

УДК 621.928:661.188

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ПРОЦЕС ВІБРОВІДЦЕНТРОВОГО РОЗДІЛЕННЯ СИРОГО ГЛІЦЕРИНУ

Паламарчук І.П., д.т.н.,

Полевода Ю.А., аспірант *

Вінницький національний аграрний університет

Тел. : (0432) 66-19-55

Анотація – ефективність процесу вібровідцентрового очищення сирого гліцерину оцінювали за такими параметрами як віброприскорення, кутова швидкість ротора, температура гліцерину, час обробки. Використовуючи отримане рівняння множинної регресії 2-го порядку були визначені рекомендації стосовно основних параметрів робочого режиму досліджуваного процесу.

Ключові слова – гліцерин, вібровідцентрова дія, розділення, багатофакторний експеримент.

Постановка проблеми. З розвитком альтернативних джерел енергії, зокрема біодизельного палива, постає проблема переробки та очищення гліцерину як побічного продукту даного виробництва [1]. Зазвичай, дану проблему вирішували за допомогою традиційних методів розділення: відстоювання, фільтрування, циклонування, під дією відцентрових сил тощо. Комбінований вплив означених факторів становить потенціал для підвищення продуктивності машини, поліпшення якісних параметрів операції та опосередково створює резерв для енергозаощадження. Тому є актуальним впровадження прогресивних технологій переробки та використання вторинних сировинних ресурсів за допомогою комбінованого застосування фізико-механічних способів обробки сировини, а саме, поєднання дії вібрації та відцентрової сили.

Формулювання цілей статті. Для створення методики розрахунку та конструювання вібровідцентрового обладнання, а також для визначення оптимальних параметрів обробки сировини при вібровідцентровій обробці використовуємо активний багатофакторний експеримент. При цьому необхідно встановити можливість підвищення масової долі чистого гліцерину в залежності від основних показників, що характеризують ефективність роботи досліджуваної

машини (віброприскорення a_g , кутової швидкості ротора $\omega_{рот}$, температури гліцерину $t_{гл}$, та часу обробки τ).

Аналіз останніх досліджень. Серед основних факторів, що впливають на процес розділення неоднорідних рідких речовин, можна відзначити: температуру, густину, в'язкість середовища, час проведення експерименту. Плинність означених факторів може призвести до якісної зміни вихідних фізико-механічних властивостей сировини [2].

Для визначення якісних характеристик досліджуваного середовища необхідно враховувати деякі фізико-механічні властивості продукту, які мають вплив на якість процесу обробки. У роботі [2] представлено, що використання перфорацій ротора із певним розміром впливає на підвищення продуктивності процесу розділення соєвої суспензії. Збільшення частоти обертання ротора має нелінійний характер, тобто при певній межі продуктивність центрифуги різко зменшується. При дослідженнях [3] максимальне значення чистоти і виходу важкої фракції спостерігалось при оптимальних значеннях параметрів процесу та установки: частоти коливань робочої поверхні, питомого навантаження на робочу поверхню та коефіцієнта анізотропії тертя.

Основна частина. Вібраційні машини для розділення неоднорідних систем характеризуються незначним впливом маси технологічного завантаження на динаміку руху виконавчих органів коливальної системи. Для даних машин ефективним є комбінована дія вібрації з усіма механічними та електромагнітними видами розділення. Використання фільтрування через перфоровані поверхні при певній вібрації не є винятком [4]. При протіканні таких складних процесів, де задіяно багато факторів (частота обертання ротора, частота обертання вала віброзбуджувача, амплітуда коливань, час обробки, температура гліцерину тощо) неможливо побудувати просту модель. Для вивчення якісних показників та їх кількісної оцінки означених процесів слід застосовувати математичне планування багатофакторного експерименту [5, 6].

За результатами попередніх експериментальних даних досліджуваного процесу розділення неоднорідного рідкого середовища за допомогою розробленої вібровідцентрової машини був проведений статистичний аналіз енергетичних та якісних параметрів.

Якісними параметрами оцінки досліджуваного процесу було визначено масову частку чистого гліцерину в сирому $X_{ч.гл}$, % як функцію від основних факторів впливу

$$X_{ч.гл.} = f(A\omega_{пр.в.}^2, \omega_{рот}, \tau, t_{гл.}), \quad (1)$$

де $A\omega_{пр.в.}$ – віброприскорення, $м/с^2$;

$\omega_{рот}$ – кутова швидкість ротора, $рад/с$;

$t_{сл.}$ – температура робочого середовища, $^{\circ}C$;

τ – час проведення експериментального дослідження, $с$.

$$N = f(A\omega_{пр.в.}^2, \omega_{рот}, \tau, t_{сл.}) \quad (2)$$

Всі фактори, що входять до досліджуваного процесу, мають свою розмірність, а значення їх мають різні порядки. Щоб отримати адекватну поверхню відгуку виконуємо кодування функцій, що є лінійним перетворенням факторного простору [5, 6].

Розподіляємо значення рівнів факторів наступним чином: верхній +1; середній 0; нижній – 1; зірковий верхній + α ; зірковий нижній – α . У якості впливових факторів процесу вібровідцентрового розділення, виходячи із результатів теоретичного та практичного аналізу, були вибрані наступні величини (табл. 1).

Таблиця 1 – Значення рівнів факторів та інтервали варіювання процесу вібровідцентрового розділення

Фактори			Рівні варіювання					
№	Назва	Позначення	Інтервал варіювання	– α	–1	0	+1	+ α
1	Віброприскорення	$A\omega^2, м/с^2$	5	15,3	18	19,3	20,1	26,2
2	Кутова швидкість ротора	$\omega_{рот}, с^{-1}$	50	115	126	136	146	157
3	Час обробки	$\tau, с$	60	240	360	480	600	720
4	Температура гліцерину	$t_{сл.}, ^{\circ}C$	10	60	70	80	90	100

Дослідження впливу перерахованих вище факторів на технологічні та енергетичні параметри досліджуваних процесів при проведенні багатофакторного 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 [5, 6].

Метод РЦКП дозволяє більш точно отримати математичний опис розподілу даних за рахунок збільшення кількості експериментів в центральних точках матриці плану і спеціальному виборі величини "зіркового значення".

Планувалось отримати рівняння множинної регресії 2-го порядку

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

де y – функція відгуків $X_{ч.зл.}$, $N_{заг}$;

b_0, b_i, b_{ij} – коефіцієнти регресії отримані методом найменших квадратів.

Адекватність регресійних моделей перевірялася за критерієм Фішера [5, 6]

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_{відт}^2} \leq [F(f_1, f_2)], \quad (4)$$

де $S_{ад}$ – дисперсія адекватності;

$S_{відт}$ – дисперсія відтворюваності.

$[F(f_1, f_2)]$ – критичне значення критерію Фішера, яке рівне значенню розподілу Фішера; $f_1 = N - d$ – кількість ступенів вільності дисперсії адекватності; $f_2 = n - 1$ – кількість ступенів вільності дисперсії відтворюваності; d – кількість значимих коефіцієнтів регресії (2);

n – кількість попередніх повторних дослідів, які проведено для середнього (нульового) рівня факторів.

Розрахункове значення критерію F порівнювалося з критичним і при $F \leq [F(f_1, f_2)]$ регресійна модель вважалася адекватною.

Дисперсія відтворюваності визначалася за формулою [5,6]

$$S_{відт}^2 = \frac{1}{f_2} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad (5)$$

де y_i – результат i -го повторного дослідів;

\bar{y} – середнє арифметичне значення результатів n повторних дослідів.

Дисперсія адекватності визначалася за формулою [5]

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{f_1} \sum_{i=1}^N (y_i - \tilde{y}_i)^2, \quad (6)$$

де y_i – результат i -го дослідів, проведеною за матрицею планування; \tilde{y}_i – результат i -го значення дослідів, передбаченого за допомогою регресійної моделі (2).

Значимість коефіцієнтів регресії проводилася за t-критерієм Стьюдента [5]

$$t_i = \frac{b_i}{S_{\text{відт}} \sqrt{c_{i,i}}} > [t(f_2)], \quad (7)$$

де $[t(f_2)]$ – критичне значення t-критерію Стьюдента, яке рівне значенню розподілу Стьюдента;

$c_{i,i}$ – відповідний елемент матриці Φ^{-1} .

Розрахункове значення критерію t_i порівнювалося з критичним і при $t \leq [t(f_2)]$ i-й коефіцієнт регресії вважався незначним.

У результаті обробки експериментальних даних у статистичному середовищі STATISTICA 6.0 для функцій відгуку $X_{\text{ч.зл}} = f(a, \omega, \tau, t)$ та $N = f(a, \omega, \tau, t)$ було отримано коефіцієнти комплексних рівнянь множинної регресії 2-го порядку

$$\begin{aligned} X_{\text{ч.зл.}} = & -78,65 - 3,2 \cdot a + 0,15 \cdot \omega_{\text{ром}} + 0,051 \cdot t + 1,76 \cdot \tau - 0,08 \cdot a^2 - 0,0001 \times \\ & \times \omega_{\text{ром}}^2 - 0,0135 \cdot \tau^2 + 0,0038 \cdot a \cdot \omega_{\text{ром}} + 0,0005 \cdot a \cdot t + 0,0229 \cdot a \cdot \tau + 0,0001 \times \\ & \times \omega_{\text{ром}} \cdot \tau - 0,0003 \cdot t \cdot \tau. \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} N_{\text{заг}} = & 13980 - 212,14 \cdot a - 11,88 \cdot \omega_{\text{ром}} - 3,11 \cdot t - 74,58 \cdot \tau + 3,41 \cdot a^2 + \\ & + 0,47 \cdot \tau^2 + 0,08 \cdot a \cdot \omega_{\text{ром}} \end{aligned} \quad (9)$$

Розрахункові значення критеріальної оцінки відображені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Значення розрахованих критеріїв до отриманих регресійних моделей

Критерій оцінки	Позначення критерію	Функція відгуку	
		X, %	$N_{\text{заг}}$
Коефіцієнт детермінації;	R^2	0,48	0,49
Дисперсія адекватності	$S_{\text{ад}}$	81,83	118703
Дисперсія відтворюваності	$S_{\text{відт}}$	88,31	122757
Критерій Фішера	F	0,92	0,96
Критичне значення критерію Фішера, яке рівне значенню розподілу Фішера	F_{α, f_1, f_2}	2,84 _{0,05;4;21}	2,84 _{0,05;4;21}

Як видно із таблиці 2 всі рівняння регресії виявились адекватними.

На рис. 1, 2 показано поверхні відгуків критеріїв оптимізації та залежності масової долі чистого гліцерину $X_{ч.глі} = f(a, \omega, \tau, t)$ та витрати енергії $N = f(a, \omega, \tau, t)$ від окремих дійсних значень параметрів оптимізації: a_e , $\omega_{ром}$, $t_{глі}$, τ .

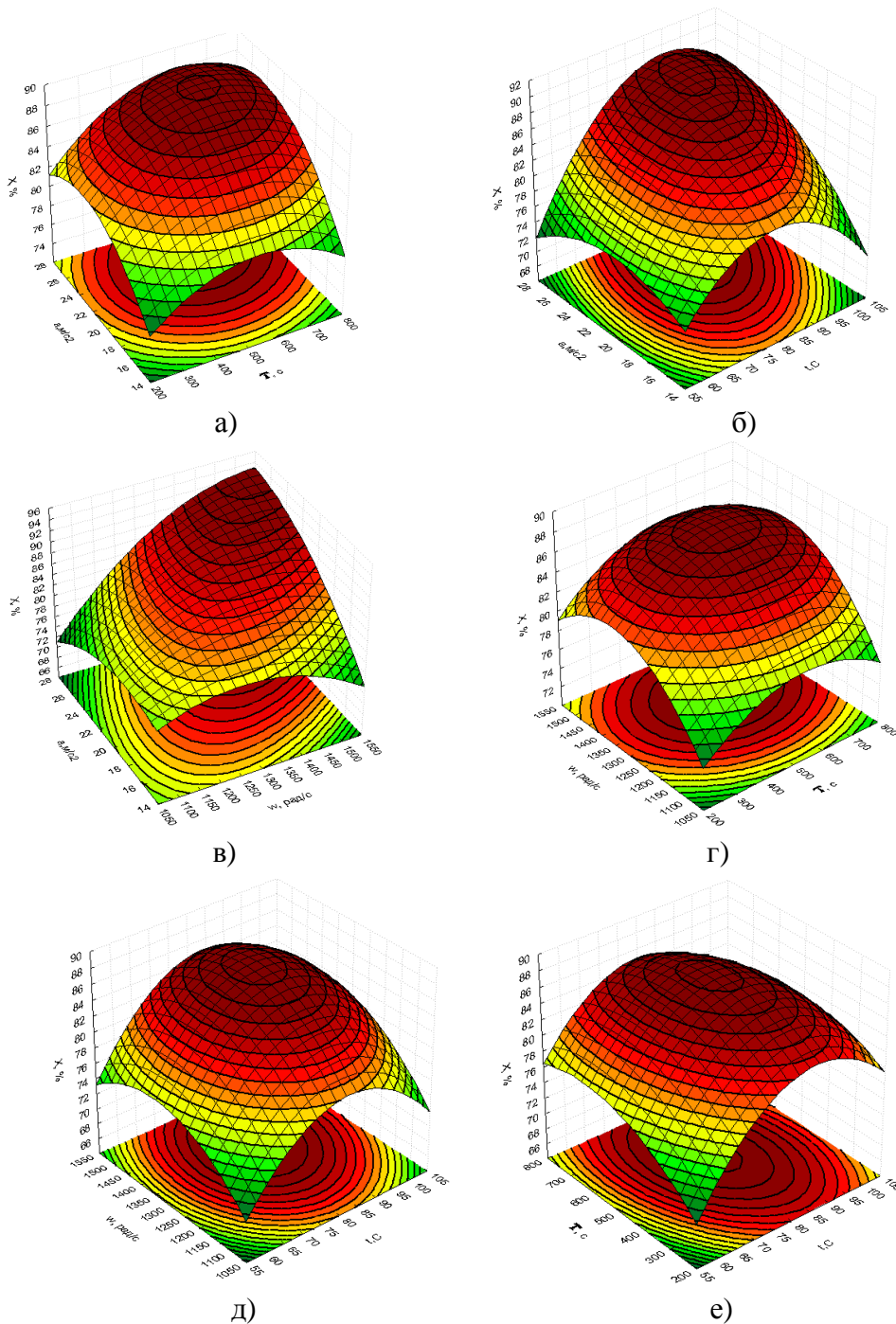


Рис. 1. Поверхні відгуків, що характеризують масову частку чистого гліцерину від: а) $X_{ч.глі} = f(a, \tau)$; б) $X_{ч.глі} = f(a, t)$; в) $X_{ч.глі} = f(a, \omega)$; г) $X_{ч.глі} = f(\omega, \tau)$; д) $X_{ч.глі} = f(\omega, t)$; е) $X_{ч.глі} = f(\tau, t)$.

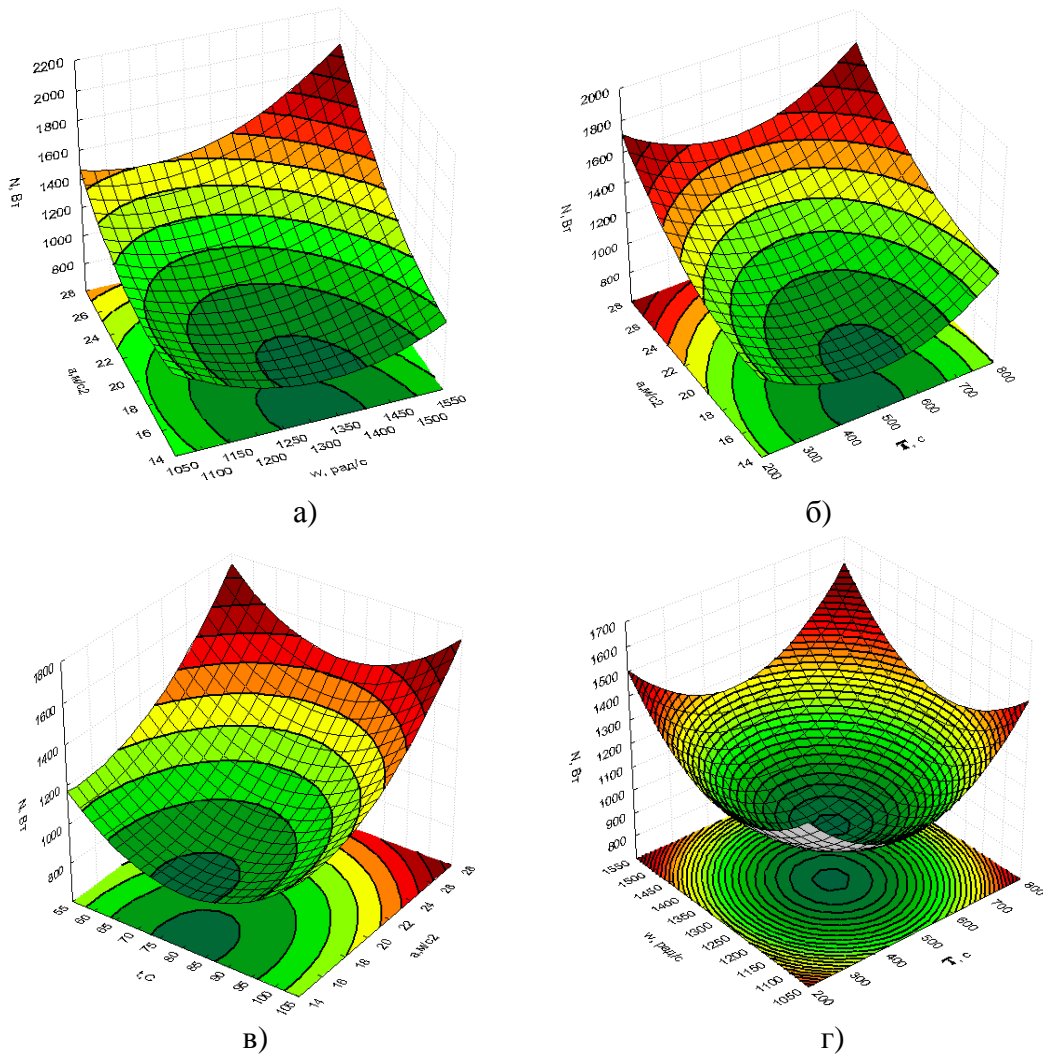


Рис. 2. Поверхні відгуків, що характеризують енергетичні витрати від: а) $N = f(a, \omega)$; б) $N = f(a, \tau)$; в) $N = f(a, t)$; г) $N = f(\omega, \tau)$.

Висновки.

1. Побудовані поверхні відгуків критеріїв оптимізації дозволяють наглядно ілюструвати залежності значень масової долі чистого гліцерину $X_{\text{ч.глі}}$ та спожитої енергії N від окремих параметрів оптимізації та місцезнаходження оптимумів.

2. Масова частка чистого гліцерину набуває максимального значення при наступних значеннях: температурі гліцерину 60–80°C, тривалості обробки 6–8 хв., кутовій швидкості ротора 140–150 рад/с та віброшвидкості контейнера 22–24 м/с².

Література:

1. Калетнік Г.М. Біопаливо. Продовольча, енергетична та екологічна безпека України : Монографія. – К. : „Хай-Тек Прес”, 2010. – 516 с. – ISBN 978-966-2143-44-7.

2. Шарипов А.Г. Повышение эффективности процесса разделения соевой суспензии путем обоснования параметров и режимов работы фильтрующей центрифуги : дис. кандидата техн. наук : 05.20.01 / Шарипов Азат Гибатович. – Курган, 2005. – 177 с.

3. Бредихин В.В. Обоснование параметров процесса вибропневмоцентробежного разделения семенных смесей по плотности семян : дис. кандидата техн. наук : 05.05.11 / Бредихин Вадим Викторович. – Харьков, 2003. – 243 с.

4. Паламарчук І.П. Науково-технічні основи розроблення енергозберігаючих вібротриболомашин механічної дії харчових і переробних виробництв : дис. доктора техн. наук : 05.18.12 / Паламарчук Ігор Павлович. – Київ, 2008. – 461 с.

5. Бойко Н.Г. Теория и методы инженерного эксперимента / Н.Г. Бойко, Т. А. Устименко. – Донецк, ДонНТУ, 2009 г – 158 с.

6. Грачев Ю.П. Математические методы планирования экспериментов / Ю. П. Грачев. – М. :Пищевая промышленность, 1979. – 200 с.

ПЛАНІРОВАНИЕ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ СЫРОГО ГЛИЦЕРИНА

Паламарчук І.П., Полева Ю.А.

Аннотация – эффективность процесса виброцентробежной очистки сырого глицерина оценивали по таким параметрами как виброускорение, угловая скорость ротора, температура глицерина, время обработки. Используя полученное уравнение множественной регрессии 2-го порядка были найдены рекомендации относительно основных параметров рабочего режима исследуемого процесса.

PLANNING OF MULTIVARIABLE EXPERIMENT FOR RESEARCH OF VIBROCENTRIFUGAL РАСДЕЛЕНИЯ OF RAW GLYCERIN

I. Palamarchuk, Y. Polyevoda

Summary – efficiency of process of the vibrocentrifugal cleaning of raw glycerin was estimated on such parameters as a vibroacceleration, angular velocity of rotor, temperature of glycerin, time of treatment. Using the got equalization of multiple regression of 2th order there were certain recommendations in relation to the basic parameters of operating.