

УДК 66.047

## ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНОЇ МАШИНИ ДЛЯ СУШІННЯ ЗЕРНА

*Янович Л. П*

*Зозуляк І. А*

*Янович В. П*

*Вінницький державний аграрний університет*

*Yanovich L.*

*Zozuliak I.*

*Yanovich V.*

*Vinnitsia State Agrarian University*

*Анотація:* проведені аналітичні дослідження основних технологічних та енергетичної параметрів процесу вібраційного сушіння зернової маси при використанні статистичного методу рототабельного центрально-композиційного планування багатофакторного експерименту. За результатами багатофакторного експерименту одержано математичні моделі у вигляді множинної регресії другого порядку, які адекватно описують досліджуваний процес сушіння зернової маси. В чого було встановлено оптимальні робочі параметри досліджуваного процесу за умови мінімальних енерговитрат.

Таким чином, застосування запропонованої конструкції вібраційної сушарки з динамічним методом вібробудження дає можливість значно інтенсифікувати процес видалення вільної та фізично зв'язаної вологи за рахунок псевдозваженого стану оброблюваного матеріалу.

*Ключові слова:* вібраційна сушарка, планування експерименту, оптимальні робочі параметри, кореляційно-регресійний аналіз

### **Вступ**

Найбільш важливим параметром, що визначає фізико-хімічні властивості зернової маси, є її вологість. Від неї багато в чому залежать температура, свіжість зерна, а також його якість.

Саме тому технологічний процес сушіння зерна забезпечує не тільки збереження зерна, але і поліпшення його якості.

Процес сушіння направлений як на підвищення якісних характеристик оброблюваного матеріалу, так і на зменшення енергоємності досліджуваного процесу тому **актуальним** є пошук інтенсивних, зокрема, комбінованих або комплексних механічних та фізико-механічних методів обробки сипкої сировини.

**Метою** даного дослідження є оптимізація режимних параметрів роботи вібраційної сушарки [1] для інтенсифікації процесу вологовидалення з зернової маси, що досягається шляхом проведення кореляційно-регресійного аналізу якісних параметрів вихідної сировини означеного процесу.

### **Викладення основного матеріалу**

Якісними параметрами оптимізації досліджувального процесу було визначено:  $W$  – швидкість вологовіддачі продукту, %/хв;  $\zeta$  – витрати енергії на 1 кг видаленої вологи, МДж/кг

$$W = f(A\omega^2, P, T, t) \quad (1)$$

де  $A\omega^2$  – віброприскорення,  $\text{м/с}^2$ ;  $P$  – коефіцієнт завантаження;  $T$  – температура нагріву зерна,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t$  – час технологічного впливу, хв.

$$\zeta = f(A\omega^2, W) \quad (2)$$

де  $f(A\omega^2)$  – енергетична характеристика розробленого обладнання;  $f(W)$  – енергетична характеристика процесу сушіння.

Дослідження впливу перерахованих вище факторів на технологічні та енергетичні параметри досліджуваного процесу при проведенні однофакторних експериментів пов'язані зі значними труднощами та об'ємами робіт. Тому доцільно провести статистичний аналіз для отримання функціональної залежності у вигляді множинної регресії другого порядку за допомогою рототабельного центрально-композиційного планування (РЦКП) багатофакторного експерименту [3-5].

Метод РЦКП дозволяє більш точно отримати математичний опис розподілу даних, за рахунок збільшення кількості експериментів в центральних точках матриці плану і спеціальному вибору величини “зіркового значення”  $\alpha$ .

Всі фактори, які входять до функцій (1), (2), є параметрами, що мають різну розмірність та порядки. Тому для отримання поверхні відгуку цих функцій було проведено операцію кодування факторів, що являє собою лінійне перетворення факторного простору [2]. Встановлено наступні значення рівнів факторів в умовному масштабі: мінімальний  $-1$ , середній  $0$ , максимальний  $+1$  та зіркові значення  $-\alpha$ ;  $+\alpha$ .

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

Для проведення РЦКП повнофакторного експерименту було складено матрицю планування експерименту, яку наведено в таблиці 2, .

Планувалось отримати рівняння множинної регресії 2-го порядку:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_i^2 + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_i x_{ij} \quad (3)$$

Таблиця 1

### Рівні факторів та інтервали варіювання параметрів оптимізації процесу сушіння зерна

Фактори	Рівні факторів					Інтервал варіювання
	$-\alpha$	$-1$	$0$	$+1$	$+\alpha$	
$x_1$ – віброприскорення, $\text{м/с}^2$	16	20	24	28	32	4
$x_2$ – коефіцієнт завантаження	0,16	0,33	0,5	0,63	0,76	0,17
$x_3$ – температура нагріву зерна, $^{\circ}\text{C}$	65	70	75	80	85	5
$x_4$ – час технологічного впливу, хв	20	30	40	50	60	10

Для оцінки адекватності отриманих регресійних рівнянь використаємо аналітичний метод аналізу. Гіпотезу про відтворюваність дослідів перевіряємо за допомогою критерія Кохрена, який показує, що на 95 % рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні, так як

розрахункове значення критерію менше за табличне. Перевірку значимості коефіцієнтів регресії перевіряємо по  $t$  - критерію Стьюдента. Оцінку адекватності отриманих математичних моделей проводимо за критерієм Фішера, який показав, що розрахункові значення значно нижчі від критичних; відповідно отримані регресійні моделі адекватно описують поверхні відгуку та їх можна використовувати для оптимізації цих процесів. Розрахункові значення критеріальної оцінки відображені в таблиці 5.

В результаті обробки експериментальних даних в статистичному середовищі STATISTICA 6.0 було отримано коефіцієнти комплексних рівнянь множинної регресії 2-го порядку та побудовано наступні залежності швидкості вологовіддачі продукту від віброприскорення контейнера, коефіцієнта завантаження контейнера, температури нагріву зерна та часу технологічного впливу (4).

Таблиця 2

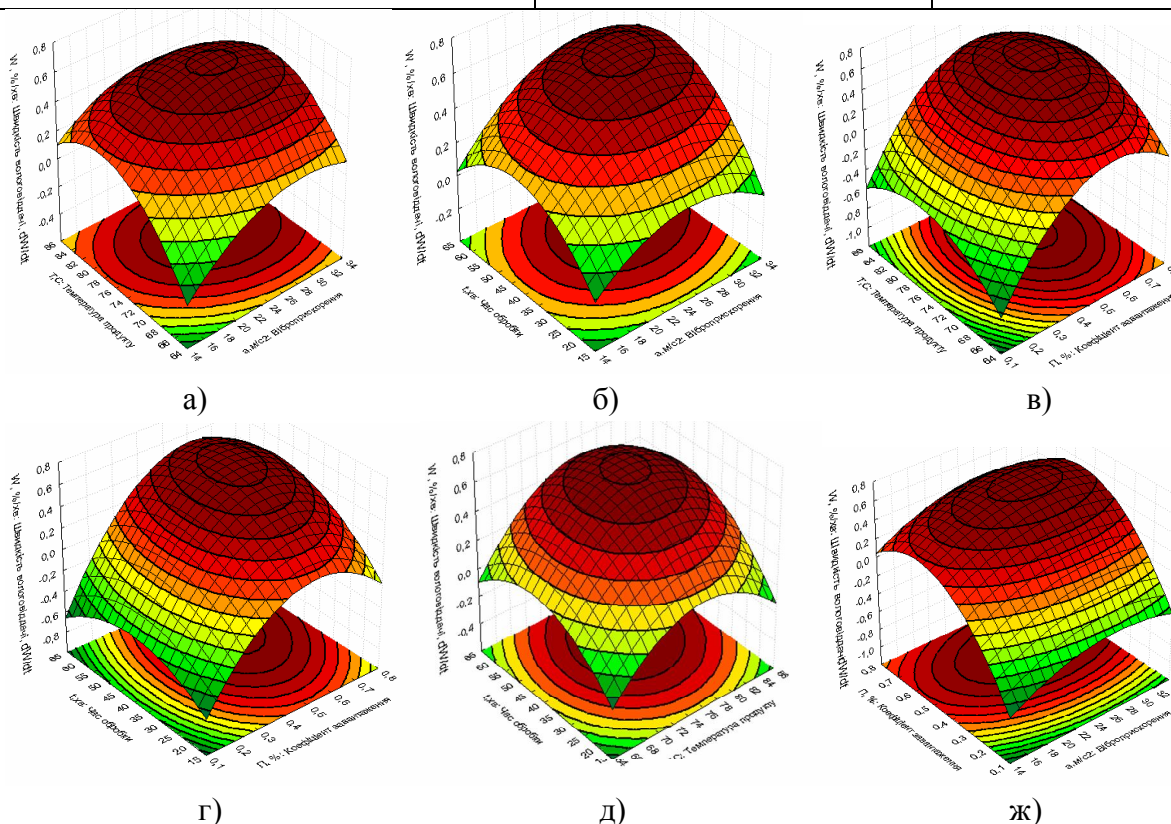
**Чотирифакторна матриця для визначення оптимальних параметрів процесу сушіння**

№ дослід у	Фактори					Параметри				
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$F(x_1, x_2, x_3, x_4)$	$a, \text{м/с}^2$	$\Pi, \%$	$T, \text{C}^0$	$t_{\text{хв}}$	$W, \%/ \text{хв}$
1	+	+	+	+	+	28	0,63	80	50	0,6
2	-	+	+	+	+	20	0,63	80	50	0,5
3	+	-	+	+	+	28	0,33	80	50	0,3
4	-	-	+	+	+	20	0,33	80	50	0,2
5	+	+	-	+	+	28	0,63	70	50	0,5
6	-	+	-	+	+	20	0,63	70	50	0,3
7	+	-	-	+	+	28	0,33	70	50	0,2
8	-	-	-	+	+	20	0,33	70	50	0,1
9	+	+	+	-	+	28	0,63	80	30	0,3
10	-	+	+	-	+	20	0,63	80	30	0,3
11	+	-	+	-	+	28	0,33	80	30	0,2
12	-	-	+	-	+	20	0,33	80	30	0,1
13	+	+	-	-	+	28	0,63	70	30	0,3
14	-	+	-	-	+	20	0,63	70	30	0,2
15	+	-	-	-	+	28	0,33	70	30	0,1
16	-	-	-	-	+	20	0,33	70	30	0
17	+A	0	0	0	+	32	0,5	75	40	0,7
18	-A	0	0	0	+	16	0,5	75	40	0,5
19	0	+A	0	0	+	24	0,76	75	40	0,6
20	0	-A	0	0	+	24	0,16	75	40	0
21	0	0	+A	0	+	24	0,5	85	40	0,6
22	0	0	-A	0	+	24	0,5	65	40	0,3
23	0	0	0	+A	+	24	0,5	75	60	0,6
24	0	0	0	-A	+	24	0,5	75	20	0,5
25	0	0	0	0	+	24	0,5	75	40	0,6
26	0	0	0	0	+	24	0,5	75	40	0,6

Таблиця 3

Значення розрахункових критеріїв для отриманих регресійних моделей

Критерій оцінки	Позначення критерію	Функція відгуку
Коефіцієнт детермінації	$R^2$	0,58
Дисперсія адекватності	$S_{ад}$	0,02
Дисперсія відтворюваності	$S_{відт}$	0,163
Критерій Фішера	$F$	0,137
Критичне значення критерію Фішера, яке рівне значенню розподілу Фішера	$F_{\alpha, f1, f2}$	2,74 <sub>0,05;4;21</sub>



**Рис. 1. Поверхні відгуків та їх проекції для якісних параметрів процесу сушіння зерна: а) – температура продукту та віброприскорення; б) – час обробки та віброприскорення; в) – температура продукту та коефіцієнт завантаження; г) – час обробки та коефіцієнт завантаження; д) – час обробки та температура продукту; ж) – коефіцієнт завантаження та віброприскорення.**

За результатами проведених експериментів, досліджень та випробувань розробленої вібросушарки для сушіння олійних культур на основі побудованих поверхонь відгуку досліджуваних процесів було визначено оптимальні технологічні параметри його роботи (табл. 4), компромісне значення яких було отримано методом Крамера в математичному середовищі “Mathcad 14”.

$$W(a, \Pi, T, t) = -20,1 - 0,0021a - 4,48\Pi - 0,0029T + 0,1492a + 4,3813\Pi + 0,44T + 0,0095t + 0,015\Pi t \quad (4)$$

Таблиця 4

**Оптимальні технологічні параметри досліджуваного процесу сушіння**

Технологічний параметр	Раціональне значення
Віброприскорення, м/с <sup>2</sup>	24-28
Коефіцієнт завантаження	0,5-0,65
Температура нагріву зерна, °С	74-80
Час технологічного впливу, хв	40-58

**Висновки**

1. За результатами багатофакторного експерименту одержано математичні моделі у вигляді множинної регресії другого порядку, які адекватно описують досліджуваний процес сушіння зернової маси.

2. Аналіз отриманих моделей дозволив отримати оптимальні технологічні параметри роботи досліджуваного обладнання: робочий режим віброприскорення в межах 24-28 м/с<sup>2</sup>; коефіцієнт завантаження оброблюваного матеріалу 0,5-0,65; температура нагріву оброблюваної маси 74-80 °С; час технологічного впливу 40-58 хв. При цих параметрах швидкість вологовидалення становитиме 0,8 %/хв.

**Список літератури**

1. Пат. на корисну модель № 39269 України, МПК F26B17/26. Вібраційна сушарка для дисперсних матеріалів / Берник Павло Степанович, Зозуляк Ігор Анатолійович, Ярошенко Леонід Вікторович. – власник Вінницький національний аграрний університет.; опубл. 15.06.2001, Бюл. № 5.
2. Мельников С. В. Планирование эксперимента в исследовании сельскохозяйственных процессов / Мельников С. В., Алешкин В. Р., Рошин П. М. – Л. : Колос, 1972. – 199 с.
3. Бондарь А. Г. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии (алгоритмы и примеры) : учеб. пособие / Бондарь А. Г., Статюха Г. А., Потяженко И. А. – К. : Высш. школа, 1980. – 264 с.
4. Дрейф Н. Прикладной регрессионный анализ. Кн. 1, 2 / Н. Дрейф, Г. Смит. – М. : Мир, 1981. – 252 с.
5. Бараз В. Р. Корреляционно-регрессионный анализ связи показателей коммерческой деятельности с использованием программы Excel : учеб. пособие / Бараз В. Р. – Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2005. – 102 с.

**Spisok literatury**

1. Pat. na korysnostey model' № 39269 Ukrainy, MPK F26B17/26. Vibratsiynna susharka dlya dyspersno materialiv / Bernyk Pavlo Stepanovych, Zozulyak Ihor Anatoliyovych, Yaroshenko Leonid Viktorovych. - Vlasnyk Vinnyts'kyu natsional'nyu ahrarnyū universytet. ; Opubl. 15.06.2001, Byul. № 5.
2. Mel'nikov S.V. Planirovaniye eksperimenta v issledovaniye sel'skokhozyaystvennykh protsessov / Mel'nikov S.V., Aleshkin V.R., Roshchin P. M. - L. : Kolos, 1972. - 199 s
3. Bondar' A.G. Planirovaniye eksperimenta pri optimizatsii protsessov khimicheskoy tekhnologii ( algoritmy i primery ) : ucheb. posobiye / Bondar' A.G., Statyukha G.A., Potyazhenko I. A. - M. : Vyssh. shkola, 1980. - 264 s.
4. Dreyf N. Prikladnoy regressiionnyy analiz. Kn. 1, 2 / N. Dreyf, G. Smit. - M.: Mir, 1981. - 252 s.
5. Baraz V.R. Korrelyatsionno - regressiionnyy analiz svyazi pokazateley kommercheskoy deyatel'nosti s vnedreniyem programmy Excel : ucheb. posobiye / Baraz V. G. - Yekaterinburg : UGTU - UPI, 2005. - 102 s.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ  
ВИБРАЦИОННОЙ МАШИНЫ ДЛЯ СУШКИ ЗЕРНА**

**Аннотація:** проведенные аналитические исследования основных технологических и энергетической параметров процесса вибрационного сушки зерновой массы при использовании статистического метода

рототабельного центрально-композиционного планирования многофакторного эксперимента. По результатам многофакторного эксперимента получены математические модели в виде множественной регрессии второго порядка, адекватно описывающие исследуемый процесс сушки зерновой массы. В чем было установлено оптимальные рабочие параметры исследуемого процесса при минимальных энергозатратах.

Таким образом, применение предложенной конструкции вибрационной сушилки с динамическим методом вибровозбуждения позволяет значительно интенсифицировать процесс удаления свободной и физически связанной влаги за счет псевдозваженного состояния обрабатываемого материала.

**Ключевые слова:** вибрационная сушилка, планирование эксперимента, оптимальные рабочие параметры, корреляционно-регрессионный анализ.

## DETERMINATION OF THE OPTIMAL OPERATING PARAMETERS OF VIBRATING MACHINES FOR DRYING OF GRAIN

**Summari:** analytical study of the main technological parameters of the process and energy vibrating dry grain mass using statistical method rototabelnoho central composite plan multivariate experiment. The results of multivariate experiment obtained mathematical model as second order multiple regression to study adequately describe the process of drying the grain mass. In what was found optimum operating parameters of the process with minimum energy consumption.

Thus, the application of the proposed design vibratory dryer with dynamic vibrational excitation method makes it possible to greatly intensify the removal of free and physically bound moisture due pсевдозваженoho of the material.

**Keywords:** vibrating dryer, experiment planning, optimal operating parameters, correlation and regression analysis