

## Влияние рецептурно-технологических факторов на свойства мелкозернистых бетонов жесткого прессования

*Е.О. Лотошникова, В.Н. Телегина, Л.М. Усепян, И.М. Усепян*

*Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** В статье представлена методика проектирования и назначения состава формовочной смеси, которая базируется на расчетно-экспериментальном подходе к определению состава с учетом качества используемых сырьевых материалов и требований к свойствам бетона производимых изделий.

**Ключевые слова:** жесткопрессованный бетон, цемент, водосодержание смеси, двухфакторный эксперимент, ротатабельный композиционный симплекссуммируемый план, регрессивное уравнение эксперимента, квазиднофакторный анализ

Важнейшими факторами формирования структуры бетонов являются начальное водосодержание формовочной смеси, расход цемента в ней, удельное давление прессования и расход низко модульной добавки [1]. Изменение перечисленных факторов неоднозначно влияет на физико-механические свойства бетонов. Если фактор водосодержания бетонной смеси имеет оптимальное значение, зависящее от состава компонентов формовочной смеси и легко определяется экспериментально, то влияние других факторов неоднозначно и тем существеннее становится оценка их взаимного влияния [2]. С этой целью методом математического планирования было реализовано два эксперимента, последовательно дополнившие один другой. В первом из них был поставлен двухфакторный эксперимент по ротатабельному композиционному симплекссуммируемому плану на шестиугольнике с целью детального изучения влияния расхода цемента и давления прессования на свойства мелкозернистого бетона без демпфирующей добавки [3].

Основной уровень исследуемых факторов был назначен по результатам прямых опытов. В эксперименте водосодержание смесей (6,5% от массы твердых компонентов), условия их приготовления и твердения отформован-

ных образцов оставались постоянными [4]. Параметры варьирования факторов и результаты испытаний приведены в табл. 1 и .2.

Таблица 1

Параметры варьирования факторов

Код	Значение кода	Исследуемые факторы и интервалы их варьирования	
		X <sub>1</sub> – количество цемента, %	X <sub>2</sub> – давление прессования, МПа
Основной уровень	0	25	40
Интервал варьирования	$\Delta X_i$	5	20
Верхний уровень	+1	30	60
Нижний уровень	-1	20	20

Таблица 2

Результаты эксперимента

№ точки плана	Исследуемые факторы		Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup> - Y <sub>1</sub>	Водопоглощение по массе, % - Y <sub>2</sub>	Прочность на сжатие, МПа - Y <sub>3</sub>
	X <sub>1</sub> – количество цемента, %	X <sub>2</sub> – давление прессования, МПа			
1	20	40	2175	5,5	42,4
2	30	40	2203	5,5	57,5
3	27,5	37,4	2298	4,6	55,9
4	27,5	22,6	2146	5,8	32,9
5	22,5	37,4	2261	4,8	44,5
6	22,5	22,6	2155	5,6	29,2
7-10	25	40	2220	4,6	52,8

Математическую обработку результатов экспериментов проводили на ЭВМ по специальной программе – "Plan.exe". Полученные регрессивные уравнения приведены в табл. 3.

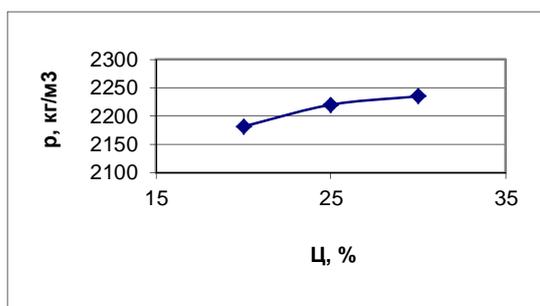
Таблица 3

Регрессионные уравнения эксперимента

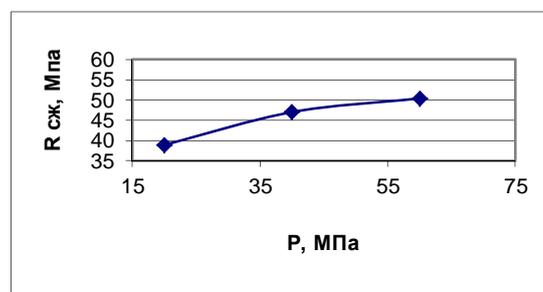
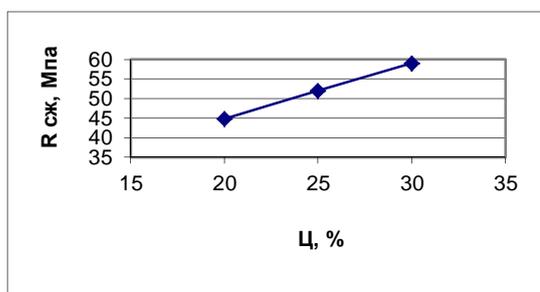
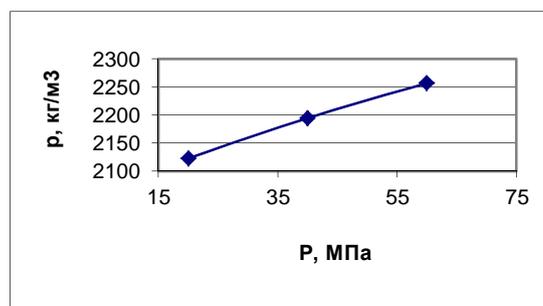
Исследуемое свойство	Уравнение регрессии
Средняя плотность бетона, кг/л	$Y_1=2,22+0,031x_1+0,074x_2+0,014x_1^2+0,004x_2^2+0,027x_1x_2$
Водопоглощение по массе, %	$Y_1=4,65 - 0,251x_1 - 0,629x_2 - 0,837 x_1^2$
Предел прочности при сжатии, МПа	$Y_1=52,76+3,57x_1+11,06x_2+3,19 x_1^2 - 5,24 x_2^2+4,42x_1x_2$

На рисунке 1 представлен квазиоднофакторный анализ полученных регрессионных уравнений. С одной стороны, он подтверждает известные закономерности влияния изучаемых факторов на свойства бетонов [5], а с другой, позволяет установить, что растущее давление прессования сверх 40 МПа и увеличение расхода цемента свыше 25% становятся малоэффективными для повышения качества мелкозернистого жесткопрессованного бетона [6].

а)



б)



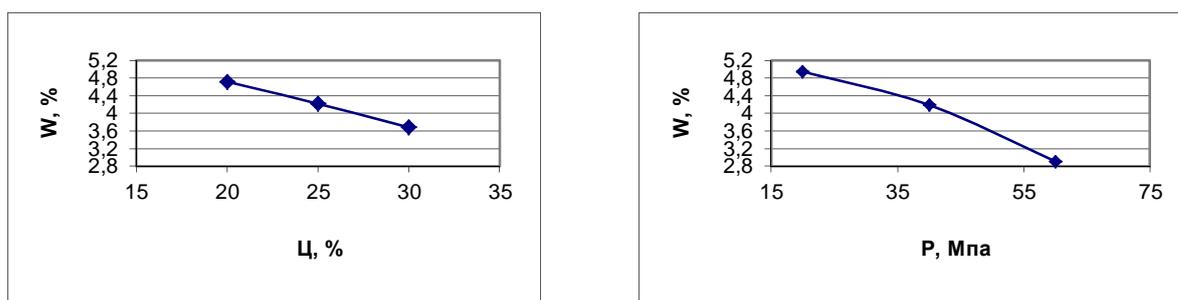


Рис. 1 – Квазиднофакторный анализ двухфакторного эксперимента.  
а – влияние расхода цемента; б – влияние давления прессования.

Во втором эксперименте влияние расхода цемента и удельного давления прессования было изучено на жесткопрессованных бетонах с демпфирующей добавкой, дозировка которых менялась на трех уровнях от 3 до 7% [7]. Начальное водосодержание формовочной смеси во всех опытах было постоянным, равным 6,5% от массы твердых компонентов, а удельное давление прессования изменялось от 20 до 60 Мпа [8]. После формования образцы-цилиндры твердели в нормальных условиях до проектного возраста 28 суток. Для реализации этого эксперимента был выбран полный трехфакторный план (Бокса,  $V_3$ ) [9]. Параметры варьирования факторов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Параметры варьирования трехфакторного эксперимента

Код	Значение кода	Исследуемые факторы и интервалы их варьирования		
		$X_1$	$X_2$	$X_3$
Основной уровень	0	25	40	5
Интервал варьирования	$\Delta X_i$	5	20	2
Верхний уровень	+1	30	60	7
Нижний уровень	-1	20	20	3

Исследуемые факторы и интервалы их варьирования следующие:

$X_1$  - относительное содержание вяжущего, %;

$X_2$  - давление прессования, МПа;

$X_3$  - относительное содержание зольных микросфер, %

Результаты данного эксперимента приведены в табл. 5

Таблица 5

Результаты трехфакторного эксперимента

№ п/ п	Значение исследуемого фактора			Свойства затвердевшего бетона		
	$X_1$ – относительное содержание вяжущего, %	$X_2$ – удельное давление прессования, МПа	Относительное содержание добавки, %	$Y_1$ – средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	$Y_2$ – предел прочности при сжатии, МПа	$Y_3$ – водопоглощение по массе, %
1	30	60	7	2213	49,0	2,36
2	20	60	7	2248	49,1	3,82
3	30	20	7	2047	25,4	4,80
4	20	20	7	2082	28,1	5,28
5	30	60	3	2160	36,9	2,24
6	20	60	3	2190	41,9	3,91
7	30	20	3	2021	23,4	5,09
8	20	20	3	2064	24,9	5,51
9	30	40	5	2114	36,0	3,68
10	20	40	5	2190	44,8	4,72
11	25	60	5	2257	50,4	2,91
12	25	20	5	2123	38,9	4,95
13	25	40	7	2180	44,6	4,41
14	25	40	3	1164	39,9	4,57
15	25	40	5	2186	47,0	4,19
16	25	40	5	2190	46,1	4,19
17	25	40	5	2188	48,8	4,19

При реализации данного эксперимента было изучено влияние приведенных факторов на среднюю плотность бетона, его прочность при сжатии и водопоглощение по массе [10].

## Литература

1. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы. М.: Стройиздат, 1986. С. 688.
2. Невский В.А. Строительное материаловедение. Учебное пособие для студентов строительных специальностей под общей редакцией В.А. Невского. Ростов-на-Дону. М.: Феникс, 2010. С. 588.
3. Лотошникова Е.О. Мелкозернистые жесткопрессованные бетоны с демпфирующими добавками : дис. ... канд. тех. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону, 2005. С. 221.
4. Bogue R.H. The Chemistry of Portland Cement, 2<sup>nd</sup> Ed. Reinhold Publishing Corp, New York, 1955, Vol.2, 703 p.
5. Turriziani R. The calcium aluminate hydrates and related compounds. In: Taylor H.F.W. (ed.) The Chemistry of Cements. Academic Press, London, 1964, Vol. 1, pp. 233 – 286.
6. Зоткин А.Г. Микронаполняющий эффект минеральных добавок в бетоне. Бетон и железобетон, 1994, №3. С. 7-9.
7. Лотошникова Е.О., Усепян Л.М., Телегина В.Н., Усепян И.М. Методика назначения состава формовочной смеси для изготовления мелкоштучных изделий из бетона жесткого прессования с демпфирующей добавкой. Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2017/4612](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2017/4612).
8. Явруян Х.С., Филонов И.А., Фесенко Д.А. К вопросу о применении нанотехнологий в производстве строительных материалов. Инженерный вестник Дона, 2012, №3. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/1021](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/1021).
9. Бабков В.В., Попов А.В., Мохов В.Н., Колесник Г.С., Якушин В.А. Бетоны повышенной ударной стойкости на основе демпфирующих компонентов. Бетон и железобетон, 1985, №2. С. 2.



10. Несветаев Г.В. Бетоны: Учебно-справочное пособие. Ростов на-Дону. Феникс, 2011. С. 381.

### References

1. Gorchakov G.I., Bazhenov Ju.M. Stroitel'nye materialy [Building material]. M.: Strojizdat, 1986. P. 688.

2. V. A. Nevski. Stroitel'noe materialovedenie [Construction material scienc]. Uchebnoe posobie dlja studentov stroitel'nyh special'nostej pod obshej redakciej V.A. Nevskogo. Rostov-na-Donu. Feniks, 2010. P. 588.

3. Lotoshnikova E.O. Melkozernistye zhestkoprressovannye betony s dempfirujushhimi dobavkami [Fine-grained escapes the loaf with damping additives]: dis... kand. teh. nauk: 05.23.05. Rostov-na-Donu, 2005. P. 221.

4. Bogue R.H. The Chemistry of Portland Cement, 2<sup>nd</sup> Ed. Reinhold Publishing Corp, New York, 1955, Vol.2, 703 p.

5. Turriziani R. The calcium aluminate hydrates and related compounds. In: Taylor H.F.W. (ed.) The Chemistry of Cements. Academic Press, London, 1964, Vol. 1, pp. 233-286.

6. Zotkin A.G. Beton i zhelezobeton, 1994, №3. P. 7-9.

7. Javrujan H.S., Filonov I.A., Fesenko D.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №3. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/1021](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/1021).

8. Lotoshnikova E.O., Usepyan L.M., Telegina V.N., Usepyan I.M. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2017/4612](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2017/4612).

9. Babkov V.V., Popov A.V., Mohov V.N., Kolesnik G.S., Jakushin V.A. Beton i zhelezobeton, 1985, №2. P. 2.

10. Nesvetaev G.V. Betony: Uchebno-spravochnoe posobie [Concrete: a Training and reference manual]. Rostov n/D. Feniks, 2011. P. 381.