

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-9-18

Лукутцова Н.П., Карников Е.Г., Горностаева Е.Ю., Соболева Г.Н.Брянский государственный инженерно-технологический университет***E-mail: natluk58@mail.ru*

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ДОБАВКИ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО ВОЛЛАСТОНИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО АЛГОРИТМА ПОИСКА ЭКСТРЕМУМОВ

Аннотация. В статье рассмотрена оптимизация содержания компонентов добавки стабилизированного высокодисперсного волластонита с использованием разработанных и запатентованных программ *Extr.sce* и *Interp.sce* на базе среды инженерных и научных вычислений *Scilab* с применением результатов, полученных методом ортогонального композиционного центрального планирования эксперимента. Программа *Extr.sce* представляет собой компьютерный код, направленный на решение оптимизационных задач посредством алгоритма поиска максимальных элементов массива интерполяционных данных с вычислением их координат. Программа *Interp.sce* предназначена для вычисления уточняющих координат искомых характеристик, полученных по программе *Extr.sce*, что позволяет определить наилучшие сочетания компонентов и технологических параметров исследуемых моделей. Выполнен расчет оптимальной прочности мелкозернистого бетона через 28 суток естественного твердения в зависимости от состава модификатора на основе высокодисперсного волластонита и времени ультразвукового диспергирования с выводом визуальных моделей обработки данных в виде контурных и 3d-графиков интерполяционной поверхности. В результате моделирования установлено, что максимальная эффективность добавки достигается при содержании в ней волластонита 0,53 % и стабилизатора «Модификатор М» – 0,2 % при частоте 35 кГц и времени ультразвукового диспергирования 5 минут. Оптимизированный состав добавки стабилизированного высокодисперсного волластонита с использованием компьютерного алгоритма поиска экстремумов дает возможность получить мелкозернистый бетон с прочностью при изгибе 6,8 МПа и сжатии – 58,5 МПа.

Ключевые слова: оптимизация, моделирование, добавка стабилизированного высокодисперсного волластонита, мелкозернистый бетон, прочность.

Введение. Проектирование состава является одним из важнейших этапов технологии композиционного строительного материала, а моделирование этого процесса – первым этапом разработки информационно-управляющей системы управления его характеристиками.

Метод математического моделирования позволяет определить, как стратегию экспериментальных исследований, так и свойства композиционных материалов, и вместе с тем получить количественные зависимости для регулирования состава композита [1, 2, 10].

Решение многофакторных задач основано на современной теории планирования и моделирования практического и математического экспериментов. В данной работе рассмотрен метод ортогонального композиционного центрального планирования эксперимента с последующим экстремальным моделированием полученных данных.

Целью работы является оптимизация содержания компонентов добавки высокодисперсного волластонита с использованием запатентованных программ *Extr.sce* и *Interp.sce*, предназначенных для поиска экстремумов прочностных харак-

теристик мелкозернистого бетона (МЗБ), соответствующих оптимальному составу исследуемого модификатора.

Материалы и методы. В качестве минерального компонента для получения добавки использовался некондиционный волластонит со средним размером частиц 6,5 мкм, имеющий ограниченное функциональное применение в промышленности, выпускающей материалы и изделия с волластонитом размерами свыше 10 мкм.

Известно, что волластонит обладает рядом ценных свойств. Кристаллы волластонита позволяют микроармировать МЗБ [3], а также снижают усадку и повышают прочностные показатели композитов. Волластонит исключает расслоение бетонных смесей благодаря способности его кристаллов адсорбировать на своей поверхности частицы твердой фазы [4]. Специальные составы на основе волластонита обладают теплоизоляционными свойствами. Краски и пены, имеющие в своем составе волластонит, пожаробезопасны, легко наносятся на подготовленную поверхность и образуют прочное покрытие [5–7].

Основные характеристики, применяемого в данном исследовании волластонита, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики волластонита

Наименование показателя	Фактическое значение
Химический состав	
CaO, %	45,0
MgO, не более, %	0,8
SiO ₂ , %	51,0
Fe ₂ O ₃ , %	0,3
Al ₂ O ₃ , не более, %	0,35
п.п.п., %	2,55
Технологические параметры	
Массовая доля влаги, %	0,3
Показатель концентрации водородных ионов в 10 % водной суспензии (рН)	10,0
Медианный диаметр частиц, мкм:	
– средний диаметр (D50)	6,5
– максимальный диаметр (D98)	65,3

Добавку получали методом ультразвукового диспергирования (УЗД) волластонита в активаторе ванного типа УЗВ-13/150-ТН-РЭЛТЕК при частоте 35 кГц, в водной среде стабилизаторов: анионного поверхностно-активного вещества нафталин-формальдегидного типа – суперпластификатора С-3 (ООО «РоссПолимер», РФ, г. Москва) и поверхностно-активного вещества на основе эфира поликарбоксилата – «Модификатор М».

Мелкозернистый бетон изготавливали из цемента ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н (ОАО «Белорусская цементная компания», Республика Беларусь, Могилевская область, г. Костюковичи), кварцевого песка с модулем крупности 1,5 (ООО «Агро-стройинвест», РФ, г. Брянск) и воды (МУП «Брянский городской водоканал», г. Брянск).

Добавку вводили в бетонную смесь в количестве 10 % от массы цемента в виде водного раствора с заменой части воды затворения.

Соотношение компонентов бетонной смеси цемент : заполнитель составляло 1:3. Водоцементное отношение варьировалось в зависимости от содержания стабилизатора в добавке.

Основная часть. Методом математического планирования полного факторного эксперимента, установлено положительное влияние добавки высокодисперсного волластонита стабилизированного С-3 на прочностные характеристики мелкозернистого бетона [13-15].

На первом этапе при построении математической модели рассматривали функцию, объединяющую зависимости прочности МЗБ при изгибе и сжатии, с переменными факторами содержания в суспензии волластонита (X_1), С-3 (X_2) и времени УЗД (X_3), которые варьировались в следующих интервалах: X_1 – от 0 до 10 г, X_2 – от 0 до 5 г, X_3 – от 5 до 15 мин.

Расчет коэффициентов регрессии осуществлялся компьютерной программой Urofy, формирующей функции, связывающие изменение прочности мелкозернистого бетона при изгибе (Y_1) и сжатии (Y_2), через 28 суток естественного твердения, от факторов X_1 , X_2 и X_3 . Уравнения зависимости параметров оптимизации от переменных факторов описываются следующими полученными уравнениями регрессии

$$Y_1 = 6,03 - 0,17x_1 - 0,05x_2 - 0,1x_3 - 0,05x_1^2 + 0,13x_2^2 + 0,16x_3^2 + 0,51x_1x_2 + 0,01x_1x_3 - 0,09x_2x_3; \quad (1)$$

$$Y_2 = 47,71 + 1,49x_1 - 0,32x_2 + 0,75x_3 - 7,01x_1^2 - 6,38x_2^2 - 6,65x_3^2 + 3,36x_1x_2 + 0,06x_1x_3 - 2,36x_2x_3. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) следует, что наибольшее влияние на прочность при сжатии оказывают факторы: X_1 – количество волластонита и X_3 – время УЗД. При их увеличении прочность при сжатии возрастает.

Влияние переменных факторов на прочность МЗБ при изгибе и сжатии представлено в виде номограмм на рисунке 1.

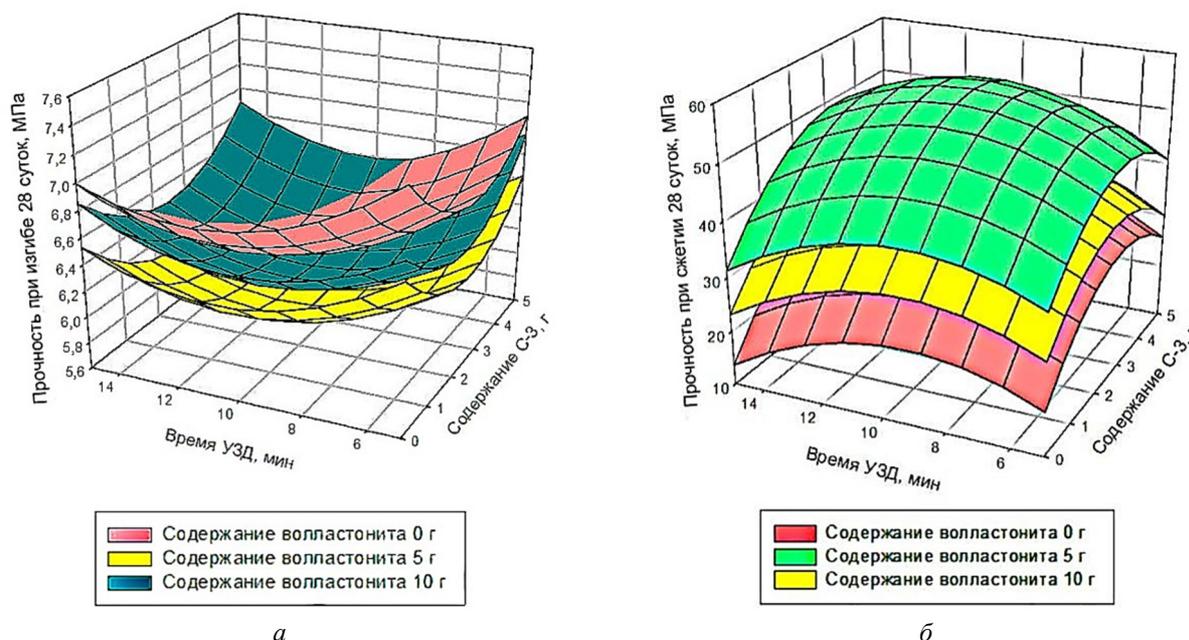


Рис. 1. Номограммы зависимости прочности МЗБ, модифицированного добавкой высокодисперсного волластонита, от содержания в ее составе С-3 и времени УЗД
а) прочность при изгибе, б) прочность при сжатии

Как видно из полученных номограмм, зависимость прочности при сжатии от содержания в добавке С-3 в качестве стабилизатора носит экстремальный характер. Такая же зависимость наблюдается для времени ультразвукового диспергирования. С увеличением времени УЗД от 0 до 10 минут прочность при сжатии возрастает до максимальных значений, а при дальнейшем изменении от 10 до 15 минут снижается.

При этом повышение содержания С-3 от 0,25 до 0,5 % в составе вводимой в бетонную смесь добавки, при времени УЗД 10 минут, позволяет добиться максимальных показателей прочности МЗБ.

Установлено, что применение суспензии волластонита с концентрацией 0,5 %, прошедшего УЗД в активаторе ванного типа, в течение 10 мин, в присутствии стабилизатора водной суспензии С-3, в количестве 0,5 %, обеспечивает получение мелкозернистого бетона с прочностью при изгибе 6,3 МПа и при сжатии 43,6 МПа.

Аналогично рассмотрено влияние добавки высокодисперсного волластонита, стабилизированного «Модификатором М», на прочностные характеристики МЗБ.

Функции зависимостей прочности при изгибе (Y_3) и сжатии (Y_4), через 28 суток естественного твердения МЗБ, от влияющих факторов для «Модификатора М», описываются следующими полученными уравнениями регрессии

$$Y_3 = 5,82 - 0,07x_4 - 0,06x_5 - 0,11x_6 + 0,39x_4^2 + 0,42x_5^2 + 0,33x_6^2 + 0,09x_4x_5 + 0,09x_4x_6 - 0,01x_5x_6; \quad (3)$$

$$Y_4 = 55,43 + 3,47x_4 + 4,73x_5 + 0,04x_6 - 12,89x_4^2 - 9,65x_5^2 - 7,7x_6^2 - 1,15x_4x_5 + 0,18x_4x_6 + 2,08x_5x_6. \quad (4)$$

Из уравнений (3) и (4) следует, что на прочность при сжатии оказывают влияние следующие факторы: X_1 – количество волластонита, X_2 – количество «Модификатора М» и X_3 – время УЗД. При увеличении их значений прочность при сжатии возрастает.

В соответствии с номограммами зависимости прочности МЗБ с добавкой высокодисперсного волластонита от содержания в ее составе стабилизатора «Модификатора М» и времени

УЗД (рис. 2) следует, что для повышения прочности мелкозернистого бетона наиболее эффективным является способ его модификации путем введения добавки с концентрацией волластонита 0,5%, прошедшего УЗД в активаторе ванного типа в течение 10 мин, в присутствии «Модификатора М» в количестве 0,5 %. Разработанный состав обеспечивает получение МЗБ с прочностью при изгибе 6,6 МПа и при сжатии 57,8 МПа.

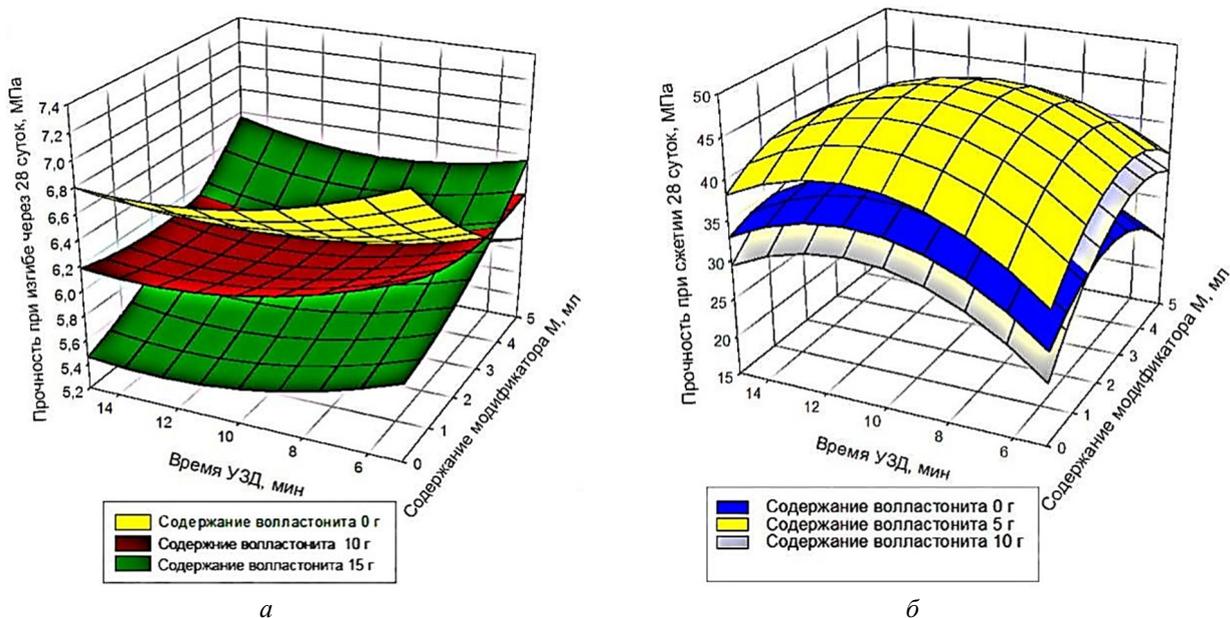


Рис. 2. Номограммы зависимости прочности МЗБ, модифицированного добавкой высокодисперсного волластонита, от содержания в ее составе стабилизатора «Модификатор М» и времени УЗД
 а) прочность при изгибе, б) прочность при сжатии

На втором этапе, на основе полученных экспериментальных данных, оптимизацию состава исследуемой добавки проводили спомощью запатентованной авторами [8] программы моделирования Extr.sce на базе среды инженерных и научных вычислений Scilab. Программа Extr.sce представляет собой компьютерный код, интегрированный в среду Scilab [11, 12], направленный на решение оптимизационных задач посредством алгоритма поиска максимальных элементов массива интерполяционных данных с получением их координат.

Ввод исходных данных для их обработки в программе Extr.sce, полученных на первом этапе оптимизации состава суспензии при формировании математических моделей взаимосвязи параметров оптимизации от переменных факторов, осуществляется посредством построения матриц зависимостей переменных, заданных функцией вида

$$z = f(X_1, X_2, X_3), \tag{5}$$

где z – искомая величина.

```

Командное окно Scilab 5.6.2
-->n=input ('Ввести размерность исходных векторов данных n=');
Ввести размерность исходных векторов данных n=3
-->//Вектор первого аргумента
-->disp('Ввести вектор-строку x=[...]')

Ввести вектор-строку x=[...]
-->x=input('x=');
x=
-->//Вектор второго аргумента
-->disp('Ввести вектор-строку y=[...]')

Ввести вектор-строку y=[...]
-->y=input('y=');
y=
-->//Матрица экспериментальных данных
-->disp('Ввести матрицу исходных данных z=[. . .; . . .]')

Ввести матрицу исходных дБ
      °нных z=[. . .; . . .]
z=
-->z=input('z=');
    
```

Рис. 3. Диалоговое окно ввода исходных данных программы Extr.sce

В результате обработки загруженных моделей экспериментальных данных в программе Extr.sce, определены экстремумы искомых характеристик мелкозернистого бетона Max_z и их координаты

max_x ; max_y , соответствующие содержанию стабилизатора суспензии С-3 (X) и времени УЗД (Y), представленные в таблице 2.

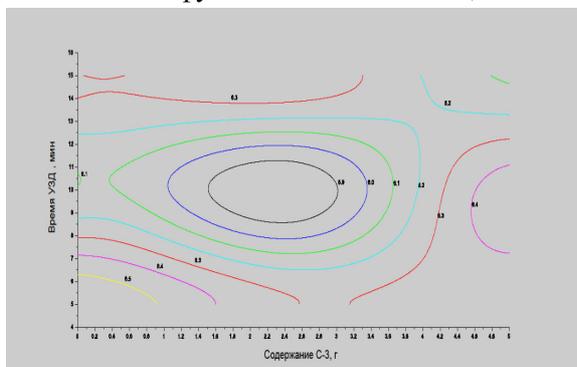
Таблица 2

Экстремумы искомых характеристик МЗБ, модифицированного добавкой высокодисперсного волластонита, стабилизированного С-3

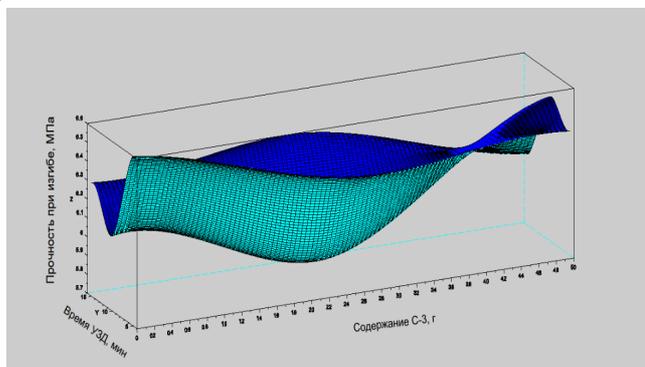
Характеристика	Максимальное значение <i>Max_z</i>	Координаты (содержание)		
		<i>w</i> (волластонит), г	<i>max_x</i> (С-3), г	<i>max_y</i> (время УЗД), мин
Прочность при изгибе через 28 суток, МПа	6,3	0	0	9,3
	6,6	5	0	5
	6,5	10	2,7	8,9
Прочность при сжатии через 28 суток, МПа	40,2	0	5	5
	43,6	5	2,5	5
	43,7	10	5	5

Анализ данных в программе Extr.sce дает возможность сформировать модели зависимости в виде контурных графиков и 3d-графиков интерполяционной поверхности. Полученные графики содержат в себе расчетные элементы обработанного массива данных в форме экстремумов заданной функции. Установлено, что МЗБ,

модифицированный добавкой, содержащей 0,5% волластонита, прошедший УЗД в течение 5 минут, обладает улучшенными показателями прочности при изгибе, в то время как состав добавки: волластонит – 1% + С-3 – 0,27%, с тем же временем УЗД, увеличивает прочность при сжатии.

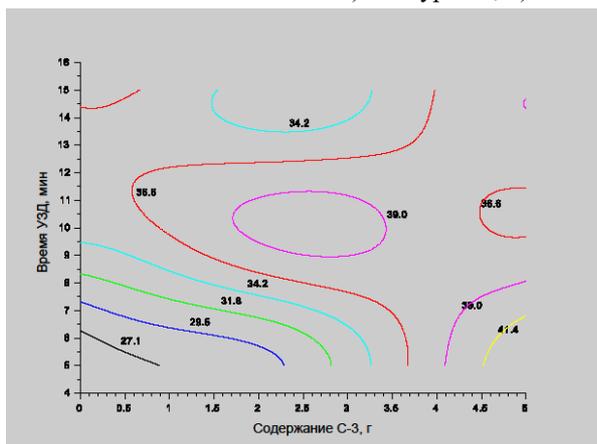


а

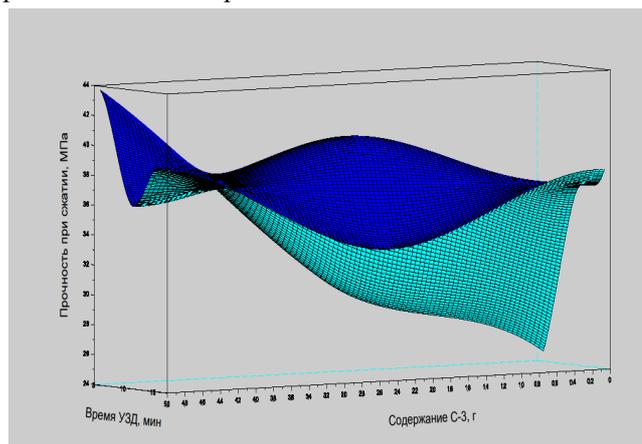


б

Рис. 4. Графики моделей зависимости прочности при изгибе мелкозернистого бетона, модифицированного добавкой высокодисперсного волластонита от содержания в ней стабилизатора С-3 через 28 суток твердения, при концентрации волластонита в суспензии $w = 0,5 \%$
а) контурный, б) 3d интерполяционная поверхность



а



б

Рис. 5. Графики моделей зависимости прочности при сжатии мелкозернистого бетона, модифицированного добавкой высокодисперсного волластонита от содержания в ней стабилизатора С-3 через 28 суток твердения, при концентрации волластонита в суспензии $w = 1\%$
а) контурный, б) 3d интерполяционная поверхность

Модели обработки исходных данных представлены в виде контурных графиков и 3d-графиков интерполяционной поверхности на рисунках 4 и 5.

Аналогичным образом определены экстремальные точки искомых характеристик мелкозернистого бетона – прочности при сжатии и изгибе Max_z , а также их координаты max_x ;

max_y , соответствующие содержанию стабилизатора суспензии «Модификатор М» (X) и времени УЗД (Y).

Данные в таблице 3 демонстрируют выполненные оптимизационной задачи повышения прочности при сжатии мелкозернистого бетона с добавкой состава: волластонит – 0,5 % + «Модификатор М» –

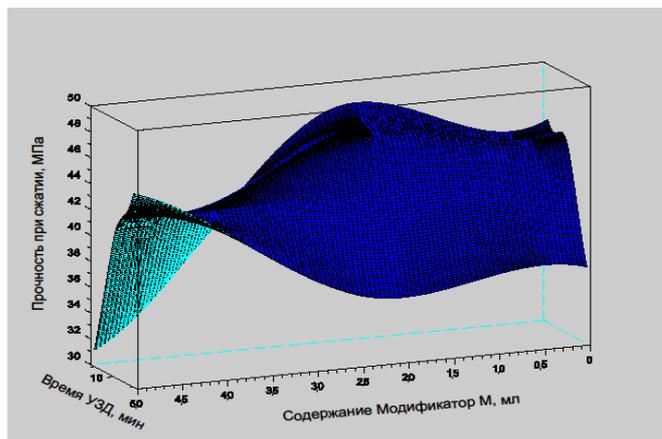
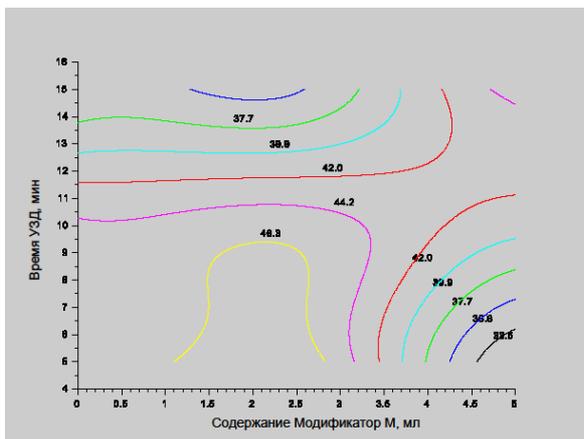
0,21 % и временем УЗД – 5 минут, а также прочности при изгибе, путем введения в бетонную смесь добавки волластонита концентрацией 1%, прошедшего УЗД в течение 15 минут. При этом прочность при сжатии увеличивается на 45 % в отличие от контрольного немодифицированного образца.

Модели обработки исходных данных в программе Extr.sce показаны на рисунках 6 и 7.

Таблица 3

Экстремумы искомых характеристик МЗБ, модифицированного добавкой, стабилизированной «Модификатором М»

Характеристика	Максимальное значение Max_z	Координаты (содержание)		
		w (волластонит), г	max_x («Модификатор М»), мл	max_y (время УЗД), мин
Прочность при изгибе через 28 суток, МПа	6,3	0	0	5
	6,7	5	2,3	15
	6,9	10	0	15
Прочность при сжатии через 28 суток, МПа	36,5	0	2,8	9
	58,4	5	2,1	5
	40,0	10	2,8	5

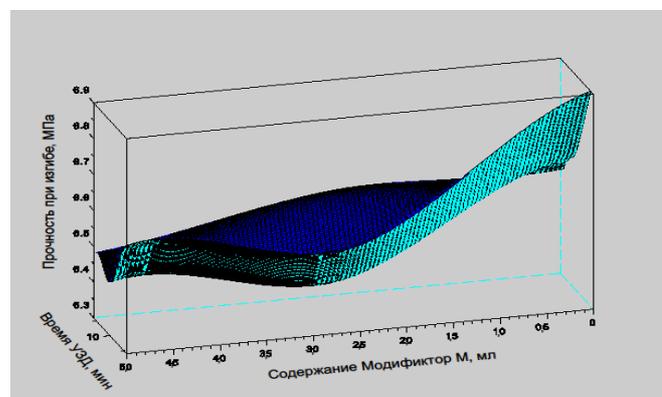
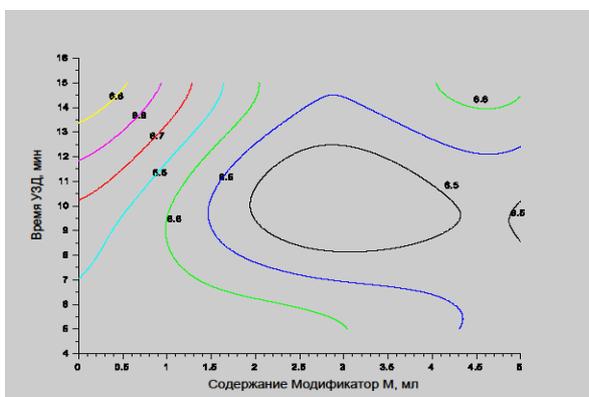


а

б

Рис. 6. Графики моделей зависимости прочности при сжатии мелкозернистого бетона модифицированного добавкой высокодисперсного волластонита от содержания в ней стабилизатора «Модификатор М» через 28 суток твердения, при концентрации волластонита в суспензии $w = 0,5 \%$

а) контурный, б) 3d интерполяционная поверхность



а

б

Рис. 7. Графики моделей зависимости прочности при изгибе мелкозернистого бетона, модифицированного добавкой высокодисперсного волластонита от содержания в ней стабилизатора «Модификатор М» через 28 суток твердения, при концентрации волластонита в суспензии $w = 1 \%$

а) контурный, б) 3d интерполяционная поверхность

Для уточнения результатов и сужения области поиска оптимального содержания компонентов добавки, а именно количества вводимого в ее

состав волластонита, использовалась программа Interp.sce [9].

Таблица 4

Результаты моделирования в программе Interp.sce

Характеристика	Максимальный элемент интерполяционного массива \max_u , прочностные показатели, МПа	Координата максимального элемента массива \max_x , содержание стабилизатора, г
Прочность при изгибе через 28 суток, МПа (стабилизатор С-3)	6,6	5,8
Прочность при сжатии через 28 суток, МПа (стабилизатор С-3)	44,1	7,7
Прочность при изгибе через 28 суток, МПа (стабилизатор «Модификатор М»)	6,9	10,0
Прочность при сжатии через 28 суток, МПа (стабилизатор «Модификатор М»)	58,5	5,3

Программа Interp.sce предназначена для поиска максимальных элементов с получением координат уточняющей модели.

Результатом загрузки в программу Interp.sce, оптимизированных программой Extr.sce моделей, является вычисление максимального параметра интерполяционного массива \max_u и его координаты \max_x , соответствующей уточненному содержанию волластонита (x) (табл. 4).

Модели обработки данных (рис. 8) показывают, что оптимальное содержание высокодис-

персного волластонита в составе добавки, стабилизированной С-3, составляет 0,57 %, для повышения прочности при изгибе до 6,6 МПа, и 0,76 % для повышения прочности при сжатии до 44,1 МПа. Наиболее эффективный результат достигается при использовании в качестве стабилизатора суспензии «Модификатор М», с содержанием волластонита 1%, что позволяет изменить прочность при изгибе до 6,9 МПа, в то время как содержание волластонита в количестве 0,53% способствует увеличению прочности при сжатии до 58,5 МПа.

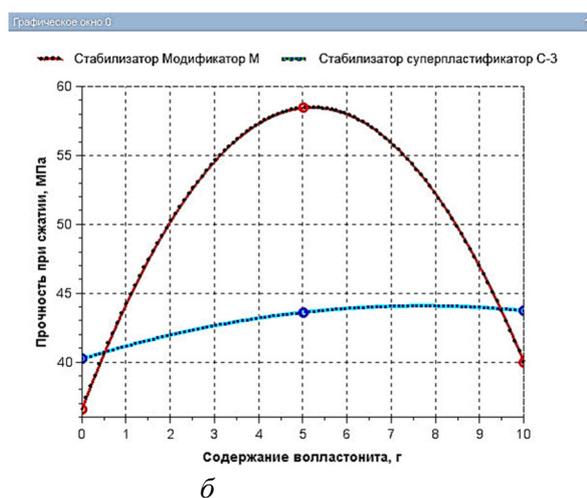
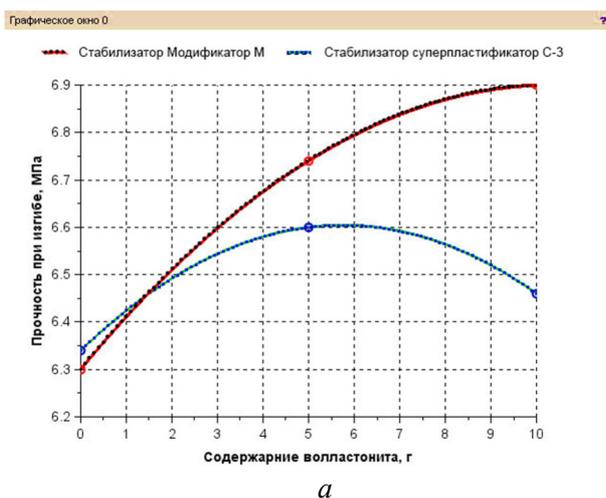


Рис. 8. Уточняющие модели экстремумов, соответствующих прочности МЗБ от содержания волластонита в составе добавки, полученные в результате применения программы Interp.sce
а) прочность при изгибе, б) прочность при сжатии

Применение аппарата математического моделирования и метода планирования эксперимента позволяет перейти от расчетно-экспериментального к математическому методу определения состава добавки стабилизированного высокодисперсного волластонита. Построенная модель является открытой и дает возможность корректировки компонентов модификатора в зависимости

от производственных и лабораторных условий, которые могут отличаться от заложенных в систему, как базовые.

Выводы

1. Выполнена оптимизация содержания компонентов добавки стабилизированного высокодисперсного волластонита с использованием разработанных и запатентованных программ

Extr.sce и Interp.sce на базе среды инженерных и научных вычислений Scilab с применением результатов, полученных методом ортогонального композиционного центрального планирования эксперимента.

2. Выполнен расчет оптимальной прочности мелкозернистого бетона через 28 суток естественного твердения в зависимости от состава модификатора на основе высокодисперсного волластонита и времени ультразвукового диспергирования с выводом визуальных моделей обработки данных в виде контурных и 3d-графиков интерполяционной поверхности.

3. В результате моделирования установлено, что максимальная эффективность добавки достигается при содержании в ней волластонита 0,53 % и стабилизатора «Модификатор М» – 0,2 % при частоте 35 кГц и времени ультразвукового диспергирования 5 минут. Оптимизированный состав добавки стабилизированного высокодисперсного волластонита с использованием компьютерного алгоритма поиска экстремумов дает возможность получить мелкозернистый бетон с прочностью при изгибе 6,8 МПа и сжатию – 58,5 МПа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цейтлин Н.А. Из опыта аналитического статистика. М.: Солар, 2007. 912 с.
2. Siebertz K., Bebbber D., Hochkirchen T. Statistische Versuchsplanung: Design of Experiments (DoE). Springer, 2010. 320 p.
3. Козин А.В., Федюк Р.С., Ильинский Ю.Ю., Ярусова С.Б., Гордиенко П.С., Мохаммад Али Мосабержпаных Влияние волластонита на механические свойства бетона // Строительные материалы и изделия. 2020. Т.3. №5. С. 34–42.
4. Чихрадзе Г.К. Изучение влияния усадки и адгезии ремонтных составов на долговечность // Инновации и инвестиции. 2020. №6. С. 254–257.
5. Гладун В.Д., Акатьева Л.В., Холькин А.И. Синтетические силикаты кальция. М.: Изд-во «ИРИСБУК», 2011. 232 с.
6. Григорян Г.О., Мурадян А.Б., Григорян К.Г. Волластонит. Получение и применение // Армянский хим. журнал. 1990. № 5. С. 296–315.
7. Чижиков С.Н. Микроармирующий наполнитель волластонит // Стройпрофиль. 2001. №10. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL:

<http://stroyprofile.com/archive/208> (дата обращения 29.05.2022).

8. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ 2018616850, Российская Федерация. Программа моделирования экспериментальных данных Extr.sce / Е.Г. Карпиков, В.С. Янченко, Н.П. Лукутцова, С.Н. Головин; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет». № 2018614205; заявл. 25.04 2018; опубл. 07.06.2018. 1 с.

9. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ 2018616851, Российская Федерация. Программа моделирования экспериментальных данных Interp.sce: / Е.Г. Карпиков, В.С. Янченко, Н.П. Лукутцова, Д.А. Пехенько; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет». № 2018614206; заявл. 25.04 2018; опубл. 07.06.2018. 1 с.

10. Власов В.К. Закономерности оптимизации состава бетона с дисперсными минеральными добавками // Бетон и железобетон. 1993. №4. С. 10–12.

11. Янченко В.С. Основы работы в математической среде Scilab. Брянск: БГИТА. 2013. 124 с.

12. Карпиков Е.Г., Янченко В.С., Королева Е.Л., Семичев С.М., Новикова В.И., Патугин А.С. Экстремальное моделирование оптимального состава и содержания микронаполнителя в бетоне // Строительные материалы. 2015. № 11 (731). С. 9–12.

13. Lukuttsova N.P., Karpikov E.G., Golovin S.N. Highly-Dispersed Wollastonite-Based Additive and its Effect on Fine Concrete Strength // Solid State Phenomena. 2018. Vol. 284. Pp. 1005–1011

14. Karpikov E.G., Lukuttsova N.P., Bondarenko E.A., Klyonov V.V., Zajcev A.E. Effective Fine-Grained Concrete with High-Dispersed Additive Based on the Natural Mineral Wollastonite // FarEastCon - Materials and Construction: Materials International Scientific Conference «FarEastCon». 2018. Vol. 945. Pp. 85–90.

15. Lukuttsova N., Luginina I., Karpikov E., Pykin A., Ystinov A., Pinchukova I. High-performance fine concrete modified with nano-dispersion additive // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). 2014. Vol. 9. No 22. Pp. 15825–15833.

Информация об авторах

Лукутцова Наталья Петровна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Производство строительных конструкций». E-mail: natluk58@mail.ru. Брянский государственный инженерно-технологический университет. Россия, 241037, Брянск, проспект Станке Димитрова, д.3.

Карпиков Евгений Геннадиевич, старший преподаватель кафедры «Производство строительных конструкций». E-mail: johnjk@mail.ru. Брянский государственный инженерно-технологический университет. Россия, 241037, Брянск, проспект Станке Димитрова, д.3.

Горностаева Елена Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Производство строительных конструкций». E-mail: egornostay@mail.ru. Брянский государственный инженерно-технологический университет. Россия, 241037, Брянск, проспект Станке Димитрова, д.3.

Соболева Галина Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Графика и геодезия». E-mail: soboleva.g.n@mail.ru. Брянский государственный инженерно-технологический университет. Россия, 241037, Брянск, проспект Станке Димитрова, д.3.

Поступила 11.04.2023 г.

© Лукутцова Н.П., Карпиков Е.Г., Горностаева Е.Ю., Соболева Г.Н., 2023

**Lukutsova N.P., Karpikov E.G., Gornostaeva E.Yu., Soboleva G.N.*

Bryansk State University of Engineering and Technology

**E-mail: natluk58@mail.ru*

OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION OF THE ADDITIVE OF STABILIZED HIGHLY DISPERSED WOLLASTONITE USING A COMPUTER ALGORITHM FOR FINDING EXTREMES

Abstract. *The article considers the optimization of the content of the components of the additive of stabilized highly dispersed wollastonite using a developed and patented computer algorithm for finding extreme coordinates of the dependencies of the mechanical characteristics of fine-grained concrete Extr.sce and Interp.sce based on the Scilab engineering and scientific computing environment. The developed programs allow determining the best combination of components and technological parameters for obtaining an additive to identify the optimal value of the desired indicator of the final characteristics of fine-grained concrete. The search for the maximum value of the strength indicators of fine-grained concrete is performed depending on the combination of the initial components of the modifier based on highly dispersed wollastonite, as well as the time of their ultrasonic dispersion with the output of visual data processing models in the form of contour and 3d graphs of the interpolation surface. As a result of the simulation, it is found that the additive shows the most effective result with a wollastonite content of 5 g/l, in which a modifier M with a concentration of 2.1 ml/l is used as a suspension stabilizer, while the ultrasonic dispersion time is 5 minutes. The developed additive of optimal composition contributes to the production of modified fine-grained concrete with a bending strength of 6.8 MPa and compression strength of 58.5 MPa.*

Keywords: *optimization, modeling, additive of stabilized highly dispersed wollastonite, fine-grained concrete, strength.*

REFERENCES

1. Tseitlin N.A. From the experience of analytical statistics [Iz opyta analiticheskogo statistika]. M.: Solar, 2007. 912 p. (rus)

2. Siebertz K., Bebbler D., Hochkirchen T. Statistische Versuchsplanung: Design of Experiments (DoE). Springer, 2010. 320 p.

3. Kozin A.V., Fedyuk R.S., Ilyinsky Yu.Yu., Yarusova S.B., Gordienko P.S., Mohammad Ali Mosaberpanah The influence of wollastonite on the mechanical properties of concrete [Vliyanie wollastonita na mekhanicheskie svoystva betona]. Building materials and products. 2020. Vol.3. No.5. Pp. 34–42. (rus)

4. Chikhradze G.K. Studying the effect of shrinkage and adhesion of repair compounds on du-

rability [Izuchenie vliyaniya usadki i adgezii remontnyh sostavov na dolgovechnost']. Innovations and investments. 2020. No. 6. Pp. 254–257. (rus)

5. Gladun V.D., Akatieva L.V., Kholkin A.I. Synthetic calcium silicates [Sinteticheskie silikaty kal'ciya]. Moscow: IRISBUK Publishing House, 2011. 232 p. (rus)

6. Grigoryan G.O., Muradyan A.B., Grigoryan K.G. Wollastonite. Obtaining and application [Vollastonit. Poluchenie i primeneniye]. Armenian Chemical Journal. 1990. No. 5. Pp. 296–315. (rus)

7. Chizhikov S.N. Micro-reinforcing filler wollastonite [Mikroarmiruyushchij napolnitel' wollastonit]. Construction profile. 2001. No. 10. Systems. Requirements: AdobeAcrobatReader. URL: <http://stroyprofile.com/archive/208> (accessed 29.05.2022). (rus)

8. Certificate of state registration of the computer program 2018616850, Russian Federation. Experimental data modeling program Extr.sce / E.G. Karpikov, V.S. Yanchenko, N.P. Lukutsova, S.N. Golovin; applicant and patent holder of the Bryansk State University of Engineering and Technology. No. 2018614205; application 25.04 2018; publ. 07.06.2018. 1 p. (rus)

9. Certificate of state registration of the computer program 2018616851, Russian Federation. Experimental data modeling program Interp.sce. E.G. Karpikov, V.S. Yanchenko, N.P. Lukutsova, D.A. Pehenko; applicant and patent holder of the Bryansk State University of Engineering and Technology. No. 2018614206; application 25.04 2018; publ. 07.06.2018. 1 p. (rus)

10. Vlasov V.K. Regularities of optimization of the composition of concrete with dispersed mineral additives [Zakonomernosti optimizacii sostava betona s dispersnymi mineral'nymi dobavkami]. Concrete and reinforced concrete. 1993. No. 4. Pp. 10–12. (rus)

11. Yanchenko V.S. Basics of working in the mathematical environment of Scilab [Osnovy raboty v matematicheskoy srede Scilab]. Bryansk: BGITA. 2013. 124 p. (rus)

12. Karpikov E.G., Yanchenko V.S., Koroleva E.L., Semichev S.M., Novikova V.I., Patugin A.S. Extreme modeling of the optimal composition and content of a micro-filler in concrete [Ekstremal'noe modelirovanie optimal'nogo sostava i sodержaniya mikronapolnitelya v betone]. Building Materials. 2015. No. 11 (731). Pp. 9–12. (rus)

13. Lukutsova N.P., Karpikov E.G., Golovin S.N. Highly-Dispersed Wollastonite-Based Additive and its Effect on Fine Concrete Strength. Solid State Phenomena. 2018. Vol. 284. Pp. 1005–1011

14. Karpikov E.G., Lukutsova N.P., Bondarenko E.A., Klyonov V.V., Zajcev A.E. Effective Fine-Grained Concrete with High-Dispersed Additive Based on the Natural Mineral Wollastonite. FarEastCon - Materials and Construction: Materials International Scientific Conference «FarEastCon». 2018. Vol. 945. Pp. 85–90.

15. Lukutsova N., Luginina I., Karpikov E., Pykin A., Ystinov A., Pinchukova I. High-performance fine concrete modified with nano-dispersion additive. International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). 2014. Vol. 9. No 22. Pp. 15825–15833.

Information about the authors

Lukutsova, Natalia P. Grand PhD. E-mail: natluk58@mail.ru. Bryansk State University of Engineering and Technology. Russia, 241037, Bryansk, Stanke Dimitrov Avenue, 3.

Karpikov, Evgeny G. senior lecturer. E-mail: johnjk@mail.ru. Bryansk State University of Engineering and Technology. Russia, 241037, Bryansk, Stanke Dimitrov Avenue, 3.

Gornostaeva, Elena Yu. PhD. E-mail: egornostay@mail.ru. Bryansk State University of Engineering and Technology. Russia, 241037, Bryansk, Stanke Dimitrov Avenue, 3.

Soboleva, Galina N. PhD. E-mail: soboleva.g.n@mail.ru. Bryansk State University of Engineering and Technology. Russia, 241037, Bryansk, Stanke Dimitrov Avenue, 3.

Received 11.04.2023

Для цитирования:

Лукутцова Н.П., Карпиков Е.Г., Горностаева Е.Ю., Соболева Г.Н. Оптимизация состава добавки стабилизированного высокодисперсного волластонита с использованием компьютерного алгоритма поиска экстремумов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 5. С. 9–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-9-18

For citation:

Lukutsova N.P., Karpikov E.G., Gornostaeva E.Yu., Soboleva G.N. Optimization of the composition of the additive of stabilized highly dispersed wollastonite using a computer algorithm for finding extremes. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 5. Pp. 9–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-9-18