

УДК 664.723.047

Пазюк В. М.

Снежкін Ю.Ф.

(Інститут технічної теплофізики)

Янович В.П.

(Вінницький національний аграрний університет)

МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СУШІННЯ НАСІННЄВОГО РІПАКУ МЕТОДОМ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

В статье приведенные результаты математической обработки результатов экспериментальных исследований сушения семенного рипаку методом многофакторного эксперимента за ортогональным композиционным планом второго порядка.

In the article the resulted results of mathematical treatment of results of experimental researches of drying seminal the rипаку method of multivariable experiment after an ortogonal composition plan the second order.

Вступ

Для математичного опису процесу сушіння ріпаку в елементарному шарі проведено трьохфакторний експеримент за ортогональним композиційним планом другого порядку.

В ортогональному центральному плануванні критерієм оптимальності плану експерименту є ортогональність стовпців матриці планування. В силу ортогональності планування всі коефіцієнти рівняння регресії визначається незалежно один від одного. Ядро композиційного плану складає план повного факторного експерименту ПФЕ 2^n .

Викладення основного матеріалу

Значення рівнів варіювання на основі аналізу літературних даних з урахуванням виробничих умов сушіння зерна та проведених експериментальних досліджень (табл.1).

Таблиця 1

Фактори і рівні варіювання, які впливають на процес сушіння насіння ріпаку

Показники	Фактори		
	Теплоносій		Матеріал
	Температура $t, ^\circ\text{C}$	Швидкість $V, \text{ м/с}$	Початкова вологість $W, \%$
Верхній (+1)	80	1,5	22
Середній (0)	65	1,05	17
Нижній (-1)	50	0,6	12
Інтервал варіювання	15	0,45	5
Кодове позначення	x_1	x_2	x_3

Згідно плану дослідження проводили з використанням трьох рівнів для кожного фактору – верхнього (+1), нульового (0) і нижнього (-1), кодові значення яких визначали за формулою:

$$x_1 = \frac{t - t_0}{\varepsilon_1} = \frac{t - 65}{15}; \quad x_2 = \frac{V - V_0}{\varepsilon_2} = \frac{V - 1,05}{0,45}; \quad x_3 = \frac{W - W_0}{\varepsilon_3} = \frac{W - 17}{5},$$

де: t_0, V_0, W_0 – значення факторів на основному рівні, відповідно температура та швидкість теплоносія, початкова вологість та висота шару ріпаку;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – інтервал варіювання факторів.

Математичні моделі процесу будувались у вигляді рівнянь регресії:

$$\hat{y} = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_{11} x_1^2 + a_{22} x_2^2 + a_{33} x_3^2 + a_{12} x_1 x_2 + a_{13} x_1 x_3 + a_{23} x_2 x_3 \quad (1)$$

Коефіцієнти регресії можна визначались за наступними формулами:

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y_k - q \sum_{i=1}^3 a_{ii}; a_i = b_1 \sum_{k=1}^N x_{ik} y_k;$$

$$a_{ij} = b_2 \sum_{k=1}^N x_{ik} x_{jk} y_k; a_{ii} = b_3 \sum_{k=1}^N (x_{ik}^2 - q) y_k, \quad (2)$$

де: q – величина, яка забезпечує ортогональність композиційних планів:

$$q = \frac{1}{N} (2^n + 2R^2) = \frac{1}{15} (2^3 + 2 \cdot 1,215^2) = 0,73,$$

b_0, b_1, b_2, b_3 – елементи дисперсійної матриці плану

$$b_0 = 0,0667; b_1 = 0,0913; b_2 = 0,125; b_3 = 0,2298.$$

Рекомендований вигляд матриці планування експерименту і порядок проведення дослідів представлені в табл.2.

Таблиця 2

Матриця плану і результати експериментів з сушіння насіння ріпаку сорту Чорний Велетень

№	Умови дослідів									τ , хв	С, %
	x_1	x_2	x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$		
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	30	93
2	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	12	70
3	-1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	24	91
4	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	9	68
5	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	54	91
6	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	24	6
7	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	48	90
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	20	4
9	-1,215	0	0	+1,472	0	0	0	0	0	44	93
10	+1,215	0	0	+1,472	0	0	0	0	0	17	28
11	0	-1,215	0	0	+1,472	0	0	0	0	32	79
12	0	+1,215	0	0	+1,472	0	0	0	0	28	77
13	0	0	-1,215	0	0	+1,472	0	0	0	17	79
14	0	0	+1,215	0	0	+1,472	0	0	0	37	70
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	78

Результати трьохфакторного експерименту за ортогональним композиційним планом другого порядку, дозволив отримати рівняння квадратичної регресії в кодових змінних для тривалості процесу сушіння в елементарному шарі:

$$\hat{y} = 31,11 - 11,212x_1 - 2,087x_2 + 8,61x_3 - 0,328x_1^2 - 0,669x_2^2 - 2,709x_3^2 + 0,5x_1x_2 - 3x_1x_3$$

для схожості насіння ріпаку рівняння квадратичної регресії:

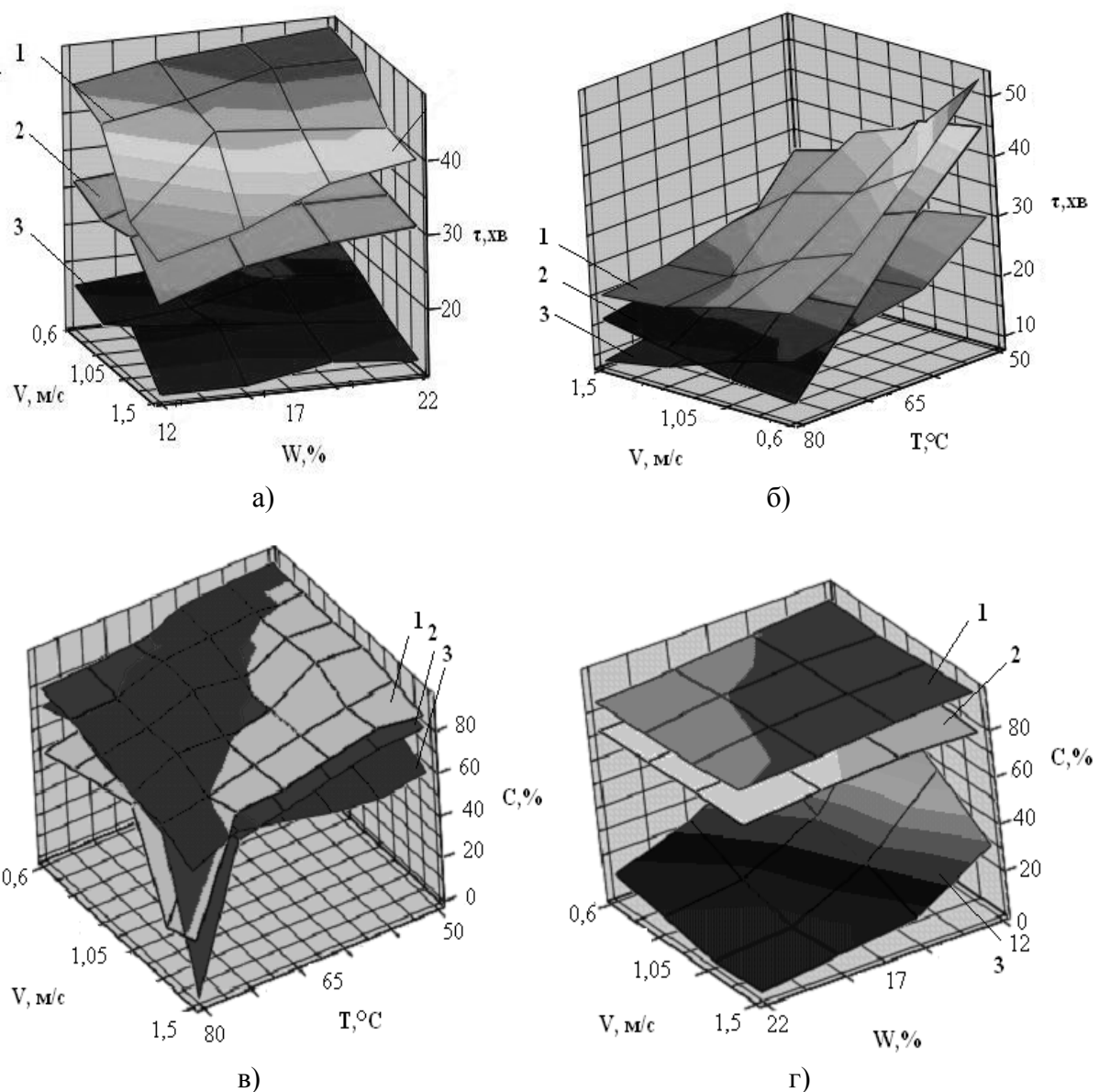
$$\hat{y} = 78 - 27x_1 - 0,86x_2 - 16,14x_3 - 11,73x_1^2 - 0,17x_2^2 - 2,21x_3^2 - 0,125x_1x_2 - 15,625x_1x_3 + 0,125x_2x_3$$

За результати проведених розрахунків отримані показники статистичних даних і перевірена відтворюваність експерименту рівняння регресії, визначені значимі коефіцієнти регресії та адекватності моделі реального об'єкту (табл.3.)

Отримані показники статистичних даних

Показники стати-стичних даних	Тривалість сушіння	Схожість	Висновок
Критерій Кохрена	$G_{\max} = 0,087 < G_{кр} = 0,3346$	$G_{\max} = 0,111 < G_{кр} = 0,3346$	Відтворюваність експерименту
Критерій Стьюдента Не значимі коефіцієнти регресії:	$t_{кр} = 2,04$ $a_{11} = -0,328, a_{23} = 0$	$t_{кр} = 2,04$ $a_{12} = 0,125, a_{22} = 0,17, a_{23} = 0,125$	Визначені значимі коефіцієнти в рівнянні регресії
Критерій Фішера	$F_p = 0,87 < F_{кр} = 2,35$	$F_p = 0,13 < F_{кр} = 2,27$	Модель адекватна реальному об'єкту

Перейдемо в рівняння квадратичної регресії від кодованих факторів X_i до відповідних фізичних величин.



а, в) температури: 1 – 50°C; 2 – 65°C; 3 – 80°C; б, г) початкової вологості: 1 – 12%; 2 – 17%; 3 – 22%.

Рис. 1. - Поверхні відгуку тривалості сушіння та схожості насіння ріпаку отримані за рівняннями квадратичної регресії від дії наступних факторів

Рівняння квадратичної регресії для тривалості сушіння насіння ріпаку:

$$\tau = 51,096 - 0,148 \cdot t - 9,45 \cdot V + 4,32 \cdot W - 3,3 \cdot V^2 - 0,108 \cdot W^2 - 0,074 \cdot t \cdot V - 0,04 \cdot t \cdot W \quad (3)$$

Рівняння квадратичної регресії для схожості насінневого ріпаку:

$$C = 267,4 + 1,6 \cdot t - 1,91 \cdot V + 10,32 \cdot W - 0,052 \cdot t^2 - 0,088 \cdot W^2 - 0,21 \cdot t \cdot W \quad (4)$$

З наведених рівнянь регресії тривалості сушіння та схожості насіння ріпаку в елементарному шарі найбільший вплив має температура теплоносія та початкова вологість насіння ріпаку, тому поверхні відгуку побудовані від дії зазначених факторів в графічній програмі Mathcad.

За приведеними поверхнями відгуку описаними за ортогональним композиційним планом другого порядку можна знайти проміжні значення тривалості сушіння в залежності від зазначених факторів.

Отримані емпіричні математичні моделі можуть бути закладені в основу визначення тривалості та схожості процесу сушіння насінневого ріпаку від впливу параметрів сушіння: температури та швидкості руху теплоносія, початкової вологості насіння ріпаку.

Висновки

Експериментальні дослідження кінетики сушіння насінневого ріпаку на конвективному сушильному стенді дало можливість відпрацювати раціональні режими сушіння на елементарному шарі з метою отримання найкращої якості посівного матеріалу. Математичний опис процесу сушіння за ортогональним композиційним планом другого порядку та отримані рівняння квадратичної регресії підтверджують правильність вибраних технологічних режимів сушіння.

Література

1. Снежкин Ю.Ф., Пазюк В. М., Шапарь Р.А., Михайлик Т.А., Петрова Ж. А. Исследование кинетики сушки семенного рапса в элементарном слое // *Вібрація в техніці та технологіях*. – 2008. – №1. – С.93 – 95.
2. Янцевич А. А., Александров Ю. А. Планирование эксперимента: Учеб. пособие для студ. экон. и техн. спец. вузов / *Народная украинская академия*. – Х.: Издательство НУА, 2004. – 208с.