



III. ПЕРЕРОБНІ ТА ХАРЧОВІ ВИРОБНИЦТВА

Купчук І. М.

к.т.н., старший викладач

*Вінницький
національний аграрний
університет***УДК 621.926.2****КОМПРОМІСНА ОПТИМІЗАЦІЯ
РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ
ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ
ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ ПРИ
ВИРОБНИЦТВІ ЕТИЛОВОГО
СПИРТУ**

Економічна ефективність виробництва етанолу значною мірою залежить від прямих виробничих витрат на підготовку сировини до збродження та якісних показників даної підготовки. До одних із найбільш енергозатратних процесів даного етапу виробництва можна віднести подрібнення зерна, від показників якості якого (питомого проходу крізь контрольне сито) значною мірою залежить вартість подальшої переробки.

В даній статті, ґрунтуючись на результатах попередніх експериментальних даних досліджуваного процесу подрібнення при використанні розробленої вібраційної дискової дробарки роторного типу, здійснено статистичний аналіз якісних та енергетичних параметрів процесу.

Оцінка експериментальних даних за методом рототабельного центрально-композиційного планування багатфакторного експерименту дозволила отримати функціональні залежності якісних та енергетичних параметрів досліджуваних процесів від основних факторів.

По отриманих рівняннях було побудовано поверхні відгуків, за якими визначено раціональні технологічні параметри вібродискової дробарки, компромісне значення яких, знайдено методом Крамера.

***Ключові слова:** подрібнення, регресійний аналіз, статистичний аналіз, планування експерименту, поверхні відгуку, компромісна оптимізація.*

Вступ. При організації сучасних процесів харчових і переробних виробництв, зокрема спиртового виробництва, важливими завданнями є підвищення інтенсивності технологічної дії, степені механізації та автоматизації, зменшення витрат енергії та матеріалів при їх здійсненні. Одним із найбільш енергетично затратних процесів даного виробництва відзначають подрібнення сировини, зазвичай зернових крохмаловмісних культур. Тому розробка ефективних за техніко-економічними параметрами оцінки способів подрібнення зернової продукції, вирішення конструктивних задач для виконання досліджуваного процесу при дотриманні необхідних вимог до якості продукту, обумовлює актуальність даних досліджень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На основі проведеного аналізу технологічних процесів [1–4] і конструктивних схем існуючого обладнання [2, 4] для реалізації процесу подрібнення сипучих мас, було запропоновано спосіб подрібнення зернової сировини спиртового виробництва, сутність якого полягає в розробці принципово нової схеми дробарки, яка могла б реалізувати поєднання ударного і ріжучого впливу робочих елементів на матеріал, що дозволить обробляти як кондиційну сировину так і сировину з підвищеним вмістом вологості без значного зменшення пропускної здатності обладнання та забезпечити своєчасне виведення продукту із зони подрібнення, тим самим нівелюючи надмірну циркуляцію повітряно-продуктового шару, а як наслідок



зменшити питомі енергетичні витрати на зазначену обробку [2].

Експериментальну частину роботи виконано на базі лабораторій кафедри процесів та обладнання переробних та харчових виробництв ім. П.С. Берника Вінницького національного аграрного університету і спеціалізованої лабораторії «Овечацького МПД» ДП «Укрспирт» з використанням експериментально-промислового зразка вібродискової дробарки (рис. 1), в якій при включенні електродвигуна 5 крутний момент через муфту 6, передається на кінематичний вал 7 з противагами 8, обертання якого

призводить до створення комбінованої силової та моментної незрівноваженості розміщеного на ньому ротора 9 з осями та дисковидними билами 10. Оброблювальний матеріал безперервно надходить через завантажувальну горловину 2 і подрібнюється внаслідок обертового та коливного руху дисковидних бил 10. Зі зменшенням розмірів частинок подрібнений матеріал під впливом відцентрових сил та знакозмінних навантажень через ситову поверхню зазнає інтенсивної класифікації: частинки рівні або менші діаметру отворів сита 4 вивантажуються через горловину 3, решта – на повторне подрібнення [5].

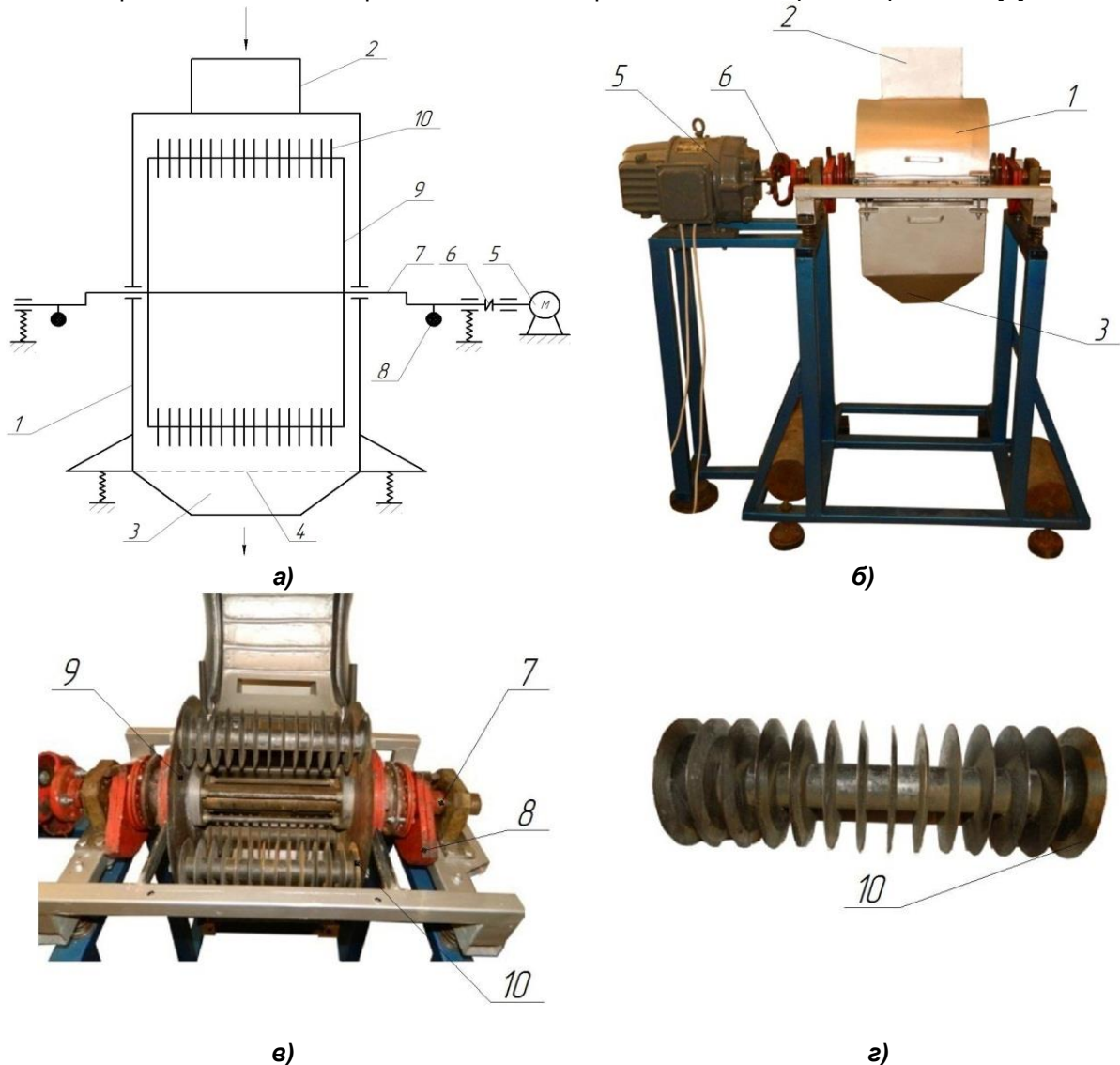
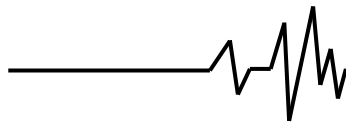


Рис. 1. Вібродискова дробарка:

- а) – принципова схема; б) – загальний вигляд; в) – виконавчий орган; г) – дискові била;
1 – корпус; 2, 3 – завантажувальна та розвантажувальна горловина; 4 – сито;
5 – електродвигун; 6 – муфта еластична; 7 – вал кінематичний; 8 – противаги;
9 – ротор; 10 – била дисковидні



Як результат проведених експериментальних досліджень, було отримано амплітудно-частотні та енергетичні характеристики вібродискової дробарки, що за робочої частоти машини $\omega=100\dots 125$ рад/с становлять: амплітуда коливань $A=2,8\dots 3,3$ мм; віброприскорення $a=40\dots 46$ м/с² та споживані енерговитрати, при подачі матеріалу $Q=100\dots 600$ кг/год, становить: $N=740\dots 1160$ Вт [6].

Крім того було отримано залежності:

- споживаних енерговитрат на привод дробарки (N , Вт) від кутової швидкості приводного валу (ω , с⁻¹), подачі матеріалу (Q , кг/год) та діаметра отворів сепарувальної поверхні (d , мм) [7];

- продуктивності обладнання (Π , кг/год) від кутової швидкості приводного валу (ω , с⁻¹), діаметра отворів сепарувальної поверхні (d , мм) та вологовмісту матеріалу (B , %) [8];

- питомі частки матеріалу, що пройшла крізь контрольне сито діаметром 1 мм від кутової швидкості приводного валу (ω , с⁻¹) та діаметра отворів сепарувальної поверхні (d , мм) [9].

Отриманий масив експериментальних даних дозволяє зробити висновок про потенційну енергоефективність даного процесу та обладнання в порівнянні з аналогами, проте для досягнення високих показників, необхідно обґрунтувати раціональні режими роботи обладнання, шляхом статистичної обробки масиву числових даних параметрів процесу.

Метою даного дослідження є компромісна оптимізація режимних параметрів процесу подрібнення зернової сировини вібродисковою дробаркою при виробництві етилового спирту шляхом проведення кореляційно-регресійного аналізу значень якісних та енергетичних параметрів досліджуваного процесу.

Матеріали і методи. Статистичний аналіз масиву експериментальних даних для отримання функціональної залежності у вигляді множинної регресії другого порядку було отримано за допомогою рототабельного центрально-композиційного планування (РЦКП) багатофакторного експерименту [10].

Метод РЦКП дає змогу більш точно отримати математичний опис розподілу даних за рахунок збільшення кількості експериментів у центральних точках матриці плану і

спеціального вибору величини «зіркового значення» α .

Обробку експериментальних даних здійснювали у статистичному середовищі STATISTICA 6.0. та Mathcad 15.

Результати досліджень. Якісними та енергетичними параметрами оптимізації досліджуваних процесів визначено: продуктивність Π , кг/год; питомий прохід крізь контрольне сито K , %; N – споживані енерговитрати, Вт.

$$\Pi = f(a, Q, W, d), \quad (1)$$

$$K = f(a, Q, W, d), \quad (2)$$

$$N = f(a, Q, W, d), \quad (3)$$

де a – віброприскорення, м/с²; d – діаметр отворів сепараційної поверхні, мм; Q – величина подачі матеріалу, кг/год; W – відносна вологість матеріалу, %.

Кількість факторів (РЦКП) становить:

$$k = k_{\text{я}} + 2n + k_0, \quad (4)$$

де $k_{\text{я}}$ – кількість факторів у ядрі плану;

n – кількість факторів; $2n$ – кількість

досліджень у зіркових точках; k_0 – кількість факторів у центрі плану з координатами (0,0...0). Рототабельність композиційного плану набувається за умови, що величина зіркового

плеча α вибирається з інтервала $\alpha = 2^{\frac{n}{4}}$ при $n \leq 5$, тобто для чотирифакторного експерименту, $\alpha = 2$.

Аналіз статистичних характеристик отриманих даних показав, що коефіцієнти їх асиметрії прямують до нуля, тобто розподіл експериментальних даних є симетричним та апроксимується за нормальним законом.

За негативного значення асиметрії несиметричність вибірки за зміщенням центру розподіляється праворуч, у протилежному разі – навпаки. Негативний коефіцієнт ексцесу свідчить про закругленість піка досліджуваного розподілу [10].



Таблиця 1

Статистична характеристика якісних та енергетичних параметрів досліджуваного процесу

Показник	Значення параметрів		
	Π , кг/год	K , %	N , Вт
Кількість факторів, шт.	26	26	26
Мінімальне значення	230	66,7	793
Максимальне значення	455	95,6	1595
Середнє значення	322,4	84,6	1102
Верхня величина довірчого інтервала	345,6	88,6	1206
Нижня величина довірчого інтервала	299,1	80,7	997
Геометричне середнє	317,6	84	1075
Гармонічне середнє	312,9	83,4	1050
Медіана	305,5	86,2	1034
Мода	299	85,3	1595
Частота моди	2	2	2
Нижній кuartиль	281	80,9	910
Верхній кuartиль	376	93,2	1276
Розмах	225	28,9	802
Кuartиль розмаху	95	12,3	366
Асиметрія	0,493	-0,724	0,739
Коефіцієнт ексцесу (куртозису)	-0,462	-0,883	-0,629

Всі фактори, які входять до функцій (1–3), 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. Встановлено такі значення рівнів факторів в умовному масштабі: мінімальний «-1», середній «0», максимальний «+1» та зіркові значення «- α », «+ α ». Істинні значення факторів матриці РЦКП встановлені на основі здійснення пошукових експериментів і наведені в таблиці 2. Для проведення РЦКП

повнофакторного експерименту було складено матрицю планування експериментів, які подані в таблиці 3. Заплановано отримати рівняння множинної регресії 2-го порядку:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_i^2 + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_{ij} x_{ij}, \quad (5)$$

де y – одна з якісних функцій Π , K , N ; b_0 , b_i , b_{ij} – коефіцієнти регресії, отримані методом найменших квадратів.

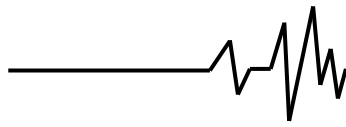
Таблиця 2

Рівні факторів та інтервали варіювання параметрів оптимізації

Фактори	Рівні факторів					Інтервал варіювання
	- α	-1	0	+1	+ α	
x_1 – віброприскорення, м/с ²	30	35	40	45	50	5
x_2 – подача матеріалу, кг/год	200	300	400	500	600	100
x_3 – вологість матеріалу, %	14	17	20	23	26	3
x_4 – діаметр отвору сит, мм	1,2	1,4	1,6	1,8	2	0,2

Для оцінки адекватності отриманих регресійних рівнянь використаємо аналітичні та графічні методи аналізу. Гіпотезу про відтворюваність дослідів перевіряємо за допомогою критерію Кохрена, який показує, що на 95% рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні, тому що розрахункове значення критерію менше за табличне.

Перевірку значущості коефіцієнтів регресії здійснюємо за t-критерієм Стюдента. Оцінку адекватності отриманих математичних моделей провадимо за критерієм Фішера, який показав, що розрахункові значення значно нижчі від критичних, відповідно отримані регресійні моделі адекватно описують поверхні відгуку, та їх можна використовувати в цілях оптимізації досліджуваних процесів [10].



Таблиця 3

Чотирифакторна матриця для визначення оптимальних параметрів процесу подрібнення

№ досліджу	Фактори										Параметри		
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	F(x ₁ x ₂ x ₃ x ₄)	a, м/с ²	Q, кг/год	W, %	d, мм	П, кг/год	К, %	N, Вт	
1	+	+	+	+	+	45	500	20	1,8	387	80,9	1335	
2	-	+	+	+	-	35	500	20	1,8	321	70,7	928	
3	+	-	+	+	-	45	300	20	1,8	297	81,3	997	
4	-	-	+	+	+	35	300	20	1,8	271	67	804	
5	+	+	-	+	-	45	500	16	1,8	455	81,2	1276	
6	-	+	-	+	+	35	500	16	1,8	311	71,2	917	
7	+	-	-	+	+	45	300	16	1,8	299	81,8	935	
8	-	-	-	+	-	35	300	16	1,8	283	67,5	793	
9	+	+	+	-	-	45	500	20	1,4	343	93	1570	
10	-	+	+	-	+	35	500	20	1,4	230	85,1	945	
11	+	-	+	-	+	45	300	20	1,4	279	94	1186	
12	-	-	+	-	-	35	300	20	1,4	236	85	854	
13	+	+	-	-	+	45	500	16	1,4	376	91	1520	
14	-	+	-	-	-	35	500	16	1,4	269	86	934	
15	+	-	-	-	-	45	300	16	1,4	299	91,3	1102	
16	-	-	-	-	+	35	300	16	1,4	281	86,3	867	
17	+A	0	0	0	0	50	400	18	1,6	399	93	1101	
18	-A	0	0	0	0	30	400	18	1,6	260	72	815	
19	0	+A	0	0	0	40	600	18	1,6	392	93,2	1595	
20	0	-A	0	0	0	40	200	18	1,6	330	93,6	877	
21	0	0	+A	0	0	40	400	22	1,6	300	91	1320	
22	0	0	-A	0	0	40	400	14	1,6	400	95,6	1070	
23	0	0	0	+A	0	40	400	18	2	398	66,7	910	
24	0	0	0	-A	0	40	400	18	1,2	282	94,2	1595	
25	0	0	0	0	0	40	400	18	1,6	344	93,5	1200	
26	0	0	0	0	0	40	400	18	1,6	340	93,6	1205	

Розрахункові значення критеріальної оцінки відображені в таблиці 4.

Таблиця 4

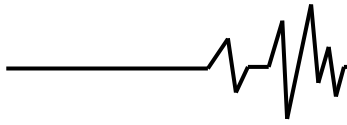
Значення розрахованих критеріїв до отриманих регресійних моделей

Критерій оцінки	Позначення критерію	Функція відгуку		
		П	К	N
Коефіцієнт детермінації;	R^2	0,89	0,81	0,95
Дисперсія адекватності	$S_{ад}$	82882	2387	1667389
Дисперсія відтворюваності	$S_{відт}$	774,4	40	7852
Критерій Фішера	F	1,6	2,17	1,28
Критичне значення критерію Фішера	F_{α, f_1, f_2}	5,8 _{0,05;4;26}		

Після обробки експериментальних даних у статистичному середовищі STATISTICA 6.0 було отримано коефіцієнти комплексних рівнянь множинної регресії 2-го порядку та

побудовано такі залежності:

- продуктивності від віброприскорення, подачі, вологості матеріалу та діаметра перфорації (6):



$$\begin{aligned} \Pi = & 380 - 11,5a - 0,4Q + 7W - 24,8d + 0,24a^2 - 0,5W^2 - \\ & - 11,3d^2 + 0,02aQ - 0,06aW - 5,3ad - 0,05QW + 0,16Qd + 16,7Wd \end{aligned} \quad (6)$$

- прохідної здатності від віброприскорення, подачі, вологості матеріалу та діаметра перфорації (7):

$$\begin{aligned} K = & 81,83 - 1,3a + 0,07Q + 1,48W + 12,62d + 0,03a^2 \\ & - 0,05W^2 - 3,2d^2 + 0,04aW - 0,25ad - 1,7Wd \end{aligned} \quad (7)$$

- споживаних енерговитрат від віброприскорення, подачі, вологості матеріалу та діаметра перфорації (8).

$$\begin{aligned} N = & 1042,7 - 19,7a - 1,5Q - 11,2W - 78d + 0,42a^2 - 1,05W^2 - 178d^2 + \\ & + 0,096aQ + 0,74aW - 18,2ad - 0,2QW - 0,8Qd + 13,62Wd \end{aligned} \quad (8)$$

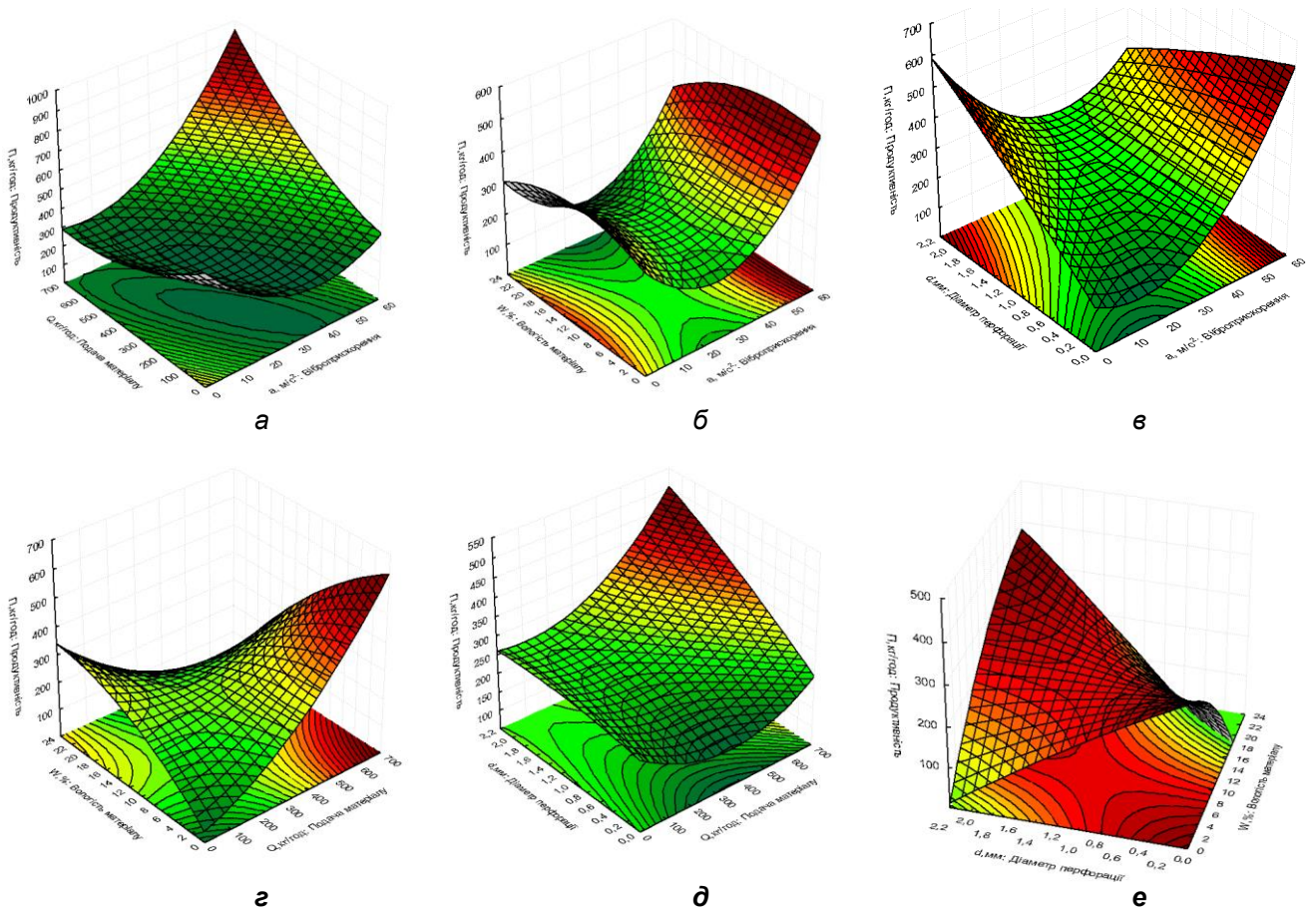


Рис. 2. Поверхні відгуків та їх проекції для продуктивності у парній взаємодії основних факторів:

- а) – віброприскорення та подача матеріалу;
- б) – віброприскорення та вологість матеріалу;
- в) – віброприскорення та діаметр отворів сепараційної поверхні;
- г) – вологість та подача матеріалу;
- д) – подача матеріалу та діаметр отворів сепараційної поверхні;
- е) – вологість матеріалу та діаметр отворів сепараційної поверхні

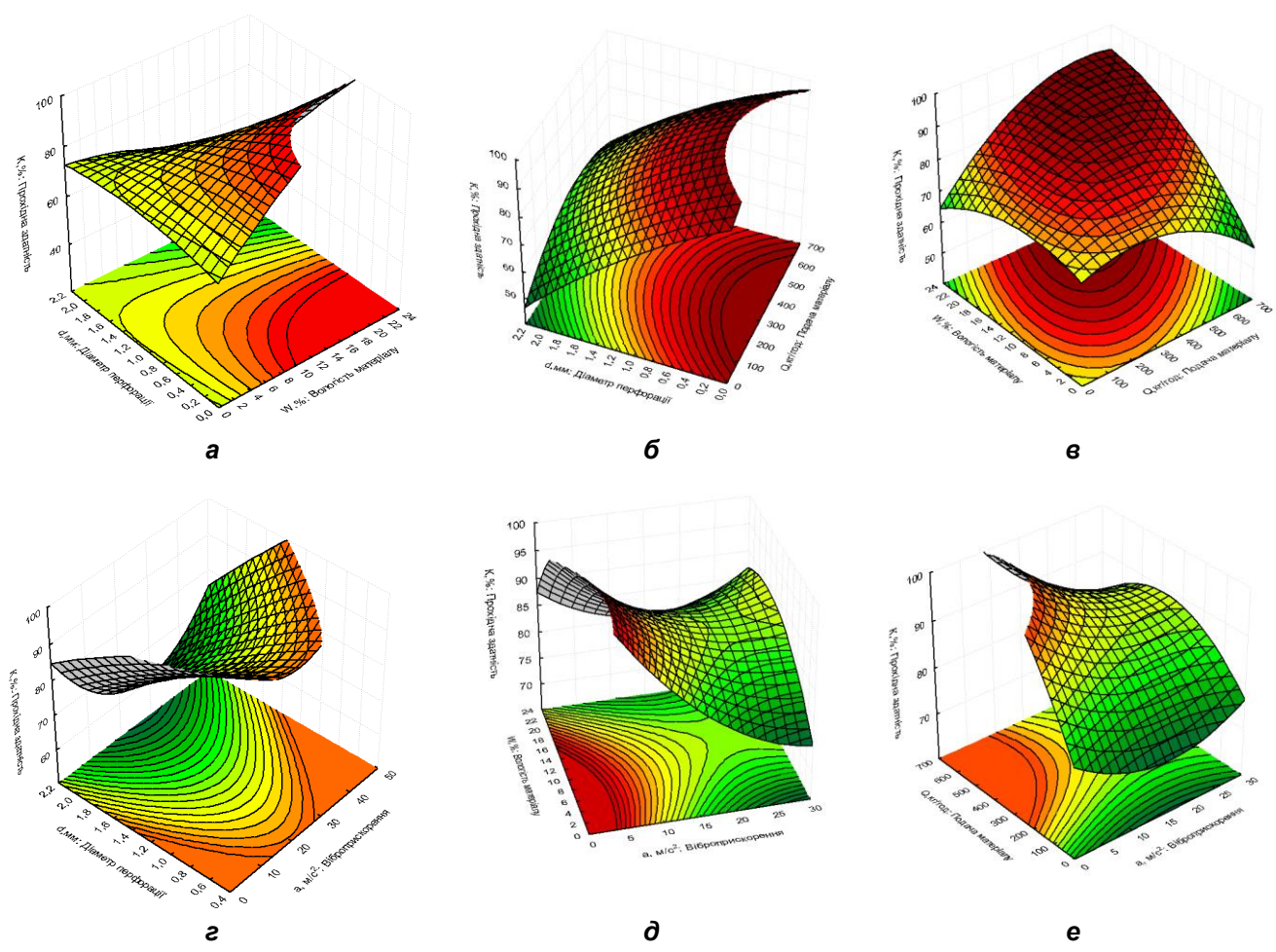
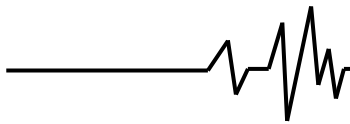


Рис. 3. Поверхні відгуків та їх проєкції для питомого проходу крізь контрольне сито у парній взаємодії основних факторів:

- а) – вологість матеріалу та діаметр отворів сепараційної поверхні;**
- б) – подача матеріалу та діаметр отворів сепараційної поверхні;**
- в) – вологість та подача матеріалу;**
- г) – віброприскорення та діаметр отворів сепараційної поверхні;**
- д) – вологість матеріалу та віброприскорення;**
- е) – віброприскорення та подача матеріалу**

За результатами проведених експериментів досліджень та випробувань розробленої вібраційної дробарки роторного типу для здрібнення зернової крохмалевмісної сировини на основі побудованих поверхонь

відгуку досліджуваного процесу (рис. 2, 3, 4) визначено раціональні технологічні параметри її роботи (табл. 5), компромісне значення яких отримано методом Крамера в математичному середовищі "Mathcad 15".

Таблиця 5

Раціональні параметри розробленого обладнання та процесу

Параметри	Раціональні значення
Віброприскорення, м/с ²	32-38
Подача матеріалу, кг/год	342-480
Відносна вологість матеріалу, %	16-18
Діаметр отворів сепараційної поверхні, мм	1,6-1,8

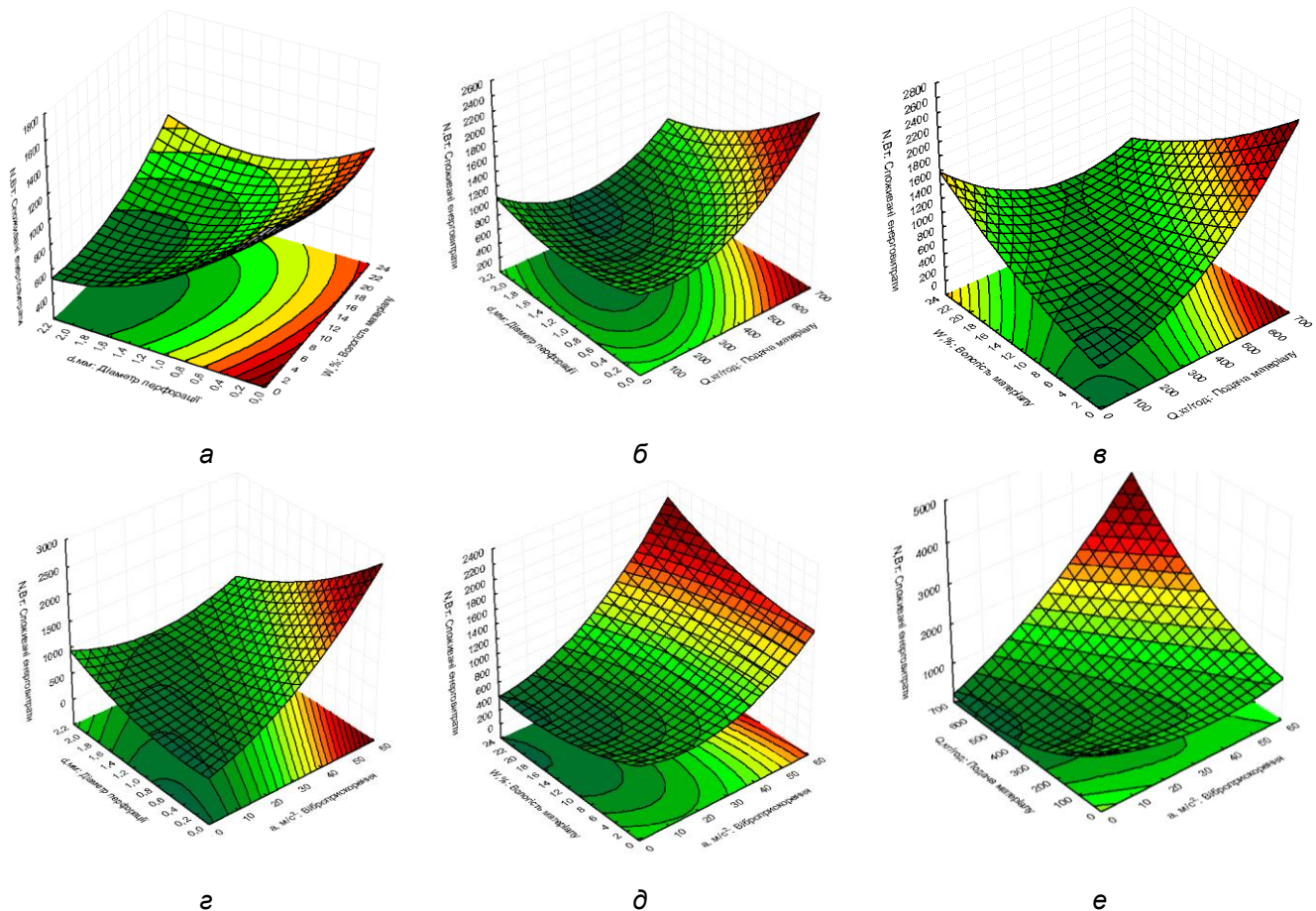
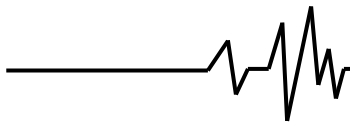


Рис. 4. Поверхні відгуків та їх проєкції для споживаних енерговитрат у парній взаємодії основних факторів:

- а) – вологість матеріалу та діаметр отворів сепараційної поверхні;**
- б) – подача матеріалу та діаметр отворів сепараційної поверхні;**
- в) – вологість та подача матеріалу;**
- г) – віброприскорення та діаметр отворів сепараційної поверхні;**
- д) – вологість матеріалу та віброприскорення;**
- е) – подача матеріалу та віброприскорення**

Висновки

За результатами багатофакторного експерименту одержано математичні моделі у вигляді множини регресії другого порядку, які адекватно описують досліджуваний процес подрібнення зернової крохмаловмісної сировини спиртового виробництва, аналіз яких дозволив отримати раціональні значення параметрів досліджуваного обладнання та процесу: робочий режим віброприскорення $a=32...38$ м/с²; геометричні параметри сепараційної поверхні $d=1,6...1,8$ мм; подача матеріалу $Q=342...480$ кг/год; вологовміст матеріалу $W=17-18$ %; визначено, що за цих параметрів якісні та енергетичні характеристики процесу здрибнення набувають своїх оптимальних значень: продуктивність становить 320...450 кг/год, питомий прохід крізь

контрольного сита 85...95% за споживаних енергетичних затрат 1,2...1,5 кВт на привод дробарки.

Список використаних джерел

1. Технологія спирту / [Маринченко В. О., Домарецький В. А., Шиян П. Л. та ін.] ; під ред. проф. В. О. Маринченка. – Вінниця : Поділля-2000, 2003. – 496 с.
2. Паламарчук І. П. Обґрунтування технології та обладнання для попередньої обробки крохмалевмісної сировини при виробництві спирту / І. П. Паламарчук, В. П. Янович, І. М. Купчук // Вібрації в техніці та технологіях. – 2013. – № 4 (72). – С. 112–116.
3. Абрамова І. М. Особенности переработки пшеничного сирья,



обеспечивающие производства спирта с высокими показателями качества / И. М. Абрамова // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2012. – № 1. – С. 4–5.

4. Паламарчук І. П. Перспективи застосування низькочастотних коливань в процесі подрібнення сировини спиртового виробництва / І. П. Паламарчук, І. М. Купчук // Вібрації в техніці та технологіях. – 2012. – № 4 (68). – С. 5–13.

5. Паламарчук І. П. Розробка конструктивно-технологічної схеми віброторної дробарки / І. П. Паламарчук, В. П. Янович, І. М. Купчук, І. В. Соломко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2013. – № 1 (69). – С. 125–129.

6. Паламарчук І. П. Обґрунтування режимних параметрів процесу подрібнення зернової крохмалевмісної сировини спиртової промисловості / І. П. Паламарчук, В. П. Янович, І. М. Купчук // Наукові праці ОНАХТ. Серія : Технічні науки – 2014. – № 46. – С. 231–235.

7. Паламарчук І. П. Експериментальна оцінка енергетичних параметрів віброторної дробарки крохмаловмісної сировини спиртової промисловості / І. П. Паламарчук, В. П. Янович, І. М. Купчук // Вібрації в техніці та технологіях. – 2015. – № 3 (79). – С. 133–136.

8. Yanovich V. Determination of rational operating parameters vibration disk-type crusher in ethanol industry / V. Yanovich, I. Kupchuk // Inmateh – Agricultural engineering. – 2017. – Vol.52. – P. 143–148.

9. Yanovich V. Determination of rational operating parameters of vibration crusher in accordance with dispersion of material / V. Yanovich, I. Kupchuk // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2017. – №2 (97). – С.104–108.

10. Мельников С. В. Планирование эксперимента в исследовании сельскохозяйственных процессов / Мельников С. В., Алешкин В. Р., Рошин П. М. – Л. : Колос, 1972. – 199 с.

Список джерел у транслітерації

1. Tekhnolohiya spyrту / [Marynchenko V. O., Domarets'kyu V. A., Shyyan P. L. ta in.]; pid red. prof. V. O. Marynchenka. – Vinnytsya : Podillya-2000, 2003. – 496 s.

2. Palamarchuk I. P. Obgruntuvannya tekhnolohiyi ta obladnannya dlya poperedn'oyi obrobky krokhmalevmisnoyi syrovyny pry vyrobnytstvi spyrту / I. P. Palamarchuk, V. P. Yanovych, I. M. Kupchuk // Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh. – 2013. – № 4 (72). – S. 112–116.

3. Abramova Y. M. Osobennosty

pererabotky pshenychnoho syr'ya, obespechivayushchye proyzvodstva spyrta s vysokymy pokazatelyamy kachestva / Y. M. Abramova // Proyzvodstvo spyrta y lykerovodochnykh yzdelyu. – 2012. – № 1. – S. 4–5.

4. Palamarchuk I. P. Perspektyvy zastosuvannya nyz'kochastotnykh kolyvan' v protsesi podribnennya syrovyny spyrtovoho vyrobnytstva / I. P. Palamarchuk, I. M. Kupchuk // Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh. – 2012. – № 4 (68). – S. 5–13.

5. Palamarchuk I. P. Rozrobka konstruktivno-tekhnolohichnoyi skhemy vibratornoyi drobarky / I. P. Palamarchuk, V. P. Yanovych, I. M. Kupchuk, I. V. Solomko // Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh. – 2013. – № 1 (69). – S. 125–129.

6. Palamarchuk I. P. Obgruntuvannya rezhymnykh parametriv protsesu podribnennya zernovoyi krokhmalevmisnoyi syrovyny spyrtovoyi promyslovosti / I. P. Palamarchuk, V. P. Yanovych, I. M. Kupchuk // Naukovi pratsi ONAKhT. Seriya : Tekhnichni nauky – 2014. – № 46. – S. 231–235.

7. Palamarchuk I. P. Eksperymental'na otsinka enerhetychnykh parametriv vibratornoyi drobarky krokhmalovmistnoyi syrovyny spyrtovoyi promyslovosti / I. P. Palamarchuk, V. P. Yanovych, I. M. Kupchuk // Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh. – 2015. – № 3 (79). – S. 133–136.

8. Yanovich V. Determination of rational operating parameters vibration disk-type crusher in ethanol industry / V. Yanovich, I. Kupchuk // Inmateh – Agricultural engineering. – 2017. – Vol.52. – P. 143–148.

9. Yanovich V. Determination of rational operating parameters of vibration crusher in accordance with dispersion of material / V. Yanovich, I. Kupchuk // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2017. – №2 (97). – С.104–108.

10. Mel'nykov S. V. Planirovaniye eksperymenta v issledovaniye sel'skokhozyaystvennykh protsessov / Mel'nykov S. V., Aleshkyn V. R., Roshchyn P. M. – L. : Kolos, 1972. – 199 s.

КОМПРОМИССНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭТИЛОВОГО СПИРТА

Аннотация. Экономическая эффективность производства этанола в значительной степени зависит от прямых производственных затрат на подготовку сырья к сбраживанию и качественных показателей данной подготовки. К одним из самых энергозатратных процессов данного



этапа производства можно отнести измельчения зерна, показателей качества которого (удельного прохода через контрольное сито) в значительной степени зависит стоимость дальнейшей переработки.

В данной статье, основываясь на результатах предыдущих экспериментальных данных исследуемого процесса измельчения при использовании разработанной вибрационной дисковой дробилки роторного типа, осуществлено статистический анализ качественных и энергетических параметров процесса.

Оценка экспериментальных данных по методу рототабельного центрально-композиционного планирования многофакторного эксперимента позволила получить функциональные зависимости качественных и энергетических параметров исследуемых процессов от основных факторов.

По полученным уравнениям было построено поверхности отзвонков, по которым определены рациональные технологические параметры вибродисковой дробилки, компромиссное значение которых найдено методом Крамера.

Ключевые слова: измельчение, регрессионный анализ, статистический анализ, планирование эксперимента, поверхности отклика, компромиссная оптимизация.

THE COMPROMISE OPTIMIZATION OF REGIME PARAMETERS FOR PROCESS OF GRAIN GRINDING IN THE ETHANOL PRODUCTION

Annotation: The economic efficiency of ethanol production depends to a large extent on direct production costs for the preparation of raw materials for fermentation and qualitative indicators of this preparation. One of the most energy-consuming processes of this stage of production can be the grinding of grain, which depends on the quality indicators (specific passage through the control sieve) to a large extent on the cost of further processing.

In this article, based on the results of preliminary experimental data of the investigated grinding process with the use of the developed vibratory disk rotary type crusher, a statistical analysis of the qualitative and energy parameters of the process was carried out.

Estimation of experimental data using the rotatable method of central composite planning of the multifactorial experiment allowed to obtain functional dependences of qualitative and energy parameters of the investigated processes on the main factors.

Based on the obtained equations, the surface of the reviews was constructed, which determined the rational technological parameters of the vibrodisk crusher, the compromise value of which was found by the Kramer method.

Key words: grinding, regression analysis, statistical analysis, experiment planning, response surface, compromise optimization.

Відомості про авторів

Купчук Ігор Миколайович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри загально технічних дисциплін та охорони праці, Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008).

Купчук Игорь Николаевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры общетехнических дисциплин и охраны труда, Винницкий национальный аграрный университет (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008).

Kupchuk Igor – Candidate of Technical Sciences, art. Lecturer of the Department of General Technical Disciplines and Labor Protection Vinnytsia National Agrarian University (St. Soniachna, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008).