

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), наряду 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).

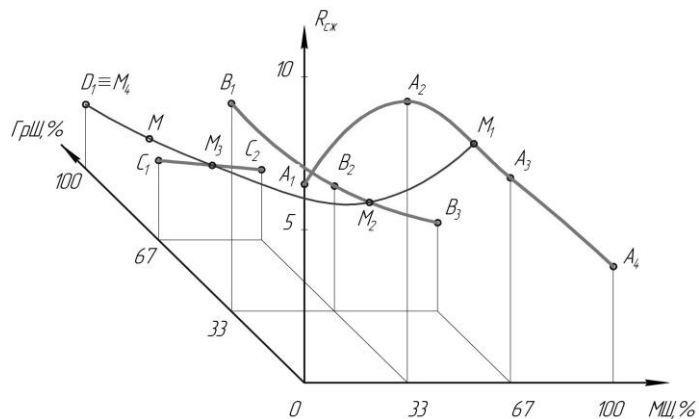


Рис. 1. Геометрична схема побудови моделі залежності мілкозернистого бетону від складу комбінованого заповнювача

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:

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

$$M_2 = B_1\bar{u}(1 - 2u) + 4B_2\bar{u}u + B_3u(2u - 1).$$

$$M_3 = C_1\bar{u} + C_2u.$$

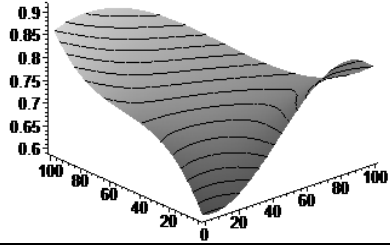
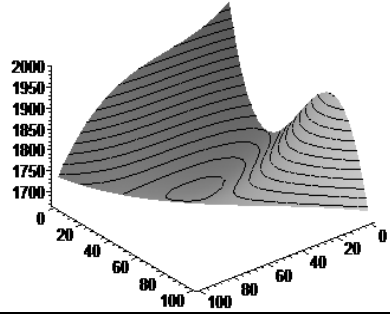
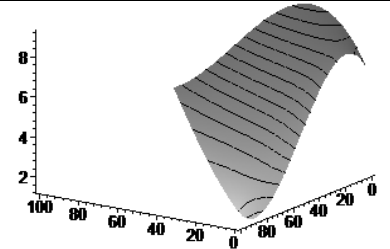
Твірну сегменту поверхні відгуку визначимо за допомогою наступного точкового рівняння:

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

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  $z$ .

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

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/м<sup>3</sup>.

### 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.*