

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

УДК 666.97.035

**ОПТИМІЗАЦІЯ ПРИСКОРЕННЯ НАБОРУ МІЦНОСТІ БЕТОНОМ  
В УМОВАХ ВІБРАЦІЙНОГО ТЕРМОСИЛОВОГО ВПЛИВУ**

В. В. Швець, М. А. Іскра

*Запропоновано рівняння регресії, яке дозволило оптимізувати значення параметрів взаємоузгодженого впливу вібрації, тиску та температури для отримання максимальної величини міцності бетону.*

*Предложено уравнение регрессии, позволяющее оптимизировать значение параметров взаимосогласованного влияния вибрации, давления и температуры для получения максимальной величины прочности бетона.*

*Allowed equalization of regression, which to optimize the value of parameters of the mutually agreed influencing of vibration, pressure and temperature after for the receipt of maximal size of durability of concrete, is got.*

Для одержання оптимальних структур бетону із заданими властивостями використовуємо принцип оптимізації – одержання найбільшого ефекту (максимальної міцності бетону) при заданих ресурсах, тобто намагаємось максимально розкрити внутрішні резерви міцності бетону, шляхом комплексного взаємоузгодженого впливу вібрації, тиску та температури [1].

Задачею, що вирішуються в даній роботі, є максимальне прискорення набору розпалубочної міцності бетоном. Тому нами було вирішено провести оптимізацію міцності бетону на стиск після 5 годинної обробки в умовах вібраційного ТСВ –  $R_b^{oo}$ . Значення величини міцності  $R_b^{oo}$  є функціями 3-х параметрів [2, 3]:

$$R_b^{oo} = f(T, p_0, \omega), \quad (1)$$

де  $T$  – температура, °С;  
 $p_0$  – привантаження, МПа;  
 $\omega$  – частота вібрації, Гц.

Дослідження впливу перерахованих вище факторів на процес виготовлення бетону підвищеної міцності при проведенні однофакторних експериментів пов'язане із значними труднощами і об'ємами робіт. Тому, на наш погляд, доцільно провести багатфакторний експеримент для отримання рівнянь регресії для функцій відгуку  $R_b^{oo}$  за допомогою повнофакторного експерименту виду 23 методом Бокса-Уїлсона [4].

Вибір діапазонів варіювання факторів функцій (1) проводився таким чином, щоб будь-яка їх сукупність в передбачених планом експерименту діапазонах могла бути реалізована і не приводила до протиріч. Для цього було проведено пошукові експерименти для визначення області, в якій необхідні нам сполучення рівнів факторів були б стійко реалізовані.

Всі фактори, які входять в функції (1), є величинами, що мають різну розмірність, а значення цих величин факторів мають різні порядки. Тому для отримання поверхні відгуку цих функцій було проведено операцію кодування факторів, що являє собою лінійне перетворення факторного простору. Встановлено такі значення рівнів факторів в умовному масштабі: мінімальний –1, середній 0, максимальний +1 та зіркові значення –1,682, +1,682.

Істинні значення факторів встановлені на основі проведення пошукових експериментів і наведені в табл. 1.

Для проведення повнофакторного експерименту виду 23 було складено матриці планування експериментів.

Планувалось отримати такі регресійні моделі 2-го порядку:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (2)$$

де  $y$  – функція  $R_b^{ob}$ ;  
 $b_0, b_1, \dots, b_3, b_{12}, \dots, b_{13}, b_{11}, \dots, b_{33}$  – коефіцієнти регресії.

Таблиця 1

**Рівні факторів та інтервали варіювання**

Фактори	Рівні факторів					Інтервал варіювання
	-1.682	-1	0	+1	+1.682	
x1 – температура, °C	66,544	72	80	88	93,456	8
x2 – привантаження, МПа	0,0159	0,05	0,1	0,15	0,1841	0,05
x3 – частота вібрації, Гц	32,95	50	75	100	117,05	25

Для функції відгуку  $R_b^{ob}$  рівняння регресії згідно з проведеним багатofакторним експериментом для кодованих значень має вигляд:

$$R_b^{ob} = 23,61 - 0,06116x_1 + 0,03874x_2 + 0,4617x_3 - 0,02875x_1x_2 + 0,03625x_1x_3 + 0,01875x_2x_3 - 1,076x_1^2 + 0,4695x_2^2 + 0,3917x_3^2. \quad (3)$$

Після відкидання незначних факторів та ефектів взаємодій рівняння регресії для функції відгуку  $R_b^{ob}$  в кодованих значеннях виглядає таким чином:

$$R_b^{ob} = 23,61 - 0,06116x_1 + 0,03874x_2 + 0,4617x_3 - 1,076x_1^2 + 0,4695x_2^2 + 0,3917x_3^2. \quad (4)$$

Для дійсних значень факторів рівняння регресії для функції відгуку  $R_b^{ob}$  має вигляд:

$$R_{cm}^{ob} = -450,5 + 8,439T - 36,8p_0 - 1,277\omega - 0,01681T^2 + 187,8p_0^2 + 0,000627\omega^2. \quad (5)$$

Отримане рівняння регресії (5) дозволяє провести оптимізацію параметрів процесу виготовлення бетону з максимальним значенням міцності.

Як критерії оптимізації параметрів процесу виготовлення бетону вибираємо значення величини міцності  $R_b^{ob}$ .

На рис. 1 наведені поверхні відгуків критеріїв оптимізації та їх двовимірні перерізи залежності значень величини міцності  $R_b^{ob}$  від окремих параметрів оптимізації. Поверхні відгуків дозволяють наглядно проілюструвати залежність значень величин міцності від параметрів температури  $T$ , початкового привантаження  $p_0$  та частоти вібрування (механічних впливів)  $\omega$ .

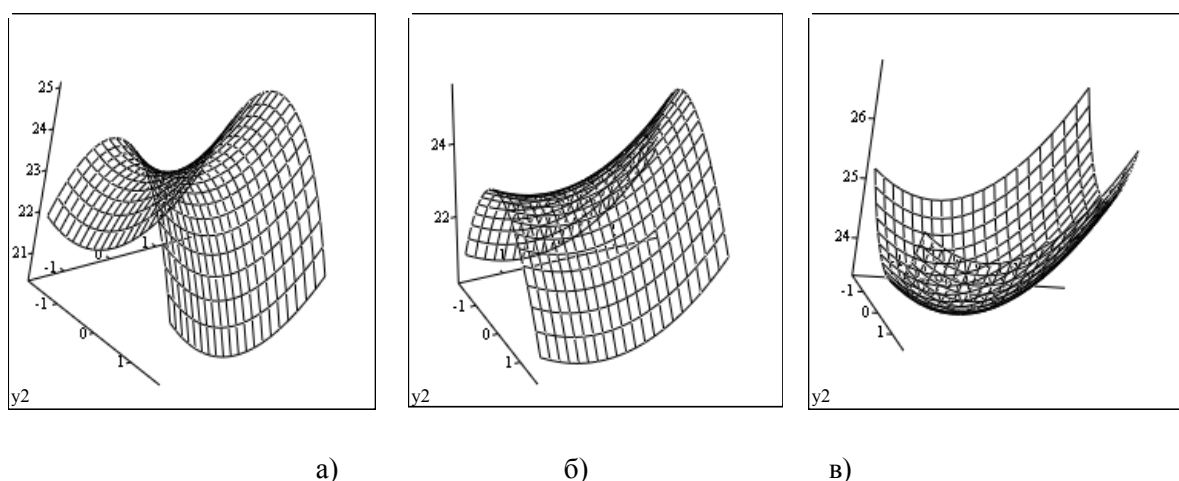


Рис. 1. Поверхні відгуків та їх двовимірні перерізи залежності значень величини міцності  $R_b^{ob}$  в площинах параметрів оптимізації: а)  $T$ - $p_0$ ; б)  $T$ - $\omega$ ; в)  $p_0$ - $\omega$  [3].

Експерименти показали, що залежність значень величини міцності  $R_b^{ob}$  залежить від таких параметрів як температура –  $T$ , привантаження –  $p_0$ , частота вібрації –  $\omega$ , і носить квадратичний характер. За допомогою пакета прикладних програм MathCAD було проведено оптимізацію значення величини міцності  $R_b^{ob}$  шляхом їх максимізації. В результаті отримані такі оптимальні значення параметрів процесу виготовлення бетону: максимальне значення величини міцності  $R_b^{ob} = 26,89$  МПа досягається при  $T = 79,77^\circ\text{C}$ ;  $p_0 = 0,184$  МПа;  $\omega = 117,1$  Гц.

Роль температури, тиску та повторного вібрування у прискореному наборі міцності бетоном при їх взаємоузгодженому використанні можна відслідкувати за рис. 2.

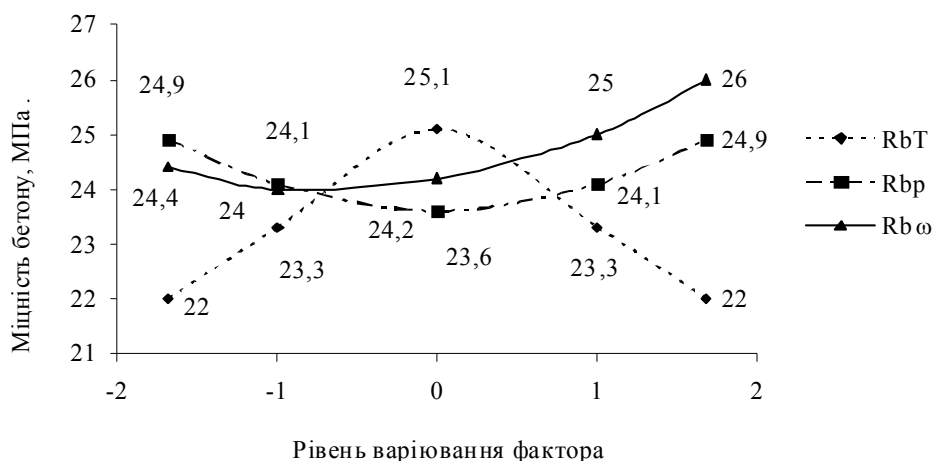


Рис. 2. Роль температури, тиску та повторного вібрування при їх комплексному використанні у наборі міцності бетоном протягом вібраційного ТСВ [3]

### Висновки

- Максимальне отримане значення міцності на стиск бетону, що тверднув протягом 5 годин в умовах вібраційного термосилового впливу 26,89 МПа, досягається при максимальній температурі нагрівання  $79,77^\circ\text{C}$ , початковому привантаженні 0,184 МПа та частоті повторного вібрування 117,1 Гц.
- В результаті проведення дослідження отримані оптимальні значення параметрів комплексного взаємоузгодженого впливу вібрації, тиску та температури.

### Використана література

1. Дудар І. Н. Термосилова технологія бетону: [монографія] / Ігор Никифорович Дудар. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2001. – 146 с.
2. Швець В. В. Вібротермосилова технологія залізобетонних виробів і конструкцій: [монографія] / В. В. Швець, І. Н. Дудар. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 87 с.
3. Швець В. В. Вдосконалення технології дрібнорозмірних бетонних виробів способом вібраційних термосилових впливів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.05 «Будівельні матеріали та виробы» / В. В. Швець. – Вінниця, 2005. – 18 с.
4. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.

**Швець Віталій Вікторович** – к.т.н., доцент кафедри містобудування та архітектури Вінницького національного технічного університету.

**Іскра Марина Аркадійвна** – студентка Вінницького національного технічного університету.