

УДК 666.97.03 + 004

І.А. Міхєєв, к.т.н.

Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна

ЗАДАЧА ОПТИМІЗАЦІЇ СКЛАДУ БЕТОНУ

I.A. Mikheev, Ph.D.

TASK OPTIMIZATION OF THE CONCRETE MIX

Розвиток сучасної технології будівельних матеріалів зумовив появу перед дослідниками низки задач, що мають оптимізаційний характер. Найпоширенішими постановками задач в умовах економічного розвитку нашої країни є: «знайти максимальний ефект при використанні наявних матеріалів»; «визначити мінімальні витрати на виробництво матеріалу із заданими характеристиками»; «з множини можливих матеріалів обрати ті, що забезпечують найбільший економічний ефект» тощо. Таким чином виникає необхідність розглядати технологічні завдання у вигляді задач умовної оптимізації. Бетон є одним з основних будівельних матеріалів у багатьох країнах світу у т.ч. в Україні, тому застосування оптимізаційних методів для розв'язання задач технології бетону є доцільним і актуальним.

Перша, основна і найбільш дискусійна задача в сучасному бетонознавстві є задача проектування складу бетону із заданими властивостями. Найбільш загальний підхід щодо проектування складів бетону засновано на концептуальному врахуванні зв'язків типу «склад-структура-процес-властивість» шляхом аналізу та сумісного розв'язання рівняння, що об'єднує показники властивостей бетону з параметрами його складу, структури та процесів.

На основі проведеного аналізу [1] визначено, що в умовах неповного знання механізму явищ задачі ідентифікації та оптимізації, тобто пошук оптимальних умов протікання процесів або оптимальний вибір складу бетону, доцільно вирішувати за допомогою експериментально-статистичного моделювання. Не дивлячись на те, що експериментально-статистичні моделі, як правило, не відображають фізичної суті модельованих процесів, вони є прийнятним варіантом формалізації задач для комп'ютерного матеріалознавства.

Для визначення закономірностей змін властивостей бетонної суміші та бетону від рецептурно-технологічних параметрів, а також для оптимізації проведення досліджень використано симетричні композиційні плани проведення експериментів.

Обробку результатів експерименту здійснено за допомогою регресійного аналізу. Отримано функціональні залежності (1-3) властивостей бетонної суміші та бетону від вхідних параметрів: міцність бетону на стиск (Y_1), водопотреба бетонної суміші (Y_2), частина піску в суміші заповнювачів (Y_3), що є необхідними для визначення складу бетону та його оптимізації:

$$Y_1 = 24,9 + 14,7 \cdot x_1 + 1,5 \cdot x_2 - 0,7 \cdot x_7 + 10,2 \cdot x_8 - 0,6 \cdot x_1^2 - 1,6 \cdot x_2^2 - 0,6 \cdot x_7^2 + 1,1 \cdot x_8^2 + 0,9 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,4 \cdot x_1 \cdot x_7 + 5,9 \cdot x_1 \cdot x_8 + 0,8 \cdot x_2 \cdot x_8 - 0,3 x_7 \cdot x_8 \quad , \quad (1)$$

$$Y_2 = 189,5 - 1,9 \cdot x_1 + 1,25 x_3 - 17,5 \cdot x_4 - 8,8 \cdot x_5 - 3,8 \cdot x_6 + 27,7 \cdot x_7 + 4,5 \cdot x_1^2 - 11,5 \cdot x_7^2 - 6,4 \cdot x_1 \cdot x_4 - 9 \cdot x_4 \cdot x_7 \quad , \quad (2)$$

$$Y_3 = 0,342 - 0,046 \cdot x_1 - 0,005 \cdot x_5 + 0,003 \cdot x_6 - 0,013 \cdot x_9 - 0,003 \cdot x_9^2 - 0,01 \cdot x_1 \cdot x_9 \quad , \quad (3)$$

де x_1, x_2, \dots, x_9 – безрозмірні кодовані змінні, що характеризують цементно-водне відношення, активність цементу, нормальну густину цементного тіста, витрату добавки, максимальну крупність щебеню, модуль крупності піску, рухливість бетонної

суміші, тривалість нормального тверднення бетону, водопотребу бетонної суміші відповідно.

На основі залежностей властивостей бетонної суміші та бетону від рецептурно-технологічних параметрів (1-3) та характеристик складових матеріалів поставлено завдання на проектування оптимального за критерієм вартості складу бетону, що відповідає заданому рівню міцності на стиск:

$$\begin{aligned} F &= C_{Ц} * Ц + C_{П} * П + C_{Щ} * Щ + C_{В} * В + C_{Д} * Д \rightarrow \min; \\ \min_{Ц/В} &\leq Ц/В \leq \max_{Ц/В}; \\ \min_{Ц} &\leq Ц \leq \max_{Ц}; \\ \min_{Д} &\leq Д \leq \max_{Д}; \\ R_{cm} &= Y_1(Ц/В, R_{ц}, ОК, \tau) \geq R_{cm \text{ зад}}; \\ В &= Y_2(Ц/В, НГ, Д, D_{max}, M_k, ОК); \\ П &= Y_3(Ц/В, D_{max}, M_k, В) \cdot (1000 - (В + Ц/\rho_{Ц} + Д/\rho_{Д})) \cdot \rho_{П}; \\ Щ &= (1 - Y_3(Ц/В, D_{max}, M_k, В)) \cdot (1000 - (В + Ц/\rho_{Ц} + Д/\rho_{Д})) \cdot \rho_{Щ}, \end{aligned} \quad (4)$$

де F – критерій оптимізації (вартість бетонної суміші); $Ц, П, Щ, В, Д$ – витрати на 1 м³ бетонної суміші цементу, піску, щебеню, води і добавки відповідно; $C_{Ц}, C_{П}, C_{Щ}, C_{В}, C_{Д}$ – ціна цементу, піску, щебеню, води і добавки відповідно; $Ц/В$ – цементно-водне відношення; $\min_{Ц/В}$ і $\max_{Ц/В}$ – верхня та нижня границі цементно-водного відношення; $ОК$ – параметр рухливості, що визначається осадкою конуса; $\min_{Ц}$ і $\max_{Ц}$ – верхня та нижня границі нормованого параметра витрати цементу; $\min_{Д}$ і $\max_{Д}$ – верхня та нижня границі нормованого параметра витрати добавки; R_{cm} – міцність бетону на стиск; $R_{cm \text{ зад}}$ – задана міцність бетону на стиск; Y_1, Y_2, Y_3 – функціональні залежності міцності бетону на стиск, водопотреби бетонної суміші, оптимальної частки піску в суміші заповнювачів відповідно; $R_{ц}$ – активність цементу; τ – тривалість нормального тверднення; $НГ$ – нормальна густина цементного тіста; D_{max} – максимальна крупність щебеню; M_k – модуль крупності піску; $\rho_{Ц}, \rho_{П}, \rho_{Щ}, \rho_{Д}$ – питома вага цементу, піску, щебеню і добавки відповідно.

Для ефективного розв'язання задачі проектування оптимального складу бетону розроблено програмне забезпечення, алгоритм якого базується на комплексному методі Бокса для пошуку оптимального розв'язку задач умовної оптимізації [2]. Програмне забезпечення реалізовано в середовищі програмування Borland Delphi та працює під управлінням операційної системи Windows. На основі методів розробки систем штучного інтелекту формалізовано кількісні та якісні знання експертів предметної галузі, а також розроблено алгоритми пошуку рішення щодо управління технологічними процесами.

Застосування результатів дослідження дає можливість удосконалити процеси управління на виробництві бетону, підвищити рівень їх конкурентоспроможності й ефективності.

Література

1. Алгоритм решения задачи проектирования состава бетона методами математического планирования эксперимента / Н.Д. Сизова, И.А. Михеев // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков: ЕЕJET, 2010. – №2/6 (44) – С. 8-10.
2. А.с. 39817 Україна. Комп'ютерна програма "Concrete Design" / І.А. Михеев. – Опубл. 30.08.2011.