

УДК 666.971

## ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВОЛНОВОЙ АКТИВАЦИИ МАТОЧНОГО РАСТВОРА

Фокин Г.А., Гуськов А.С.

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»,  
Пенза, e-mail: GuskovAnton90@yandex.ru

В данной статье подробно описывается подбор оптимальных параметров волновой активации маточного раствора. С помощью методики полного факторного эксперимента произведена обработка экспериментальных исследований. Для методики полного факторного эксперимента были определены варьируемые факторы и интервалы варьирования. В качестве факторов были выбраны время воздействия ультразвука на воду, количество вводимого цемента в воду и мощность ультразвуковых колебаний. В качестве результирующей функции выбрано основное физико-механическое свойство строительного материала – предел прочности при испытании на сжатие. Использовалась матрица ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка. Составлено уравнение модели. Посчитаны и определены значимые коэффициенты регрессии. Составлено уравнение регрессии. Проводилась проверка адекватности полученных уравнений по критерию Фишера. Построены поверхности откликов пределов прочности при испытании на сжатие.

**Ключевые слова:** полный факторный эксперимент, маточный раствор, матрица ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка, коэффициенты регрессии, уравнение регрессии, критерий Фишера, поверхность отклика, предел прочности

## OPTIMAL PARAMETERS WAVE ACTIVATION THE MOTHER LIQUOR

Fokin G.A., Guskov A.S.

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, e-mail: GuskovAnton90@yandex.ru

This article describes how to find the optimal parameters wave activation of the mother liquor. Using the methodology of full factorial experiment performed analysis of experimental studies. Methodology for full factorial experiment were determined varying factors and varying intervals. The factors were selected during ultrasound exposure to water, the amount of water injected into the cement and power of ultrasonic vibrations. As the resulting function is selected the basic physical and mechanical properties of building material tensile strength, compression test. Used orthogonal matrix composite centrally plan the second order. Compiled equation model. Counted and identified significant regression coefficients. Compiled by the regression equation. Audited the adequacy of the equations obtained by the Fisher test. Constructed response surface tensile strength at compression test.

**Keywords:** full factorial experiment, the mother liquor, orthogonal matrix composite plan centrally second order, regression coefficients, regression equation, Fisher's criterion, the response surface, the tensile strength

Современные технологии и методы позволяют управлять структурой и свойствами материалов на цементном вяжущем. Одним из эффективных среди них является использование волновых методов активации воды затворения, к которым относится воздействие низкочастотным ультразвуковым полем. В процессе изучения данного вопроса появилась идея, что вода в любом её состоянии является маточным раствором, если в воде есть реагенты, способные откликнуться на ультразвуковое воздействие. В частности, низкопроцентное содержание гидравлического вяжущего в маточном растворе после воздействия ультразвуковым полем может обеспечивать получение материалов с повышенными технико-эксплуатационными характеристиками.

В исследовании под маточным раствором понимается раствор, в котором частицы являются центрами кристаллизации, сопровождающейся диспергированием, располагаются на определенных энергетических уровнях в соответствии с их массами и размерами [5].

По существующему определению **маточный раствор** – остаточная жидкость после процессов кристаллизации. Маточный раствор может содержать непрореагировавшие материалы, промежуточные продукты или примеси в существенном количестве, а также использоваться для дальнейшей обработки [4].

Для волновой активации маточного раствора нужно найти оптимальные параметры воздействия ультразвука на воду, т.е. нужно определить мощность ультразвуковых колебаний, время воздействия ультразвука и количество вводимого цемента в воду. Для этого в данной работе использовалась методика полного факторного эксперимента.

Для того чтобы применить методику полного факторного эксперимента, необходимо определить варьируемые факторы и интервалы варьирования. В качестве факторов были выбраны время воздействия ультразвука на воду, количество вводимого цемента в воду и мощность ультразвуковых колебаний (табл. 1). Результирующей

функцией ( $Y_1$ ) выбрана прочность материала при испытании на сжатие. Согласно предварительным исследованиям функции отклика должны быть нелинейными, поэтому факторы будут иметь три уровня варьирования.

В ходе проведения исследования необходимо выяснить, как влияют выбранные факторы на основное физико-механическое свойство материала, а именно на предел прочности при сжатии.

Для того чтобы найти коэффициенты полинома, в исследовании использовался ортогональный центрально-композиционный план второго порядка (табл. 2).

Использование ортогонального планирования позволило получить независимые оценки коэффициентов регрессии с минимальной дисперсией. Ортогональность

центрально-композиционного плана обеспечивается соответствующим подбором звездного плеча  $\alpha$  (для трех факторов  $\alpha = 1,2154$  [2]) и специальным преобразованием квадратичных переменных  $x_i^2$  по формуле

$$x_i' = x_i^2 - d,$$

где  $d$  – поправка, зависящая от числа факторов, для трех факторов  $d = 0,7303$  [1].

Значимость коэффициентов регрессии проверялась по критерию Стьюдента. В нашем случае для 3-х степеней свободы и 95 %-ном уровне значимости  $t = 2,776445105$  [3].

Количество регулируемых факторов в исследовании равно 3, тогда уравнение модели примет следующий вид:

$$Y_1 = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2.$$

Таблица 1

Факторы и уровни их варьирования

Факторы	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)
Обозначение	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Время воздействия ультразвука на воду	60 с	180 с	300 с
Количество вводимого цемента в воду	11 г	12 г	13 г
Мощность ультразвуковых колебаний	120 В·А	130 В·А	140 В·А

Таблица 2

Матрица ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка и результаты экспериментов

Номер опыта	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1' = x_1^2 - d$	$x_2' = x_2^2 - d$	$x_3' = x_3^2 - d$	$Y_1$
1	+1	+1	+1	0,2697	0,2697	0,2697	62,76
2	-1	+1	+1	0,2697	0,2697	0,2697	30,59
3	+1	-1	+1	0,2697	0,2697	0,2697	35,31
4	-1	-1	+1	0,2697	0,2697	0,2697	31,08
5	+1	+1	-1	0,2697	0,2697	0,2697	38,43
6	-1	+1	-1	0,2697	0,2697	0,2697	34,51
7	+1	-1	-1	0,2697	0,2697	0,2697	34,81
8	-1	-1	-1	0,2697	0,2697	0,2697	32,65
9	1,2154	0	0	0,7469	-0,7303	-0,7303	49,04
10	-1,2154	0	0	0,7469	-0,7303	-0,7303	36,62
11	0	1,2154	0	-0,7303	0,7469	-0,7303	31,77
12	0	-1,2154	0	-0,7303	0,7469	-0,7303	39,12
13	0	0	1,2154	-0,7303	-0,7303	0,7469	32,22
14	0	0	-1,2154	-0,7303	-0,7303	0,7469	39,85
15	0	0	0	-0,7303	-0,7303	-0,7303	30,45

Таблица 3

Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке прочности материала при испытании на сжатие ( $Y_1$ )

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента		
	Численное значение	$S^2\{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
b0	33,825	0,849202	17,55
b1	8,191	1,162824	7,6
b2	3,255	1,162824	3,02
b3	3,854	1,162824	3,57
b12	3,713	1,592254	2,94
b13	1,29	1,592254	1,02
b23	2,685	1,592254	2,13
b123	3,283	1,592254	2,59
b11	4,897	2,918685	2,87
b22	-0,103	2,918685	-0,06
b33	0,297	2,918685	0,17

Из табл. 3 видно, что значимыми коэффициентами являются b0, b1, b2, b3, b12, b11.

Расчет коэффициентов регрессии по факторной обработке прочности матери-

ала при испытании на сжатие осуществлялся на персональном компьютере. Уравнение регрессии будет выглядеть следующим образом:

$$Y_1 = 33,825 + 8,191x_1 + 3,255x_2 + 3,854x_3 + 3,713x_1x_2 + 4,897x_1^2$$

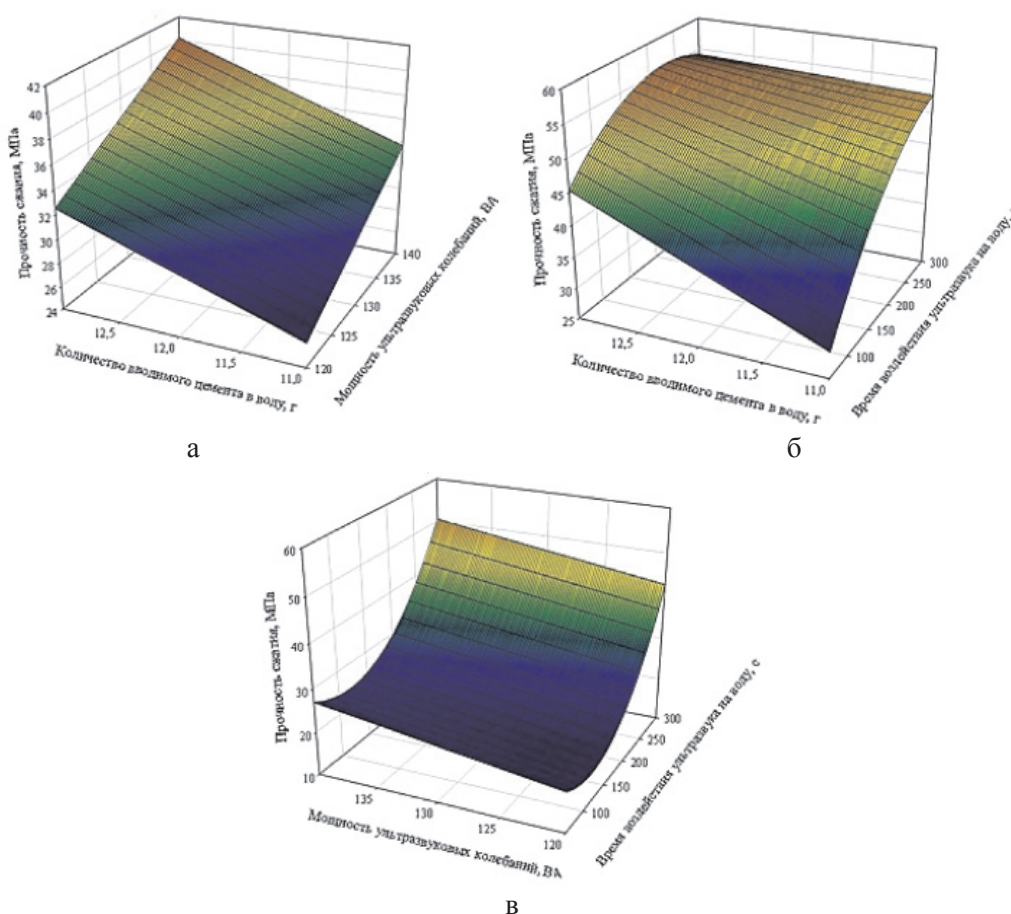


Рис. 1. Поверхность отклика прочности на сжатие:

а – в зависимости от количества вводимого цемента и мощности ультразвуковых колебаний;  
 б – в зависимости от времени воздействия ультразвука на воду и количества вводимого цемента;  
 в – в зависимости от времени воздействия ультразвука на воду и мощности ультразвуковых колебаний

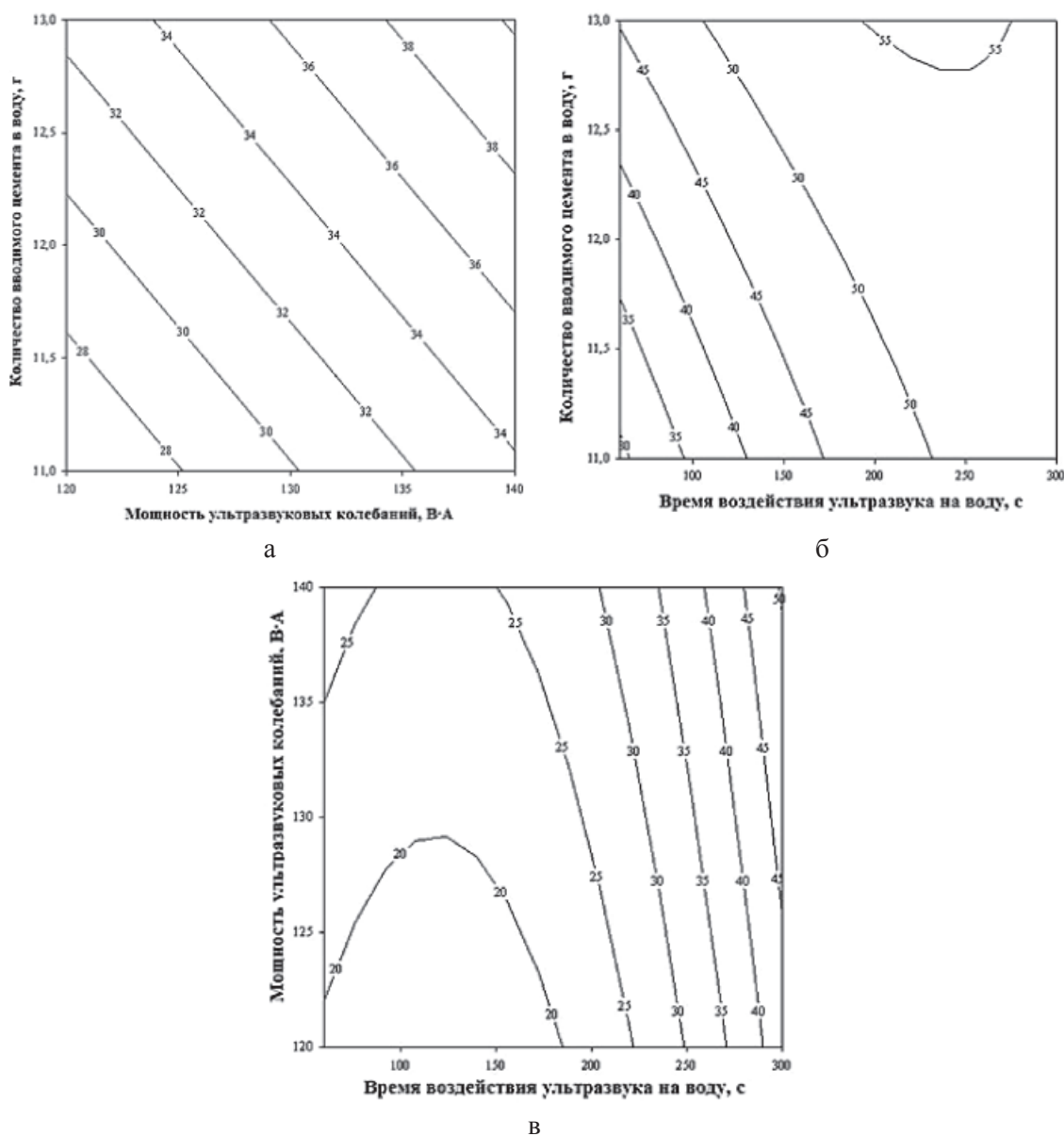


Рис. 2. Сечение поверхности отклика прочности на сжатие:

а – в зависимости от количества вводимого цемента и мощности ультразвуковых колебаний;  
 б – в зависимости от времени воздействия ультразвука на воду и количества вводимого цемента;  
 в – в зависимости от времени воздействия ультразвука на воду и мощности ультразвуковых колебаний

Проверку на адекватность полученных уравнений проводили по критерию Фишера.

В нашем случае при  $f_1 = 15 - 3 - 1 = 11$ ;  $f_2 = 3 - 1 = 1$  и 95 %-ном уровне значимости  $F = 19,4$ . Дисперсия адекватности определялась по методике, предложенной в работах [2, 3].

Расчетные значения критерия Фишера составили  $F = 2,044$ . Следовательно, полученное уравнение регрессии адекватно описывает исследуемый процесс. Для

построения поверхностей откликов использовалась программа SigmaPlotv.11.0.

Графические зависимости при варьировании выбранных параметров после статистической обработки экспериментальных данных приведены на рис. 1, 2.

В результате проведения полного факторного эксперимента были получены оптимальные параметры волновой активации маточного раствора. Оптимальными параметрами являются: время воздействия ультразвука на воду –

300 секунд, количество вводимого цемента – 13 грамм, мощность ультразвуковых колебаний – 140 В·А.

**Список литературы**

1. Адлер, Ю.П. Введение в планирование эксперимента. – М.: Металлургия. – 1969. – 155 с.
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука. 1976. – 279 с.
3. Маслов Г.Г. Оптимизация параметров и режимов работы машин методами планирования эксперимента: учебн. пособие для сельскохозяйственных вузов / Г.Г. Маслов, О.Н. Дидманидзе, В.В. Цибулевский. – М.: УМЦ «Триада», 2007. – 292 с.
4. Правила производства и контроля качества лекарственных средств: ГОСТ Р 52249-2009. – 2009 – 05–20. – М.: Изд-во стандартов, 2009.
5. Фокин Г.А. «Волновая технология материалов на гидравлическом вяжущем» / Г.А. Фокин, А.С. Гуськов // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 4. – С. 31–36.

**References**

1. Adler, Y.P. Introduction to experimental design. – М.: Metallurgy. – 1969. – 155 p.

2. Adler J.P. Experimental Design in finding optimal conditions / Y.P. Adler, E. Markov, Y. Granovsky. – М.: Nauka. 1976. – 279 p.

3. Maslov G.G. Optimization of parameters and modes of operation of machine methods of experimental design: Training. Handbook for agricultural universities / G.G. Maslov, O.N. Didmanidze, V.V. Tsibulevsky. – М.: UMC «Triad», 2007. – 292 p.

4. The rules of production and quality control of medicines: GOST R 52249-2009. – 2009 – 05–20 – М.: Publishing House of Standards, 2009.

5. Fokin G.A. Wave technology of materials for hydraulic binders / G.A. Fokin, A.S. Guskov / Regional architecture and engineering. – 2014. – № 4. С. 31–36.

**Рецензенты:**

Грейсух Г.И., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Физика и химия», Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза;

Степанов С.А., д.ф.-м.н., профессор, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза.