

УДК 514.18

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ КОМБІНОВАНОГО ЗАПОВНЮВАЧА ДРІБНОЗЕРНИСТОГО БЕТОНУ У БН-ЧИСЛЕННІ

Конопацький Є.В., к.т.н.,

Бумага А.І.,

Пахаренко В.О., д.т.н.

Мелітопольська школа прикладної геометрії

Мелітопольський державний педагогічний університет

ім. Б. Хмельницького (Україна)

В роботі запропонована методика обробки і аналізу експериментально-статистичної інформації, на основі якої отримані геометрична та комп'ютерні моделі, що описують вплив кількісного состава заповнювачів на фізико-механічні властивості дрібнозернистого бетону.

Ключові слова: геометрична модель, поверхня відгуку, оптимізація складу, комбінований заповнювач, дрібнозернистий бетон, межа міцності при стисканні, щільність бетону.

Постановка проблеми. Фізико-механічні властивості дрібнозернистого бетону, композиційного будівельного матеріалу (КБМ), на пряму залежать від його складу. Тому оптимізація складу КБМ є актуальним науковим прикладним завданням. За допомогою добору складу КБМ можна отримати підвищення якості матеріалу, зниження його ціни та ін., але дуже часто ці цільові функції оптимізації є взаємовиключними. У даній роботі пропонується оптимізація складу комбінованого заповнювача дрібнозернистого бетону для одержання заданих фізико-механічних експлуатаційних характеристик бетону на основі геометричного моделювання у БН-численні [1], з послідуєчим використанням, безпосередньо для оптимізації, методів математичного аналізу. Таким чином оптимізація складу визначатиметься таким складом заповнювачів, який буде забезпечувати або мінімальну середню щільність, або максимальну межу міцності при стисканні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження методів оптимізації КБМ широко представлено в роботах вітчизняних [2, 3] і закордонних [4, 5] вчених. Аналіз цих та інших досліджень, наведений у [6], показав, що широкою популярністю серед вітчизняних та закордонних вчених користується експериментально-статистичне моделювання, недоліком якого є недостатня стійкість результатів

відносно вихідних даних, тому і результати оптимізації, отримані на основі експериментально-статистичних моделей є недостатньо точними. Крім того експериментально-статистичні методи моделювання мають свої обмеження, які не дозволяють охопити усі можливі склади КБМ. В цих випадках оптимізація взагалі носить суб'єктивний характер.

Формулювання цілей статті. Розробити методику оптимізації складу комбінованого заповнювача методами геометричного моделювання і математичного аналізу.

Основна частина. Згідно з [7] маємо трикомпонентну систему заповнювачів: шлак мартенівський (МШ) – шлак доменний гранульований (ГрШ) – горіла порода (ГП). Вміст заповнювачів у суміші визначається процентним співвідношенням і разом становить єдине ціле. Виходячи з цього один із компонентів можна виключити. Наприклад, на геометричній схемі (рис. 1) у якості компонентів використовується МШ і ГрШ. Далі виключаємо зайві комбінації компонентів заповнювача, із умови, що сумарна дольова участь усіх трьох компонентів дорівнює 100%. Таким чином, отримаємо 10 експериментів.

Отримані в результаті експерименту 10 точок розподілимо наступним чином: перший опорний контур складається із чотирьох точок, другий – із трьох, третій – із двох і четвертий – із однієї точки (рис. 1).

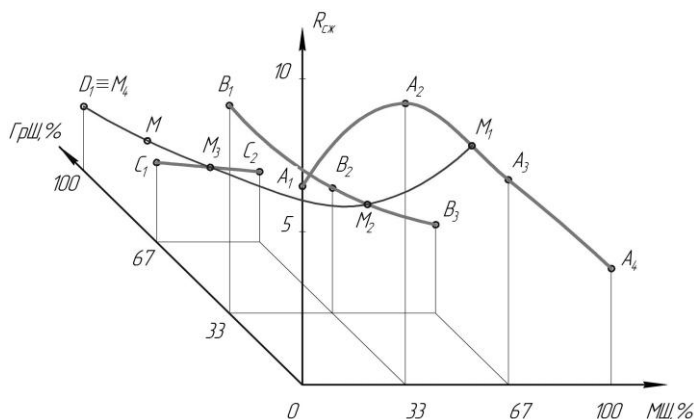


Рис. 1. Геометрична схема побудови моделі залежності мілкозернистого бетону від складу комбінованого заповнювача

Перший опорний контур можна визначити за допомогою точкового рівняння дуги кривої 3-го порядку, яка проходить через чотири наперед задані точки [6]. Другий і третій опорні контури визначимо за допомогою точкових рівнянь параболи [6] і прямої:

$$M_1 = A_1 [\bar{u}^3 - 2,5\bar{u}^2 u + \bar{u} u^2] + A_2 [9\bar{u}^2 u - 4,5\bar{u} u^2] + A_3 [-4,5\bar{u}^2 u + 9\bar{u} u^2] + A_4 [\bar{u}^2 u - 2,5\bar{u} u^2 + u^3]. \quad (1)$$

$$M_2 = B_1 \bar{u} - 2u + 4B_2 \bar{u} u + B_3 u - 2u - 1.$$

$$M_3 = C_1 \bar{u} + C_2 u.$$

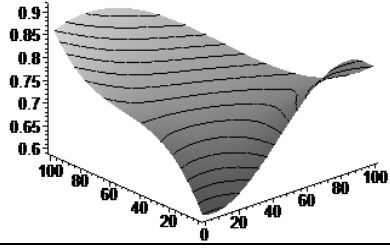
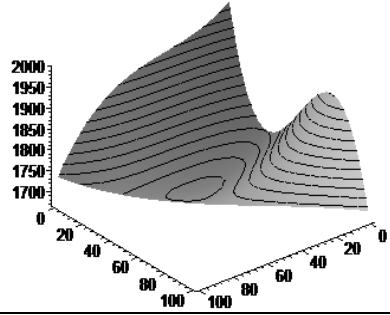
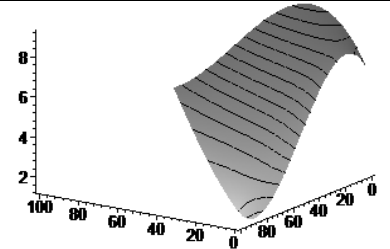
Твірну сегменту поверхні відгуку визначимо за допомогою наступного точкового рівняння:

$$M = M_1[\bar{v}^3 - 2,5\bar{v}^2v + \bar{v}v^2] + M_2[9\bar{v}^2v - 4,5\bar{v}v^2] + \\ + M_3[-4,5\bar{v}^2v + 9\bar{v}v^2] + M_4[\bar{v}^2v - 2,5\bar{v}v^2 + v^3]. \quad (2)$$

У підсумку отримаємо обчислювальний алгоритм побудови поверхні відгуку для визначення залежності фізико-механічних властивостей дрібнозернистого бетону від складу комбінованого заповнювача. Підставляючи по черзі відношення вода/цемент (В/Ц), значення середньої щільності бетону і межі міцності при стисканні, одержимо три геометричні моделі, графічна візуалізація яких наведена у таблиці 1.

Таблиця 1

Геометричне моделювання фізико-механічних властивостей дрібнозернистого бетону залежно від складу комбінованого заповнювача

№ з/п	Фізико-механічні властивості бетону	Графічна візуалізація
1	В/Ц	
2	$\rho_{\text{про}}, \text{КГ/М}^3$	
3	$\sigma_{\text{сж}}^{\text{пр}}, \text{МПа}$	

У всіх трьох випадках для більш наочного зображення результатів, масштаб по осі z був перебільшений і не збігається з масштабом по осях x і y .

Дослідимо отриманий сегмент поверхні відгуку на екстремуми методами математичного аналізу. Для цього на основі обчислювального алгоритму складемо систему рівнянь із похідними для проєкції відповідного сегменту поверхні відгуку на вісь z .

$$\begin{cases} z_M' \quad u = 0; \\ z_M' \quad v = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Розв'язуючи цю систему рівнянь, одержимо декілька комбінацій дійсних і уявних пар коренів. Із цієї вибірки пар коренів системи рівнянь потрібно відібрати ті, що відповідають інтервалу значень параметрів u і v від 0 до 1. У результаті одержуємо одну або дві комбінації параметрів u і v , простою підстановкою яких, визначаємо мінімум і максимум сегменту поверхні відгуку.

Далі необхідно дослідити границі області визначення сегменту поверхні, які визначаються трьома дугами кривих. Зробимо це скориставшись графічною візуалізацією поверхні відгуку, наведеною у таблиці 1, з наступним дослідженням необхідної дуги кривої на екстремуми. Для автоматизації процесу дослідження використано програмний пакет *Maple*. Результати наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Оптимізація фізико-механічних властивостей дрібнозернистого бетону залежно від складу комбінованого заповнювача

№ з/п	Фізико-механічні властивості бетону	Категорія значень	Значення цільової функції*	Вміст у суміші заповнювачів, %		
				МШ	ГрШ	ГП
1	В/Ц	Min	0,59	0,064	0	99,936
		Max	0,91	81	19	0
2	$\rho_{\text{про}}, \text{кг/м}^3$	Min	1671	44,1	31,6	24,3
		Max	1997	0	0	100
3	$\sigma_{\text{сж}}^{\text{пр}}, \text{МПа}$	Min	1,32	0	86,7	13,3
		Max	9,24	29,4	0	70,6

* Під цільовою функцією розуміється певна фізико-механічна властивість дрібнозернистого бетону, яка відповідає осі z декартової системи координат (табл. 1).

Висновки. На основі запропонованої методики обробки і аналізу експериментально-статистичної інформації, отримано склад комбінованого заповнювача з відходів промисловості, який є оптимальним для відповідної цільової функції. Встановлено, що заповнювач у складі: мартенівський шлаки (29,4 %) + горіла порода (70,6 %), дає максимальну межу міцності при стисканні – 9,24 МПа і при цьому має досить невисоку щільність бетону – 1691 кг/м³.

Література

1. Балюба И.Г. Точечное исчисление: учебное пособие / И.Г. Балюба, В.М. Найдыш. – Мелитополь: МГПУ им. Б. Хмельницького, 2015. –

- 236 с.
2. Коваль С.В. Моделирование и оптимизация состава и свойств модифицированных бетонов / С.В. Коваль. – Одесса: Астропринт, 2012. – 424 с.
 3. Цементы и бетоны на основе топливных зол и шлаков [П.В. Кривенко, Е.К. Пушкарева, В.И. Гоц, Г.Ю. Ковальчук] – К.: ООО ИПК Эксперсс-Полиграф, 2012. – 258 с.
 4. Loher., Verlad Van Cement. Principle of production and use. – Technic, CmBH, 2003. – 540 p.
 5. Morgan, P. The Shell Bitumen Industrial Handbook / P. Morgan, A. Mulder. – Surrey, U. K.: Shell Bitumen, 1995. – 338 p.
 6. Бумага А.И. Геометрическое моделирование физико-механических свойств композиционных строительных материалов в БН-исчислении: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05, 05.01.01 / Бумага Алла Ивановна. – Макеевка, 2016. – 164 с.
 7. Толчин С.М. Мелкозернистые бетоны на комбинированных заполнителях из отходов промышленности: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Толчин Станислав Маркович. – Макеевка, 1997. – 101 с.

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА КОМБИНИРОВАННОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА В БН-ИСЧИСЛЕНИИ

Конопацкий Е.В., Бумага А.И., Пахаренко В.А.

В работе предложена методика обработки и анализа экспериментально-статистической информации, на основе которой получены геометрическая и компьютерные модели, описывающие влияние количественного состава заполнителей на физико-механические свойства мелкозернистого бетона.

Ключевые слова: геометрическая модель, поверхность отклика, оптимизация состава, комбинированный заполнитель, мелкозернистый бетон, предел прочности при сжатии, плотность бетона.

GEOMETRICAL MODELING AND OPTIMIZATION THE COMBINED AGGREGATE OF FINE CONCRETE IN BN-CALCULATION

Bumaga A., Konopatskiy E., Pakharenko V.

We propose a method of processing and analysis of experimental and statistical information on which to obtain an optimal composition of the combined aggregate of industrial waste.

Key words: geometric model, response surface, composition optimization, combined aggregate, fine-grained concrete, compressive strength, concrete density.