 1 кг.

Для исследования влияния изменения времени совместного измельчения цемента, суперпластификатора и минеральных добавок на прочность цементного камня был реализован полный факторный план эксперимента. Свойства этого плана обеспечивают равномерное распределение информации в уравнении функции отклика по всем направлениям и минимизацию систематических ошибок, связанных с неадекватностью представления результатов полиномами второго порядка.

Математическая модель, полученная на основании результатов обработки эксперимента, будет представлять отрезок полинома ряда Тейлора, описанный уравнением регрессии второго порядка:

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{\substack{u,j=1 \\ u \neq j}}^k \beta_{uj} x_u x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \dots,$$

где y – функция отклика; β_0 – свободный коэффициент уравнения регрессии; β_j – коэффициент при линейном эффекте взаимодействия; β_{uj} – коэффициент при парном эффекте взаимодействия; β_{jj} – коэффициент при квадратичном эффекте взаимодействия; x_u, x_j – уровни варьирования факторов.

План полного факторного эксперимента приведен в табл. 1.

Таблица 1

Значения переменных факторов и кодированные обозначения

Кодовое обозн. фактора	Обозн. Фактора	Значения факторов			Интервал варьи- рования	R, прочность на сжатие ($\bar{Y}$), МПа
		<u>Кодовое</u> (Натуральное)				
		max	среднее	min		
Цемент, x_1	Цемент X_1 , кг	$\frac{+1}{(5)}$	$\frac{+1}{(5)}$	$\frac{+1}{(5)}$	1,0	
Суперпл. С-3, x_2	Суперпл.С-3, X_2 , кг	$\frac{+1}{(5)}$	$\frac{+1}{(5)}$	$\frac{+1}{(5)}$	0,02	
Время обр. x_3	Время обр., X_3 , ч	$\frac{+1}{(5)}$	$\frac{+1}{(5)}$	$\frac{+1}{(5)}$	0.2	

В процессе проведения исследований коэффициент заполнения помольной камеры мельницы мелющими телами и суммарного весового соотношения измельчаемого материала оставался постоянным при различном соотношении компонентов измельчаемого материала. Параметром оптимизации была принята прочность цементного камня на сжатие после 7-и и 28-дневной выдержки бетонных образцов.

Математическое планирование эксперимента, исходные данные и результаты экспериментов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения переменных факторов и результаты экспериментов

№ опыта	x_0	Цемент М400	Супер-пл. С-3	Время вибро-актив.	Цемент М400	Суперпл. С-3	Время виброактив.	Прочность на сжатие, Мпа	
					K_2	k_2	χ	7 дн.	28 дн.
		x_1	x_1	x_1	X1	X2	X3	/ $\bar{Y}$ /	/ $\bar{Y}$ /
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	+	- 1	- 1	- 1	3	0.03	0.1	69,34	79,45
2	+	0	- 1	- 1	4	0.03	0.1	73,34	82,11
3	+	+ 1	- 1	- 1	5	0.03	0.1	70,91	81,51
4	+	- 1	0	- 1	3	0.05	0.1	65,01	76,85
5	+	0	0	- 1	4	0.05	0.1	74,52	83,88
6	+	+ 1	0	- 1	5	0.05	0.1	63,31	77,26
7	+	- 1	+ 1	- 1	3	0.07	0.1	64,85	79,26
8	+	0	+ 1	- 1	4	0.07	0.1	64,91	77,44
9	+	+ 1	+ 1	- 1	5	0.07	0.1	68,04	81,05
10	+	- 1	- 1	0	3	0.03	0.3	67,72	82,12
11	+	0	- 1	0	4	0.03	0.3	68,16	81,12
12	+	+ 1	- 1	0	5	0.03	0.3	76,57	91,38
13	+	- 1	0	0	3	0.05	0.3	69,91	81,2
14	+	0	0	0	4	0.05	0.3	77,41	93,56
15	+	+ 1	0	0	5	0.05	0.3	75,18	89,66
16	+	- 1	+ 1	0	3	0.07	0.3	71,21	86,18
17	+	0	+ 1	0	4	0.07	0.3	69,58	85,97
18	+	+ 1	+ 1	0	5	0.07	0.3	75,33	92,88
19	+	- 1	- 1	+ 1	3	0.03	0.5	76,27	93,47
20	+	0	- 1	+ 1	4	0.03	0.5	76,68	95,7
21	+	+ 1	- 1	+ 1	5	0.03	0.5	73,08	92,11
22	+	- 1	0	+ 1	3	0.05	0.5	78,77	102,69
23	+	0	0	+ 1	4	0.05	0.5	76,43	101,04
24	+	+ 1	0	+ 1	5	0.05	0.5	77,79	105,22
25	+	- 1	+ 1	+ 1	3	0.07	0.5	76,95	100,05
26	+	0	+ 1	+ 1	4	0.07	0.5	77,05	100,76
27	+	+ 1	+ 1	+ 1	5	0.07	0.5	82,32	104,56

В результате проведенных расчетов получены математические модели и графические зависимости (рис. 2 и 3) для расчета прочностей бетонов с выдержкой 7 и 28 дней в зависимости от количества цемента (X_1), суперпластификатора (X_2) и времени виброактивации (X_3) в вибрационной мельнице с частотой колебаний $\omega = 300 \text{ с}^{-1}$ и амплитудой колебаний $A = 2,3 \text{ мм}$:

$$Y(7) = 70,41 + 0,635 + 2,71X_2 + 3,955X_3 + 0,135X_1^2 + 0,318X_1X_2 - \\ -1,07X_1X_3 + 0,46X_2^2 + 1,2X_2X_3 + 3,065X_3^2 - 1,148X_1^2X_2 + 1,855X_1^2X_3 + 1,608X_1X_2^2 + \\ + 0,618X_1X_2X_3 + 0,945X_1X_3^2 + 0,415X_2^2X_3 - 3,725X_2X_3^2 + 0,203X_1^2X_2^2 - \\ -0,29X_2X_3 - 0,14X_1^2X_3^2 + 1,498X_1X_2^2X_3 + 0,205X_1X_2X_3^2 - 1,44X_2^2X_3^2 + \\ + 1,04X_1^2X_2^2X_3 + 2,733X_2X_3^2 - 2,07X_1X_2^2X_3^2 + 0,278X_1^2X_2^2X_3^2,$$

$$Y(28) = 93,56 + 4,23X_1 + 2,425X_2 + 8,58X_3 - 8,13X_1^2 - 0,64X_1X_2 + 0,53X_1X_3 - \\ -10,02X_2^2 + 2,433X_2X_3 - 1,1X_3^2 - 1,035X_1^2X_2 + 4,87X_1^2X_3 - 0,24X_1X_2^2 + \\ + 0,768X_1X_2X_3 - 3,495X_1X_3^2 + 0,648X_2^2X_3 - 2,328X_2X_3^2 + 12,725X_1^2X_2^2 + \\ + 0,028X_2X_3 + 6,175X_1^2X_3^2 - 0,617X_1X_2^2X_3 + 1,34X_1X_2X_3^2 + 6,558X_2^2X_3^2 - \\ -5,483X_1^2X_2^2X_3 + 3,235X_2X_3^2 + 0,38X_1X_2^2X_3^2 - 10,84X_1^2X_2^2X_3^2.$$

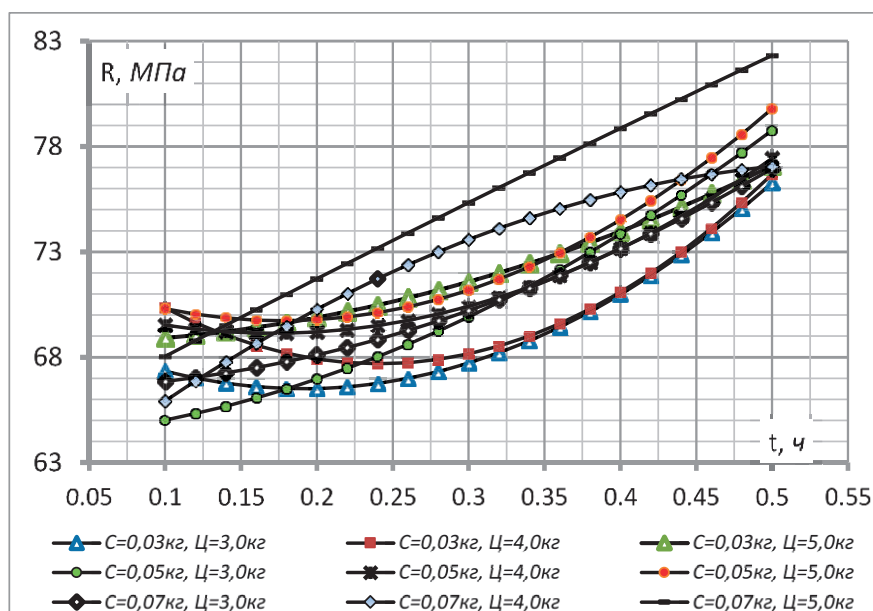


Рис. 2. Зависимость прочности бетона от времени виброактивации в вибрационной мельнице (выдержка 7 дней)

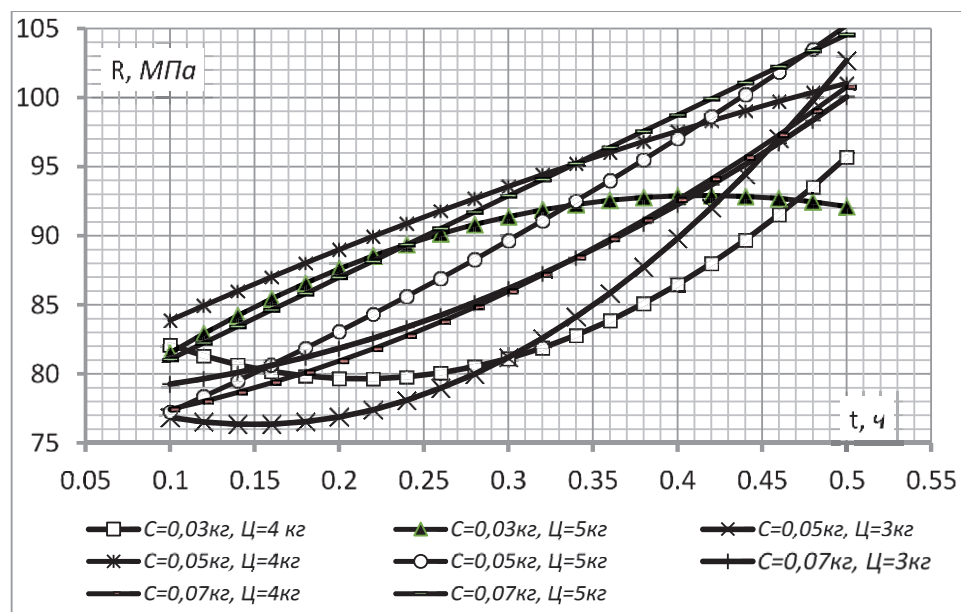


Рис. 3. Зависимость прочности бетона от времени виброактивации в вибрационной мельнице (выдержка 28 дней)

Анализируя результаты проведенных исследований, было выявлено, что цементная смесь с минеральной добавкой и суперпластификатором, подвергнутая виброактивации, обладает большим тепловыделением, что, на наш взгляд, является следствием увеличения удельной поверхности зерен вяжущего и “прививки” суперпластификатора С-3 на свежесформованные поверхности частиц цемента.

Проведенные исследования подтверждают необходимость расширения экспериментальных исследований с включением минеральных добавок и ряда современных полимерных модификаторов, улучшающих свойства бетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмина В.П. Механоактивация цементов // Строительные материалы. — 2006. — № 5. — С. 7–9.
2. Кузьмина В.П. Механоактивация материалов для строительства. Цемент // Журн. Строительные материалы -2007.- № 6(630).- С.74-75.
3. Байджанов Д.О., Токанов Д.Т., Кенжеалиев М.М., Рожков А.В. Структурообразование в цементном камне при механоактивации //Материалы Междунар. науч.-практ. конф. “Наука и образование без границ-2008”. -Перемышль, 2008. - С.71-75.
4. Байджанов Д.О., Токанов Д.Т. Влияние механоактивационного цемента на структурообразование цементного камня // Материалы Междунар. науч. конф. “Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан-2030»”. – Караганда, 2010. – С.322-325.

5. **Բալայան Վ.Ա., Կռոյան Ս.Ա., Թադևոսյան Հ.Ա., Բալայան Ա.Վ.** Բարեփոխված բետոններում հավելանյութերի և մանրալցուկների համալիր ազդեցությունը ցեմենտային քարի ամրության վրա // ՀՊՃՀ Լրաբեր. – 2014. Մաս 2. – էջ 555-562:
6. **Բալայան Վ.Ա., Կռոյան Ս.Ա., Թադևոսյան Հ.Ա., Գևորգյան Դ.Ն.** Օրգանական և հանքային հավելումների ազդեցությունը ցեմենտային քարի ամրությանսահմանի վրա // ՀՊՃՀ Լրաբեր. –2012. – Մաս 2.- էջ 669-675:

Վ.Ա. ԲԱԼԱՅԱՆ, Ս.Ա. ԿՐՈՅԱՆ, Ա.Վ. ԲԱԼԱՅԱՆ

**ՑԵՄԵՆՏԻ ԵՎ ՍՈՒՊԵՐՊԼԱՍՏԻԿԱՐԱՐԻ ՄԵԽԱՆԱԿՏԻՎԱՑՄԱՆ
ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՑԵՄԵՆՏԱՅԻՆ ՔԱՐԻ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ**

Դիտարկված են մեխանաքիմիական տեխնոլոգիաների ազդեցության հարցերը բետոնային խառնուրդների բաղադրագրության կազմերի կոմպոնենտների ակտիվացման դեպքում: Տրված է ակտիվացման մեխանաքիմիական տեխնոլոգիաների հեռանկարայնության գնահատական բարձր որակի, երաշխավորված հատկություններով, շահագործողական բարձր հատկություններ ապահովող շինարարական նյութերի ստացման համար:

Առանցքային բառեր. սուպերպլաստիկարար, պորտլանդցեմենտ, հանքային հավելանյութեր, թրթռաղաց, ամրություն, մաթեմատիկական մոդել:

V.A. BALAYAN, S.A. KROYAN, A.V. BALAYAN

**THE CEMENT AND SUPERPLASTICIZER MECHANOACTIVATION
IMPACT ON THE CEMENT STONE STRENGTH**

The impact of mechano-chemical technologies on the activation of components of compositions of concrete mixtures are considered. The estimation of the prospects of the mechano-chemical activation technologies is introduced for obtaining high-quality construction materials with guaranteed features, providing superior properties for the mentioned materials.

Keywords: superplasticizer, portland cement, mineral supplement, vibratory mill, strength, mathematical model.