

*О.П. КОЛІСНИК*, Вінницький національний технічний університет

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛОЛОГІСНОЇ ОБРОБКИ БЕТОННИХ ВИРОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ АЕРОДИНАМІЧНОГО НАГРІВУ**

Виконано планування багатofакторного експерименту визначення величини міцності бетонних виробів отриманих в результаті технологічного процесу тепловологісної обробки в пропарювальній камері з аеродинамічним нагрівачем роторного типу. Отримано математичну модель процесу тепловологісної обробки бетонних виробів.

Planning of multivariable experiment of determination of size of durability of concrete wares of got is executed as a result of technological process of heat and humidity treatment in a pair chamber with the aerodynamic heater of ring-type. The mathematical model of process of heat and humidity treatment of concrete wares is got.

**Аналіз досліджень.** В роботах [1, 2] були розглянуті існуючі технології тепловологісної обробки (ТВО) будівельних виробів і матеріалів.

Альтернативою розглянутим технологіям було прийнято застосування новітньої технології аеродинамічного нагріву [2], згідно якої, основний теплогенеруючий пристрій – аеродинамічний нагрівач роторного типу здійснює безперервну рециркуляцію повітряного потоку, передає тепло елементам робочої камери і рівномірно розігріває виріб.

**Постановка задачі.** Поставлена задача полягає у плануванні багатofакторного експерименту визначення величин міцності бетону при тепловологісній обробці виробів в установках із аеродинамічним нагрівом роторного типу, яке сприятиме вдосконаленню запропонованої технології, завдяки підбору і оптимізації основних параметрів технологічного процесу тепловологісної обробки та його окремих операцій, що забезпечуватиме зменшення енерговитрат.

**Виклад основного матеріалу.** Запропонований, в роботах [1, 2], технологічний процес ТВО бетонних виробів та проведений повнофакторний експеримент дозволяє встановити діапазони зміни режимних параметрів та характеристик технологічного устаткування, які забезпечуватимуть задані

фізико-механічні характеристики оброблюваних виробів.

Ступінь досягнення поставленої мети визначається необхідним критерієм ефективності, який (для оптимізації технологічного процесу) приймає мінімальне чи максимальне значення, що характеризуються приростом міцності бетонного виробу.

Значення величини міцності  $R_b$  є функцією 3-х параметрів:

$$R_b = f(t, \varphi, \tau) \quad (1)$$

де  $t$  – температура витримки бетонних виробів, °С;  $\varphi$  – відносна вологість пароповітряної суміші, %;  $\tau$  – тривалість процесу тепловологісної обробки, год.

При визначенні діапазонів варіювання факторів використовуємо умову, на підставі якої будь-який вибір факторів, в передбачених планом експерименту діапазонах, може бути практично реалізований. Для цього проведені пошукові експерименти з метою визначення областей, в яких значення рівнів факторів буде чітко визначено. В результаті проведених пошукових експериментів для кожного фактора встановлені такі значення:  $X_{j0}$  – основний рівень фактора;  $X_{jmax}$ ,  $X_{jmin}$  – верхній та нижній рівні фактора;  $aX_{jmax}$ ,  $aX_{jmin}$  – зіркові верхній та нижній рівні фактора;  $a$  - зіркові плечі;  $I_j$  – інтервал варіювання.

Всі відзначені фактори, розмірні величини, мають різні розмірності, а значення величин факторів мають різні порядки. Тому виконувалось кодування факторів, що являє собою лінійне перетворення факторного простору за формулою:

$$x_j = \frac{(\tilde{X}_j - \tilde{X}_{j0})}{I_j} \quad (2)$$

Встановлені наступні значення рівнів факторів в умовному масштабі: верхній +1; середній 0; нижній – 1; зірковий верхній +1,682; зірковий нижній –1,682.

Основні рівні, інтервали варіювання та межі області експериментальних досліджень приведені в таблиці. Кількість дослідів для дрібнофакторного експерименту при квадратичній регресії визначалась за формулою:

$$N = 2^{k-1} + 2k + N_0, \quad (3)$$

де  $k$  – кількість факторів; 2 – кількість рівнів;  $N_0$  – кількість дослідів в центрі плану, приймаємо  $N_0 = f(k) = f(3) = 10$  згідно [4].

Для даного випадку  $N = 2^{3-1} + 2 \cdot 3 + 10 = 20$  дослідів.

Таблиця

Дійсні значення факторів та рівні їх варіювання

Фактори			Рівні факторів					
Назва	Од. вимір.	Позначення	-1,682	-1	0	1	1,682	Інтервал варіювання
температура витримки бетонних виробів	°C	X1	63,18	70	80	90	96,82	10
відносна вологість пароповітряної суміші	%	X2	80,795	82,5	85	87,5	89,205	2,5
тривалість процесу ТВО	год.	X3	8,659	9	9,5	10	10,341	0,5

Кількість повторень  $n$  кожного планового експерименту з метою забезпечення потрібної достовірності та надійності експериментальних даних було прийнято рівним 10. Для побудови регресійної моделі досліджуваної системи використовуємо квадратичне рівняння регресії з ефектами взаємодії 1-го порядку, яке має вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (4)$$

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

Для функції відгуку  $y$  рівняння регресії згідно проведеного багатофакторного експерименту для дійсних значень після відкидання ефектів взаємодії малої значимості має вигляд:

$$y = 52,79 + 0,398x_1 + 0,398x_2 + 1,01x_3 - 0,356x_1x_2 + 0,006x_1x_3 + 0,341x_2x_3 - 0,023x_1^2 - 0,061x_2^2 + 0,566x_3^2 \quad (5)$$

За даними проведених дослідів квадрат дисперсії адекватності рівний

0,0493. Перевірка адекватності регресійної моделі проводилася за критерієм Фішера, який за результатами проведених дослідів склав 2,4611, що не перевищує табличного значення 2,7214. Отже, рівняння регресії (5) є адекватним. За допомогою пакету прикладних програм MathCAD побудовано поверхні відгуку в площині (рис. 1 та рис. 2) дійсних значень параметрів.

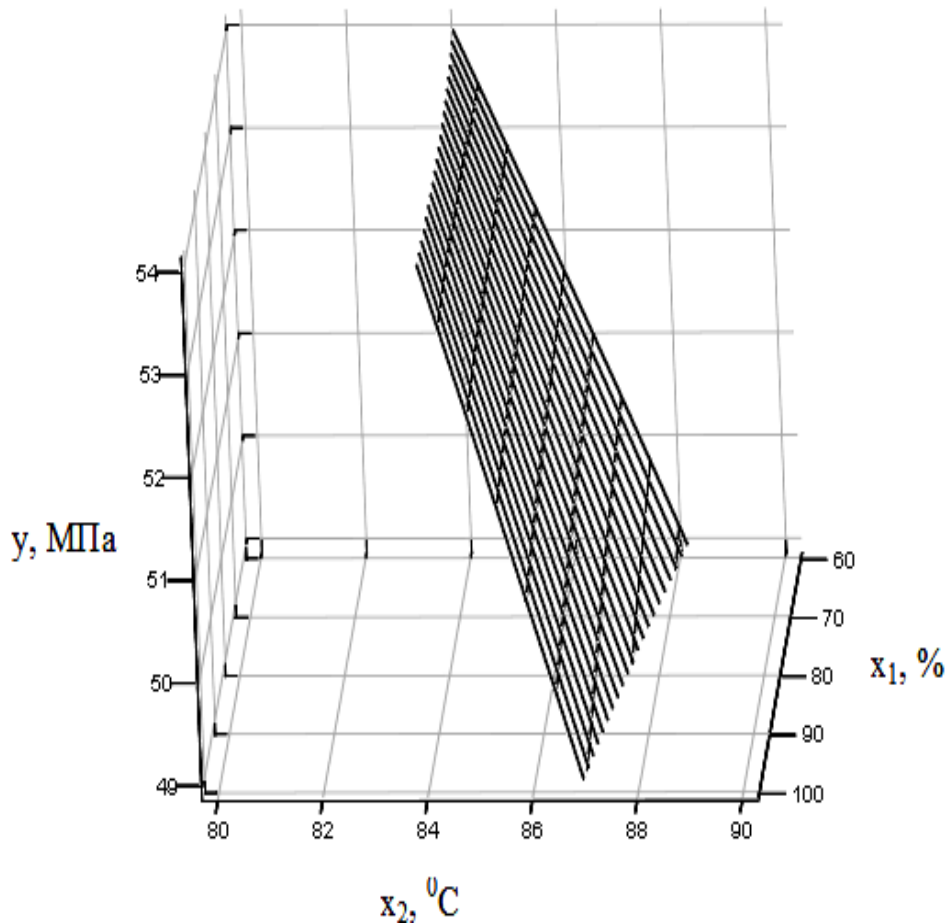


Рис. 1. Поверхні відгуку міцності бетонних виробів в площині дійсних значень параметрів  $x_1 - x_2$

За допомогою пакету прикладних програм MathCAD було проведено оптимізацію значень величин міцності  $R_b$  шляхом їх максимізації.

В результаті отримані наступні оптимальні значення параметрів процесу виготовлення бетону для максимального значення величин міцності  $R_b = 52,81$  МПа;  $t = 80,80$  °С;  $\varphi = 96,82$  %;  $\tau = 9,67$  год.

Експерименти показали, що залежності значень величин міцності  $R_b$  залежать від наступних параметрів: температури витримки бетонних виробів  $t$ ; відносної вологості пароповітряної суміші  $\varphi$ ; тривалості процесу ТВО  $\tau$  і носять квадратичний характер.

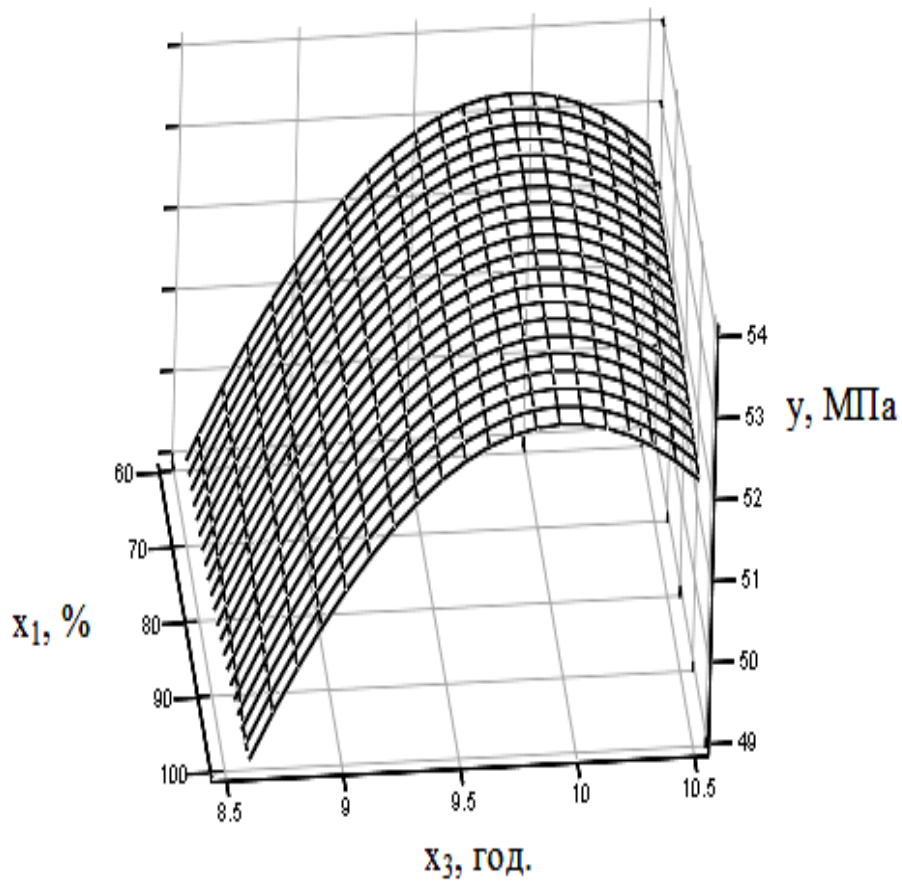


Рис. 2. Поверхні відгуку міцності бетонних виробів в площині дійсних значень параметрів  $x_1 - x_3$

**Висновки.** За допомогою проведеного повнофакторного експерименту та використання методів математичної статистики отримана математична модель процесу тепловологісної обробки бетонних виробів. Перевірка адекватності отриманої моделі за критерієм Фішера підтвердила її придатність для розрахунків та впровадження методики тепловологісної обробки бетонних виробів з використанням аеродинамічного нагріву.

**Список літератури:** 1. Колісник О.П. Процеси тепломасобміну при тепловій обробці бетонних виробів / О.П. Колісник // Вісник НТУ «ХП». – 2008. – № 38. – С. 82 – 87. 2. Патент 18723 Україна, МПК В01J 3/04. Автоклавна установка тепловологісної обробки / Сліпенька О.П., Сторожук С.Б., Коц І.В. – № u 200605904; Заявлено 29.05.2006; Опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.; 3. Зедгунідзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И.Г. Зедгунідзе. – М.: Наука, 1976. – 390 с. 4. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – [2-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Наука, 1976. – 280 с.

Надійшла до редколегії 03.06.09