

Факторный анализ влияния добавок на технологические свойства сухих строительных смесей

С.Х. Байрамуков^{1,2}, З.Н. Долаева^{1,2}, М.М. Кидакоева²

¹Северо-Кавказская государственная академия, Черкесск

²Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт, Невинномысск

Аннотация: Исследовано влияние загустителя и замедлителя схватывания на технологические свойства ГШС START. Разработаны полнофакторные планы двухфакторной модели, при минимальном (0,1%; 0,005%) и максимальном (0,2%; 0,05%) уровне дозировки порообразующей и водоудерживающей добавок соответственно. Получены уравнения регрессии выходных параметров в виде полинома второй степени с применением регрессионного и корреляционного анализа экспериментальных данных. Проанализированы значения частных коэффициентов корреляции. При увеличении дозы водоудерживающих и порообразующих добавок от 0,1% до 0,2% и от 0,005% до 0,05% вяжущего вещества, соответственно, для всех возможных сочетаний дозировки загустителя и замедлителя схватывания наблюдается увеличение времени схватывания на 10...72%, а раздвижки на 33...80 %. Наименее чувствительной к увеличению водоудерживающих и порообразующих добавок оказалась смесь, в которой количество загустителя 0,2% (на верхнем уровне), а количество замедлителя 0,04% (на нижнем уровне).

Ключевые слова: технологические свойства, организационно-технологические решения, сухие строительные смеси, функциональные добавки, загуститель, схватывание, замедлитель, двухфакторный эксперимент, коэффициент детерминации, регрессионный анализ, корреляционный анализ, коэффициент корреляции.

В современном мире актуальной задачей является оптимизация свойств строительных материалов за счет использования различных добавок. Так в составе сухих строительных смесей (ССС) имеется большое количество функциональных добавок, благодаря которым появилась возможность кардинально влиять на основные технологические свойства растворных смесей [1-3]. Таким образом, именно добавки делают сухую смесь привлекательной для выполнения ряда работ в различных условиях [2]. В статье исследованы технологические свойства гипсовой штукатурной смеси (ГШС) START с учетом влияния двух факторов на основании экспериментальных данных и применения статистических методов. В эксперименте используются следующие факторы влияния: загуститель и замедлитель схватывания смеси.

Для проведения исследования влияния варьируемых факторов на технологические свойства смеси были оценены элементы матрицы (2×2) при минимальном и максимальном X_i , $i=1,2$, - величины дозировки порообразующей и водоудерживающей добавок. План исследования представляет собой матрицу, столбцы которой соответствуют различным сочетаниям факторов. При его составлении исходим из того, что искомые зависимости с достаточной точностью описываются многочленом второго порядка (1), (2). Исходя из принятой гипотезы, в качестве изменяемых факторов принимаем: X_3 - загуститель; X_4 - замедлитель схватывания [2,4].

В таблице 1 представлен план двухфакторного эксперимента в двух градациях (2×2), результаты оценки изменения технологических свойств смеси с учетом выбранных факторов, при варьировании значений водоудерживающих (X_2) и порообразующих (X_1) добавок от минимальных до максимальных показателей (они указаны соответственно, как верхние и нижние значения в ячейках таблицы) [2,5].

Таблица 1

Матрица эмпирических данных

Факторы и функции отклика	Добавки		Регистрируемые параметры					
	№ опыта	Загуститель	Замедлитель схватывания	Начало схватывания		Раздвижка		Расход материала на 1 м^2
Код: X_0	X_3	X_4	Y_1		Y_2		Y_3	
Ед. изм.	%	%	мин.		мин.		кг/м ²	
В. уровень	0,2	0,1	Значение	% изменения	Значение	% изменения	Значение	% изменения
Н. уровень	0,02	0,04						
С. уровень	0,11	0,07						
1	0,02	0,04	90 155	72	35 50	43	9,92 8,90	-10
2	0,20	0,10	180 285	58	100 180	80	8,30 9,30	12
3	0,02	0,10	240 380	58	90 120	33	9,30 10,70	15
4	0,20	0,04	155 170	10	50 70	40	9,48 9,40	-1

В таблицах 1 и 2 верхние значения в ячейках регистрируемых параметров соответствуют нижнему уровню дозировки факторов $X_2=0,1\%$; $X_1=0,005\%$, нижние значения верхнему уровню дозировки соответствующих факторов $X_2=0,2\%$; $X_1=0,05\%$.

Полученная выборка результативных значений обрабатывается с использованием программного продукта «STATISTIKA» и табличного процессора MS Excel [5,6].

Применение статистических методов для вычислительной обработки эмпирических данных позволило получить выражения функциональных зависимостей (Y_1, Y_2, Y_3) в виде многочленов второй степени от переменных X_3, X_4 при следующих крайних значениях факторов:

- *MIN*: $X_2=0,1\%$; $X_1=0,005\%$,

$$y_1 = 104,56 + 63,13 \cdot x_3^2 + 10416,67 \cdot x_4^2, \quad (1)$$

$$y_2 = 26,124 + 315,657 \cdot x_3^2 + 6250 \cdot x_4^2, \quad (2)$$

$$y_3 = 10,239 - 18,182 \cdot x_3^2 - 107,143 \cdot x_4^2; \quad (3)$$

- *MAX*: $X_2=0,2\%$; $X_1=0,05\%$,

$$y_1 = 150,52 - 1010,1 \cdot x_3^2 + 20238,1 \cdot x_4^2, \quad (4)$$

$$y_2 = 22,45 + 1010,1 \cdot x_3^2 + 10417,29 \cdot x_4^2, \quad (5)$$

$$y_3 = 9,218 - 11,3636 \cdot x_3^2 + 101,1905 \cdot x_4^2. \quad (6)$$

Достаточно высокие значения коэффициентов детерминации (0,81, 0,99, 0,97; 0,95, 0,98, 0,71 соответственно) говорят о том, что рассматриваемые факторы (X_3, X_4) определяют, в основном, сроки схватывания, раздвижку и расход [6]. Анализируя значение частных коэффициентов корреляции можно отметить, что начала схватывания и раздвижка определяются, в основном, замедлителем ($b \cdot (x_4) = 0,81, 0,92; 0,97, 0,9$ соответственно).

Основные показатели корреляционного и регрессионного анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты математической обработки

Наименование показателя	Значение		
	Начало схватывания, Y1, мин	Раздвижка, Y2, мин	Расход, Y3, кг/м ²
Коэффициент множественной корреляции	0,81 0,95	0,999 0,98	0,97 0,71
Коэффициент детерминации (R^2)	0,66 0,91	0,998 0,96	0,944 0,51
Стандартизированные коэффициенты регрессии (Beta): $b \cdot (x_3)$, $b \cdot (x_4)$	0,02, 0,81 -0,21, 0,92	0,23, 0,97 0,40, 0,90	-0,61, -0,76 -0,33, 0,63
Стандартная ошибка аппроксимации	62,5 55	2,5 20	0,28 0,95
p-value			
A	0,341152 0,221678	0,060344 0,461180	0,017292 0,064957
X_3^2	0,974549 0,599696	0,125666 0,295167	0,236117 0,718376
X_4^2	0,394863 0,199199	0,030292 0,139209	0,192017 0,535331
t-статистика			
A	1,683944 2,754803	10,51830 1,130047	36,80756 9,766665
X_3^2	0,040000 -0,727273	5,00000 2,000000	-2,57143 -0,473684
X_4^2	1,400000 3,0909090	21,00000 4,500000	-3,21429 0,894737
F- критерий Фишера	0,98 5,04	233 12,125	8,47 0,512
p	0,58 0,30	0,046 0,199	0,236 0,702

Трехмерные изображения уравнений (1)-(6) представлены на рисунке 1.

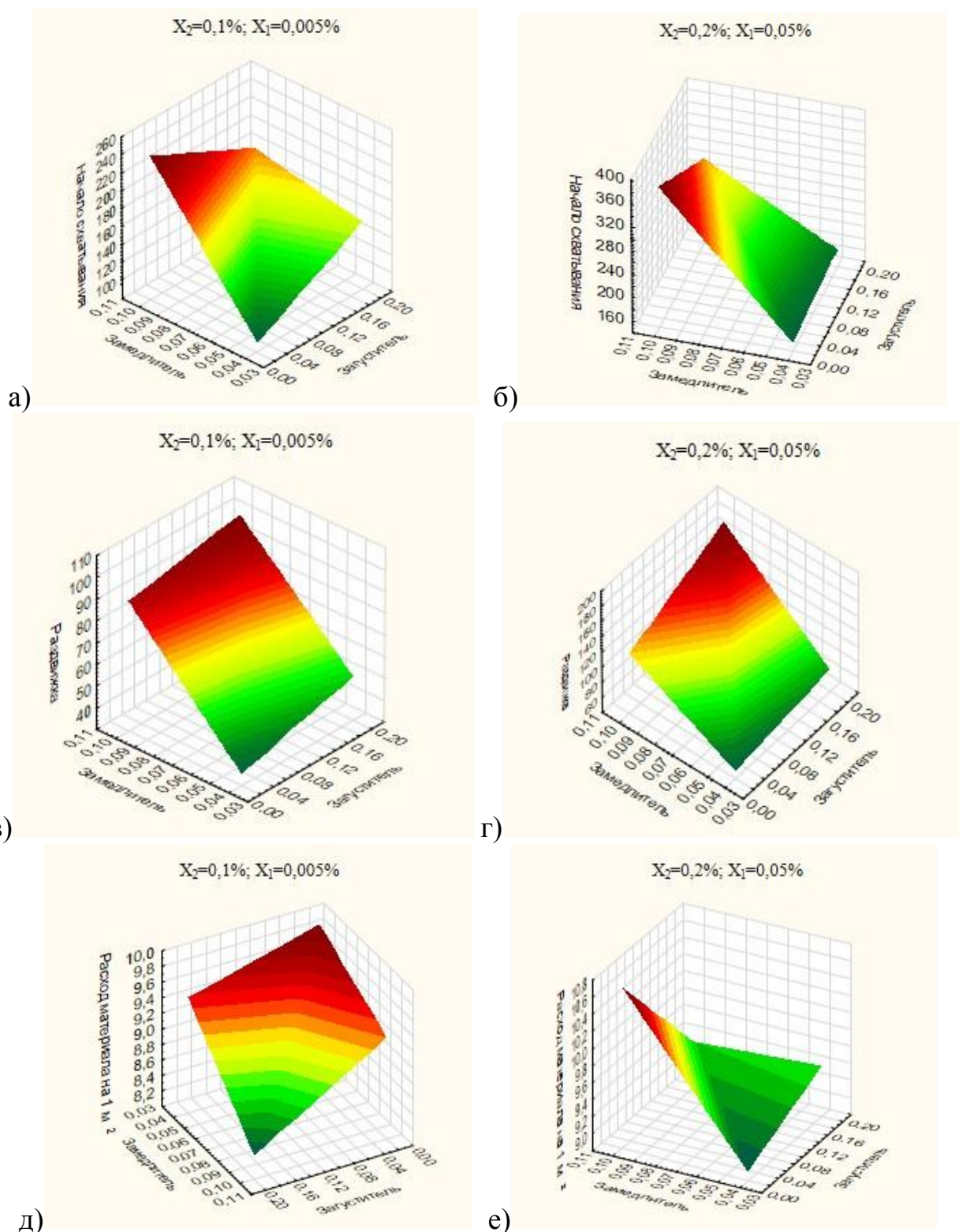


Рис. 1. – Изображения зависимостей:
а) начала схватывания V_1 при минимальных значениях X_1, X_2 ;
б) V_1 при максимальных значениях X_1, X_2 ;
в) раздвижки V_2 при минимальных значениях X_1, X_2 ;
г) V_2 при максимальных значениях X_1, X_2 ;
д) расхода материала на 1 м^2 V_3 при минимальных значениях X_1, X_2 ;
е) V_3 при максимальных значениях X_1, X_2 .

Кроме того, можно отметить, что начало схватывания практически не зависит от загустителя, а раздвижка имеет незначительную связь с дозой загустителя. Варьирование расхода практически на 60...76 % определяется загустителем и замедлителем схватывания [2,7,8]. Причём отрицательное значение коэффициентов регрессии, в уравнении расхода, свидетельствует о негативном влиянии повышения дозировки загустителя и замедлителя схватывания на расход раствора, т.е. увеличение этих добавок в растворе приводит к снижению расхода раствора [2,9,10].

На основании полученных результатов сформулированы следующие выводы:

1. Сравнительно высокие показатели коэффициентов детерминации говорят о том, что дозировка загустителя и замедлителя схватывания определяет, в основном, сроки схватывания, раздвижку и расход.

2. При увеличении дозы водоудерживающих (X_2) и порообразующих (X_1) добавок от 0,1% до 0,2% и от 0,005% до 0,05% вяжущего вещества соответственно для всех возможных сочетаний дозировки загустителя (X_3) и замедлителя схватывания (X_4) наблюдается увеличение времени схватывания на 10...72% и времени раздвижки на 33...80 %.

3. Наименее чувствительная к увеличению водоудерживающих и порообразующих добавок оказалась смесь, в которой количество загустителя $X_3=0,2\%$ (находится на верхнем уровне), а количество замедлителя $X_4=0,04\%$ (на нижнем уровне).

4. Расход материала при этом практически находится на одном уровне и для различных сочетаний загустителя и замедлителя схватывания, изменяется на 10...15%, как в сторону снижения, так и в сторону увеличения. Снижение расхода на 10 % наблюдается в рецепте, когда дозы как загустителя $X_3=0,02\%$, так и замедлителя схватывания $X_4=0,04\%$ находится на нижнем уровне.

5. При дозировке $X_3=0,2$ %, $X_4=0,04$ % изменение расхода материала практически не наблюдается. Для других сочетаний доз загустителя и замедлителя схватывания наблюдается увеличение расхода материала на 12...15%.

Литература

1. Хобот Э.И., Иванов Д.И., Оганнисян С.Р., Сарычев С.В., Максимович В.В. Анализ современных сухих строительных смесей // Экономика и предпринимательство. 2017. № 12-4 (89). С. 1263-1265.

2. Кидакоев М.М., Крымова В.Г., Кидакоева М.М. Исследование влияние загустителя и замедлителя схватывания на строительнотехнологические свойства сухих строительных смесей // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 6 (96). С. 69-74.

3. Байрамуков С.Х., Долаева З.Н. Совершенствование проекта производства работ с учетом факторов ресурсо- и энергосбережения // Инженерный вестник Дона. – 2018. – №4. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5408

4. Bogachkova L.YU, Baybakova K.A. Application of the index method of factor analysis to studying the rates of territorial energy intensity increase (the case of macro-regions of the Russian Federation). Modern Economics: Problems and Solutions. 2020. № 12 (132). Pp. 163-173.

5. Фомченков А.О., Бонадысев К.О. Применение полного факторного эксперимента в анализе сложных линейных цепей//Устойчивое развитие науки и образования. 2020. № 10 (49). С. 157-163.

6. Ястребов А.П., Ши Ч. Факторный анализ инвестиционной и инновационной деятельности строительной компании // Качество. Инновации. Образование. 2019. № 4 (162). С. 76-81.



7. Баженов Ю. М., Коровяков В.Ф., Денисов Г.А. Технология сухих строительных смесей: учебное пособие для вузов. - Москва: Изд-во АСВ, 2003. 95 с.

8. Дергунов С.А., Рубцова В.Н. Проектирование составов сухих строительных смесей // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2005. № 11-12 (563-564). С. 34-41.

9. Гафарова Л.А. Субъектно-факторный анализ создания и распределения стоимости // Инженерный вестник Дона. – 2013. - №4. - URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1970.

10. Байрамуков С.Х., Басов Е.Д., Боровков А.В., Долаева З.Н. [и др.] Проблемы и перспективы развития строительного комплекса и машиностроения: монография. Невинномысск: ГАОУ ВО «Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт», 2018. 155 с.

References

1. Hobot Je.I., Ivanov D.I., Ogannisjan S.R., Sarychev S.V., Maksimovich V.V. Jekonomika i predprinimatel'stvo. 2017. № 12-4 (89). Pp. 1263-1265.

2. Kidakoev M.M., Krymova V.G., Kidakoeva M.M. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2020. № 6 (96). Pp. 69-74.

3. Bajramukov S.H., Dolaeva Z.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5408

4. Bogachkova L.YU, Baybakova K.A. Modern Economics: Problems and Solutions. 2020. № 12 (132). Pp. 163-173.

5. Fomchenkov A.O., Bonadysev K.O. Ustojchivoe razvitie nauki i obrazovanija. 2020. № 10 (49). Pp. 157-163.

6. Jastrebov A.P., Shi Ch. Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie. 2019. № 4 (162). Pp. 76-81.



7. Bazhenov Ju. M., Korovjakov V.F., Denisov G.A. Tehnologija suhih stroitel'nyh smesej [Technology of dry building mixes]: uchebnoe posobie dlja vuzov. Moskva: Izd-vo ASV, 2003. 95 p.

8. Dergunov S.A., Rubcova V.N. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2005. № 11-12 (563-564). Pp. 34-41.

9. Gafarova L.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013. №4. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1970.

10. Bayramukov S.H., Basov E.D., Borovkov A.V., Dolaeva Z.N. [i dr.] Problemy i perspektivy razvitija stroitel'nogo kompleksa i mashinostroenija: monografija [Problems and prospects for the development of the construction complex and engineering]. Nevinnomyssk: GAOU VO «Nevinnomysskij gosudarstvennyj gumanitarno-tehnicheskij institut», 2018. 155 p.

Дата поступления: 24.11.2023

Дата публикации: 6.01.2024