

## УДК 621:658.5.012.1 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ПРОЦЕС СУШІННЯ ПІСЛЯСПИРТОВОЇ БАРДИ

Дослідження впливу вхідних параметрів на процес сушіння післяспиртової барди. У статті розглянуто питання вибору оптимального режиму та стадії технологічного процесу сушіння післяспиртової барди. Для визначення оптимальних режимів процесу сушіння нами був проведений статистичний метод планування експерименту.

Ключевые слова: сушилка, кипящий слой, инертный носитель, фторопластовая крошка, барда, матрица. Sabadash S. M., Kazakov, D. D., Rogawski Y. P. Study of influence of input parameters on the drying process of DDGS. In the article the question of choosing the optimal mode and the stage of the technological process of drying DDGS. To determine the optimal modes of drying process, we conducted a statistical method of experiment planning.

Keywords: dryer, fluidized bed, an inert carrier, bard, matrix.

Багаточисельні дослідження, які проводяться в процесі сушіння харчової сировини зводяться до вирішення експериментальних задач, направлених на знаходження оптимальних умов протікання процесів, як наприклад в процесі сушіння післяспиртової барди (відходи спиртового виробництва), або на оптимальний вибір конструкцій сушильних установок. Метою статті є визначення впливу вхідних параметрів на процес сушіння. Для визначення впливу оптимального технологічних параметрів на процес, необхідно порівняти різні варіанти процесу, врахувати і проаналізувати вплив величезної кількості чинників на процес сушіння, за обмежений термін часу. Для визначення впливу режимів на процес сушіння нами був проведений статистичний метод планування досліджень [1,2,3,4]. В якості вхідних параметрів були взяті: температура на вході в сушильну камеру  $t_{суш}$  0С, витрата повітря м<sup>3</sup>/год, та кількість завантаженої крихти гр. В процесі реалізації планових експериментів інші параметри процесу сушіння залишались не змінними: діаметр фторопластової крихти 3х3х3, газорозподільна решітка, фіктивна швидкість повітря в камері. В якості об'єкта досліджень використовували після спиртову барду. На першому етапі досліджень був реалізований повний факторний експеримент типу 2<sup>3</sup>. Рівні факторів і інтервали варіювання були вибрані по результатам попередніх пошукових експериментів. Приймавши в якості параметра оптимізації продуктивність Q гр/год установки і позначмо її через у. Фактори, рівні, і інтервал варіювання приведені в таблиці

Таблиця 1.

Рівні і інтервали варіювання факторами				
Найменування	Кількість завантаженої крихти $zр$	Витрати повітря $м^3/год$	t сушіння $^{\circ}C$	Продуктивність $г/час$
Нижній рівень	25	45	95	60
Верхній рівень	50	105	125	122
Базовий рівень	37,5	60	110	
Інтервал варіювання	12,5	45	15	
Кодове значення	$X_1$ $M$	$X_2$ $Q$	$X_3$ $T$	$Y$

Перейдемо до розгляду експериментів з трьома невідомими змінними  $x_1$ ;  $x_2$ ;  $x_3$ . Щоб вичерпати всі можливі комбінації трьох факторів потрібно поставити вісім дослідів, плануючи експеримент.

Матриця планування експерименту і результати її реалізації приведені в таблиці 2. Продуктивність була досягнута в паралельних дослідах, відмічена через  $y_1$  і  $y_2$ , а середнє значення через  $\bar{y}$ .

Таблиця 2.

План експерименту типу $2^3$								
Номер дослідів	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$
1	+	-	-	-	+	+	+	-
2	+	+	-	-	-	-	+	+
3	+	-	+	-	-	+	-	+
4	+	+	+	-	+	-	-	-
5	+	-	-	+	+	-	-	+
6	+	+	-	+	-	+	-	-
7	+	-	+	+	-	-	+	-
8	+	+	+	+	+	+	+	+

План  $2^3$  дозволяє отримати розділення оцінки для коефіцієнтів рівня регресії виду [2,4]:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3 \quad (1)$$

Коефіцієнти регресії в рівнянні (1) визначали по формулі:

$$b = \frac{\sum_{u=1}^N y_u}{N}; b_u = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} y_u}{N}; b_{ie} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{eu} y_u}{N}$$

В результаті розрахунків були отримані наступні значення коефіцієнтів.

$$b_0 = 94,375; b_1 = 12; b_2 = 17,375; b_3 = 5,625;$$

$$b_{12} = -2,5; b_{13} = -4,5; b_{23} = 5,625; b_{123} = -4,5;$$

Після підставлення значень коефіцієнта в рівняння (1) воно прийняло вигляд:

$$y = 94,375 + 12x_1 + 17,375x_2 + 5,625x_3 - 2,5x_1x_2 - 4,5x_1x_3 + 5,625x_2x_3 - 4,5x_1x_2x_3 \quad (2)$$

Для перевірки гіпотези адекватності моделі представленої рівнянням (2) знаходимо дисперсію адекватності.

$$s_{ad}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (y_n - \bar{y})^2}{f} \quad (3)$$

де  $y_n$  - експериментальне значення параметра оптимізації в  $n$ -м досліді;

$\bar{y}$  - значення параметра оптимізації в  $n$ -м досліді, яке вираховується за рівнянням (3);  $f$  - число степенів вільності,  $f = N - (k + 1)$ ;  $k$  - число факторів яке дорівнює 3. Для розрахунку суми, яке входить в рівняння (3), складаємо допоміжну таблицю (таблиця 3). При розрахунках значень  $\bar{y}$  в рівнянні (2) необхідно підставляти кодоване значення фактора. Наприклад, в першому досліді кодування значення факторів  $x_1 = -1$ ;  $x_2 = -1$ ;  $x_3 = -1$ ;  $x_1x_2 = +1$ ;  $x_1x_3 = +1$ ;  $x_2x_3 = +1$ ;  $x_1x_2x_3 = -1$ .

Слідуючи з цього  $\bar{y} = 94,375 + 12(-1) + 17,375(-1) + 5,625(-1) - 2,5(+1) - 4,5(+1) - 5,625(+1) - 4,5(-1)$ . Підставляючи отримані значення сум (таблиця 3) і вираз (3), знаходимо:

Продовження таблиці 2

Допоміжна таблиця для розрахунку  $s_{ad}^2$

Номер досліді	$y_1$	$y_2$	$\bar{y}$	$(y_1 - \bar{y})$	$(y_2 - \bar{y})$	$(y_1 - \bar{y})^2$	$(y_2 - \bar{y})^2$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	60	65	62,5	-2,5	2,5	6,25	6,25
2	90	93	91,5	-1,5	1,5	2,25	2,25
3	80	84	82	-2	2	4	4
4	118	120	119	-1	1	1	1
5	60	65	62,5	-2,5	2,5	6,25	6,25
6	90	93	91,5	-1,5	1,5	2,25	2,25
7	120	125	122,5	-2,5	2,5	6,52	6,25
8	122	125	123,5	-1,5	1,5	2,25	2,25
						$\sum_{n=1}^8 (y_n - \bar{y}_n)^2 = 30,77$	

$$s_{\text{об}}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (y_n - \bar{y})^2}{f} = \frac{\sum_{n=1}^8 (y_n - \bar{y})^2}{N - (k + 1)} = \frac{30,77}{8 - (3 + 1)} = 7,692$$

Дисперсія  $s_y^2 = 7,692$

Дисперсію  $s_y^2$  параметра оптимізації визначали по результатам чотирьох дослідів в центрі плану. Розрахунок дисперсії  $s_y^2$  представлений в таблиці 3.

Таблиця 3.

Результати дослідження в центрі плану

Номер дослідів в центрі плану	$y_u$	$\bar{y}$	$y_u - \bar{y}$	$(y_u - \bar{y})^2$	$s_y^2$
1	61,5	$\frac{\sum_{n=1}^4 y_u}{4} = \frac{250}{4} = 62,5$	-1	1	$\frac{\sum_{n=1}^4 (y_u - \bar{y})^2}{4 - 1} = \frac{3,99}{3} = 1,33$
2	62,0		-0,5	0,25	
3	63,5		0,7	0,49	
4	64,0		1,5	2,25	
	$\sum_{n=1}^4 y_u = 355$			$\sum_{n=1}^4 (y_u - \bar{y})^2 = 3,99$	

Дисперсія коефіцієнта регресії:

$$s^2\{b_u\} = \frac{s_y^2}{N} = \frac{1,33}{8} = 0,166 \quad (4)$$

Довірливий інтервал коефіцієнта:

$$\Delta b_i = \pm t_s\{b_i\} = \pm 2,78\sqrt{0,166} = \pm 1,13, \quad (5)$$

де t- табличні значення критерія Стюдента, яке дорівнює 2,78 при 5% - ном рівні значимості і числі ступенів вільності  $f = 4$ .

Перевірку гіпотези адекватності моделі проводили по F- критерію Фішера. Для цього знаходили розрахункове значення F- критерія:

$$F_p = \frac{s_{\text{об}}^2}{s_y^2} = \frac{7,692}{1,33} = 5,78 \quad (6)$$

При 5%- ном рівні значимості і числа ступенів вільності для чисельника  $f_1 = 4$  і для знаменника  $f_2 = 3$  табличне значення критерія  $F_T = 9,12$ . Так, як  $F_p < F_T$ , то модель, представлена рівнянням (2), адекватна.

