

ПОИСК ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНЫХ СОСТАВОВ ОБЛЕГЧЕННОЙ ШТУКАТУРКИ НА ОСНОВЕ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Москалёва К.М., к.т.н., доцент

Одесская государственная академия строительства и архитектуры
prodank@ukr.net

Аннотация. На текущем этапе развития строительной индустрии сухие строительные смеси (ССС) применяются практически на всех этапах строительства. Эффективным средством анализа и оптимизации структуры, качества и технологических параметров производства многокомпонентных строительных материалов является – экспериментально-статистическое моделирование. Для поиска многокомпонентного состава штукатурного раствора реализован способ, основанный на многофакторном статистическом моделировании и итерационном случайном сканировании полей свойств с использованием метода Монте-Карло. По результатам вычислительного эксперимента выбраны составы, в которых снижено количество дорогостоящих компонентов смеси при улучшении физико-технических характеристик полученного состава.

Ключевые слова: сухая строительная смесь, полимер, экспериментально-статистическая модель.

ПОШУК ОБЛАСТІ РАЦІОНАЛЬНИХ СКЛАДІВ ПОЛЕГШЕНОЇ ШТУКАТУРКИ НА ОСНОВІ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ

Москальова Х.М., к.т.н., доцент

Одеська державна академія будівництва та архітектури
prodank@ukr.net

Анотація. На поточному етапі розвитку будівельної індустрії сухі будівельні суміші (СБС) застосовуються практично на всіх етапах будівництва. Ефективним засобом аналізу і оптимізації структури, якості і технологічних параметрів виробництва багатокомпонентних будівельних матеріалів є експериментально-статистичне моделювання. Для пошуку багатокомпонентного складу штукатурного розчину реалізовано спосіб, який заснований на багатофакторному статистичному моделюванні та ітераційному випадковому скануванні полів властивостей з використанням методу Монте-Карло. За результатами обчислювального експерименту обрані склади, в яких знижена кількість дорогих компонентів суміші при поліпшенні фізико-технічних характеристик отриманого складу.

Ключові слова: суха будівельна суміш, полімер, експериментально-статистична модель, метод Монте-Карло.

THE SEARCH OF AREA RATIONAL COMPOSITION OF LIGHTWEIGHT PLASTERS BASED ON DRY BUILDING MIXES

Moskalova S.M., Ph.D, Associate Professor

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture
prodank@ukr.net

Abstract. Computer search of dry building plaster mixes with improved (in comparison with normalized) technological and exploitative properties due to the introduction of the modifying

polymer additives and light fillers. At the current stage of development of the construction industry, dry building mixes (DBM) are used in almost all stage of construction. In addition to the mineral binders and fillers in the DBM include polymeric additives which give to the final product certain specific properties. Sufficiently important becomes task of ensuring the stability of the properties of the dry mixture at low expenses. An effective tool for the analysis and optimization of the structure, quality and technological parameters of the production of building materials is - experimentally statistic modeling. Searching for a multicomponent composition plaster mix implemented method based on multivariate statistical modeling and iterative random scanning fields' properties using the Monte Carlo method. According to the results of computational experiment are selected compounds that reduced the number of expensive components of the mixture and improving the physical and technical characteristics of the resulting composition.

Keywords: dry building mixes, polymer, experimental-statistical model, Monte Carlo method.

Введение. В настоящее время широкое распространение получают строительные технологии, основанные на применении модифицированных сухих смесей, это связано с рядом преимуществ: минимум технологических операций для перевода сухих смесей в рабочее состояние (затворение водой); снижение на 5-7% отходов растворов за счет применения пластифицирующих и водоудерживающих добавок; стабильность показателей сухих смесей и растворов на их основе в результате точной дозировки компонентов и эффективности смешения; повышение производительности труда в 1,5-3 раза за счет улучшения пластичных свойств растворных смесей и механизированного выполнения работ; уменьшение на 10-15% транспортных расходов и повышение качества работ при одновременном снижении трудоемкости технологических процессов.

Цели и задачи. В условиях растущего потребления и производства модифицированных сухих строительных смесей, росте конкуренции, все более актуальной становится задача повышения эффективности производства при минимальных капитальных вложениях. Наиболее важным является обеспечение стабильности свойств сухой смеси при минимальных затратах.

Объект и методы исследования. Эффективным средством анализа и оптимизации структуры, качества и технологических параметров производства многокомпонентных строительных материалов является один из методов компьютерного материаловедения - экспериментально-статистическое моделирование (ЭСМ). Анализ показателей качества композиционных материалов производится по ЭС-моделям [1, 2, 3], которые описывают влияние рецептурно-технологических факторов на Y - показатель качества материала.

В качестве базового в эксперименте был принят состав цементно-известковой легкой выравнивающей штукатурки на основе перлита. Состав представляет собой полимерцементную смесь, содержащую в себе перлитовый песок, редиспергируемые порошки Vinnapas, а также водоудерживающую и воздухововлекающую добавки.

Для определения основных эксплуатационных и физико-механических свойств штукатурных смесей были исследованы 18 базовых составов. Для обеспечения равной технологичности все исследованные штукатурные смеси обладали одинаковой подвижностью, которая определялась с помощью встряхивающего столика по диаметру расплыва, диаметр расплыва всех смесей соответствовал 16-17 см. Это условие, выбрано исходя из результатов анализа поведения выпускаемых сухих смесей и параметров оборудования. Получение равноподвижных растворов обеспечивалось коррекцией воды затворения.

В соответствии с планом эксперимента на 1 м^3 сухой смеси варьировались:

- известняк-ракушечник ($X_1 = 80 \pm 20 \text{ м.ч}$);
- перлитовый вспученный песок ($X_2 = 40 \pm 10 \text{ м.ч}$);
- метилгидроксиэтилцеллюлоза Tylose 60010 ($X_3 = 1,15 \pm 0,15 \text{ м.ч}$);
- полимерный редиспергируемый порошок Vinnapas RE 5034N ($X_4 = 1,5 \pm 0,5 \text{ м.ч}$).

Базовый состав, который включал в себя вяжущее, минеральные наполнители, полимерную добавку оставался постоянным.

Результаты исследований. По полученным в натурном эксперименте результатам, были построены четырехфакторные экспериментально-статистические модели, описывающие исследованные критерии качества. Поля, описанные этими моделями, можно охарактеризовать обобщающими показателями которые облегчают их сравнительный анализ, табл.1.

Таблица 1– Обобщающие показатели штукатурного раствора

Пара метр Y	R _A , МПа		ρ, кг/м ³		R _{изг} , МПа		R _{сж} , МПа		
	min	max	min	max	min	max	min	max	
Y _{экс}	0.08	0.49	1046	1333	1.83	3.49	4.08	8.8	
Координаты Y _{экс}	x ₁	-1	-0.6	1	-1	1	-0.5	1	-0.7
	x ₂	1	1	1	-1	-1	0.1	-1	1
	x ₃	-1	0.7	1	-1	1	0.1	1	0.5
	x ₄	-1	1	-1	-1	-1	0.2	-1	0.7
ΔY	0.41		287		1.66		4.72		
δY	6.1		1.27		1.9		2.2		
S	0.03		28.5		0.166		0.37		

Для поиска многокомпонентного состава штукатурного раствора реализован способ, основанный на многофакторном статистическом моделировании и итерационном случайном сканировании полей свойств с использованием метода Монте-Карло. Многокритериальный поиск оптимальных составов позволяет определить гарантирующие рецептурно-технологические решения разных уровней – оптимальные и компромиссные. Компьютерный поиск компромиссных решений [4] не имеет ограничений на число факторов k, число критериев-ограничений M{Y_{ном}} и критериев оптимальности M{Y_{опт}}.

Так как практически все свойства исследованных составов не выходили за пределы рекомендованных или нормированных [5], в качестве оптимизируемых факторов были выбраны – прочность на сжатие R_{сж} ≥ 7 МПа, прочность на изгиб R_{изг} ≥ 2 МПа и адгезия R_A ≥ 0.3 МПа.

Задачей исследования являлось максимизировать прочностные характеристики, при этом стремиться к тому, чтобы плотность композитов не превышала 1200 кг/м³. Исходными для оптимизации и поиска компромисса принимались медианные уровни модельно-детерминированных полей свойств. Для максимизируемых R_{изг}, R_{сж} и R_A эти значения соответственно: R_{изг.М} = 0.5(R_{max}+R_{min}) = 0.5(3.48+1.83) = 3.07, R_{сж.М} = 0.5(R_{max}+R_{min}) = 0.5(8.76+4.08) = 7.38 и R_{A.М} = 0.5(R_{max}+R_{min}) = 0.5(0.48+0.08) = 0.27. Изменение интервалов факторов в ходе вычислительного эксперимента показано на рис. 1.

На первом этапе первой итерации «1-0» в области полей генерируются N случайных равномерно распределенных векторов x; в данном случае область состоит из 1016 составов. Диапазон каждого фактора (x₁-x₄) составляет от -1 до +1. Для дальнейшего анализа отбираются те составы уровни критериев R_{изг}, R_{сж} и R_A которых удовлетворяют поставленным им нормативным требованиям, а остальная часть составов («неудовлетворительные» составы по нормативу) уничтожаются. Таким образом, этап «1-1» формирует допустимую область; предельный уровень оптимизированных критериев совпадает с соответствующими медианными. После первой итерации в допустимой области осталось 235 составов, со следующими показателями R_{изг} > 3 МПа, R_{сж} > 8 МПа, и R_A > 0.35 МПа.

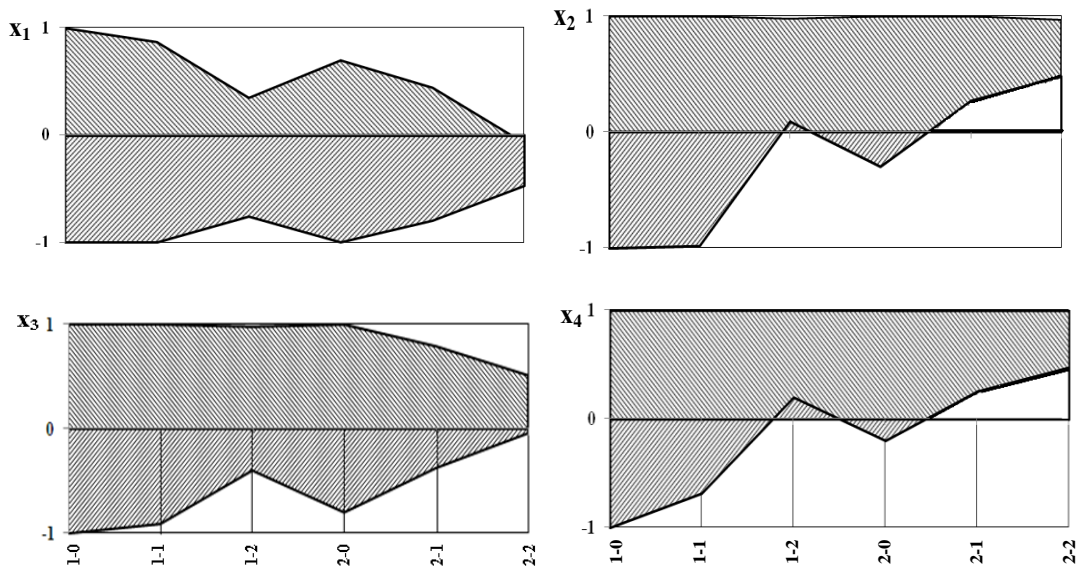


Рис.1. Диапазоны изменения четырех нормализованных факторов в вычислительном эксперименте

На этапе «1-2» проводится пошаговое приближение к максимумам $R_{сж} = 8.75$ МПа, $R_{изг} = 3.49$ МПа и $R_A = 0.49$ МПа. В данном эксперименте область поиска сократилась до 53 составов (рис.1). Дальнейшее приближение к оптимумам на первой итерации затруднительно. На рис. 2 показан результат оптимизации на этом этапе, уровни критериев лучше медианных ($R_{сж} = 8 > R_{сж,м} = 7.38$ МПа и $R_A = 0.35 > R_{A,м} = 0.27$ МПа). Итерационный процесс следует продолжить, генерируя новые 1000 точек в расширенной (рис. 2), с учетом шага $\Delta_1 x_i$ области компромисса.

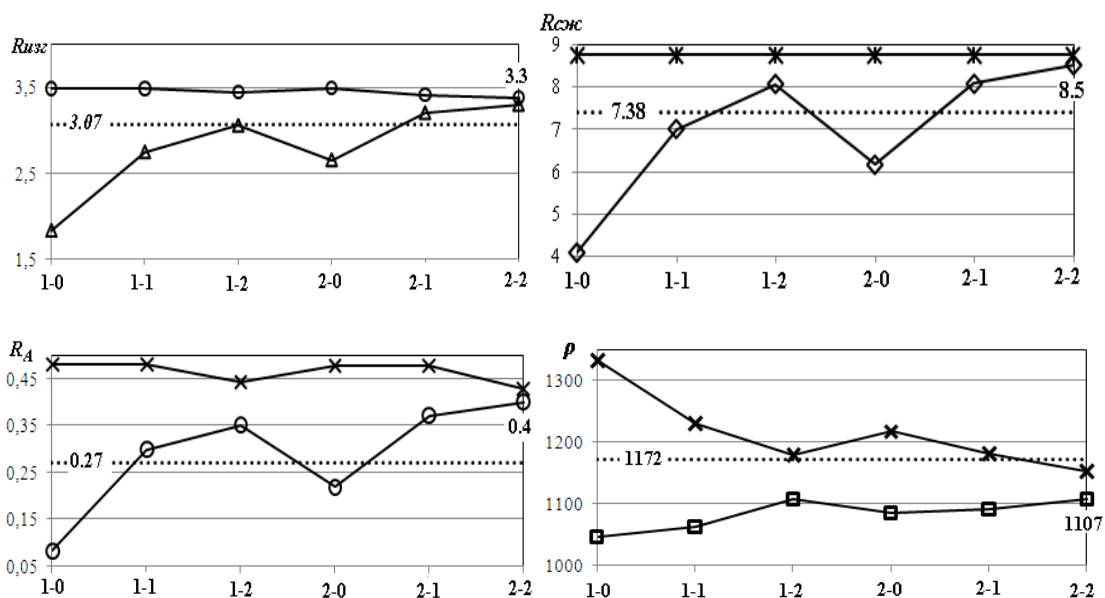


Рис. 2. Изменения оптимизируемых свойств в ходе вычислительного эксперимента

Основное внимание на второй итерации (этап 1-2) обращено на поиск составов обеспечивающих максимальные прочностные характеристики в области низкой плотности.

На этапе «2-2» границы области оставшихся составов (рис.1), значительно сблизились. У этих составов границы диапазонов оптимизируемых критериев (рис.2) практически

сомкнулись, на этом процесс поиска можно прекратить.

Вывод. По результатам вычислительного эксперимента выбраны составы в которых количество известняка-ракушечника удалось снизить до 65 м.ч., дозировка перлита составила 48 м.ч., количество водоудерживающей добавки 1.2 м.ч и релаксированного порошка 1.9 м.ч., содержание остальных компонентов штукатурной смеси остаётся неизменным.

Физико-технические характеристики полученного состава, улучшены по сравнению с требованиями ДСТУ-П Б В.2.7-126:2011, результаты приведены в табл.2.

Таблица 2 – Показатели затвердевшего раствора оптимального состава

	Показатели качества раствора	Норматив	Результат
1	Прочность на сжатие, МПа	7	8.8
2	Прочность на растяжение при изгибе, МПа	2	3.3
3	Плотность, кг/м ³	1500	1130
4	Адгезия, МПа	0.3	0.4
5	Морозостойкость, циклы	50	50-90

Литература

1. Вознесенский В.А. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Я.П. Иванов, Н.И. Николов.– К.: Будівельник, 1989. – 240 с.
2. Современные методы оптимизации композиционных материалов / под ред. В.А. Вознесенского. – К: Будівельник, 1989. – 144 с.
3. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков. – К.: Высшая школа, 1989. – 328 с.
4. Вознесенский В.А. ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Одесса: Астропринт, 2006. – 116 с.
5. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-126:2011. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 53 с.