



Паламарчук І. П.

Янович В. П.

Вінницький  
національний  
аграрний  
університет

УДК 621.926.4:661.12

**ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ  
РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ  
ВІБРОВІДЦЕНТРОВОГО  
ДЕЗІНТЕГРАТОРА ДЛЯ  
ПРИГОТУВАННЯ  
ФАРМАЦЕВТИЧНИХ СУМІШЕЙ**

*Проведены аналитические исследования основных технологических и энергетических параметров процесса виброцентробежного дезинтегрирование при производстве многокомпонентных фармацевтических смесей при использовании статистической методики рототабельного центрально-композиционного планирование многофакторного эксперимента. В результате были установлены оптимальные параметры исследуемого процесса при минимальных энергозатратах и уменьшенных времени обработки продукции.*

*Analytical researches of basic technological and power parameters of processes of vibrocentrifugal desintegrating are conducted at the production of multicomponent pharmaceutical mixtures for the use of statistical method of cyclic centrally composition planning of multivariable experiment. The optimum parameters of the probed process were as a result set at minimum power charges and diminished time of treatment of products.*

**Вступ.**

Відсоток розробленого вітчизняного обладнання для приготування складних фармацевтичних сумішей та фітопрепаратів у загальному обсязі фармацевтичного ринку України складає за різними оцінками від 1,5 до 3% в той час як у європейських країнах аналогічний показник складає до 15% [1].

Одними з найвагоміших етапів в аспекті енерго та металоємкості технологічного процесу виробництва означеної продукції є операції, механічної обробки продукції зокрема подрібнення лікарської рослинної сировини з поетапним просюванням, приведенням до однорідної консистенції з додатковими інгредієнтами рівномірним розподіленням у робочому об'ємі. Останні надходять на виробництво у вигляді дрібнодисперсних сипких мас [2], тому **актуальним** є пошук інтенсивних, зокрема, комбінованих або комплексних механічних та фізико-механічних методів обробки означеної сировини.

**Метою** даного дослідження є оптимізація режимних параметрів роботи

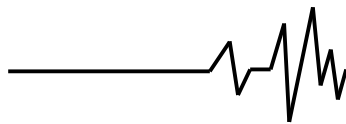
вібровідцентрового дезінтегратора [3] для інтенсифікації процесу приготування складних фармацевтичних сумішей за техніко-економічними критеріями оцінки, що досягається шляхом проведення кореляційно-регресійного аналізу якісних параметрів вихідної сировини та енергетичних характеристик досліджувальних процесів.

**Викладення основного матеріалу.**

Якісними параметрами оптимізації досліджувальних процесів було визначено: величину дисперсності матеріалу  $S_{op}$  – для подрібнення; ступінь однорідності отриманої суміші,  $cm^2/g$ ;  $M_{зм}$  – для змішування та споживані енерговитрати, %;  $N_{заг}$  – споживані енерговитрати, Вт.

$$S_{op} = f(A\omega^2, d_k, t_{op}, \xi_{op.зав}) \quad (1.1)$$

де  $A\omega^2$  - віброприскорення,  $m/s^2$ ;  $d_k$  – діаметр кульок технологічного наповнювача, мм;  $t_{op}$  – час дроблення, с;  $\xi_{op.зав}$  – ступінь завантаження технологічних наповнювачем, %.



$$M_{зм} = f(A\omega^2, t_{зм}, \xi_{зм.зав}) \quad (1.2)$$

де  $t_{зм}$  – час змішування, с;  $\xi_{зм.зав}$  – ступінь завантаження оброблювального матеріалу, %.

$$N_{зав} = f(A\omega^2, S_{оп}, M_{зм}) \quad (1.3)$$

де  $f(A\omega^2)$  – енергетична характеристика розробленого обладнання;  $f(S_{оп})$  – енергетична характеристика процесу дроблення;  $f(M_{зм})$  – енергетична характеристика процесу змішування.

Дослідження впливу перерахованих вище факторів на технологічні та енергетичні параметри досліджувальних процесів 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) багатofакторного експерименту [4, 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”.

Всі фактори, які входять до функцій (1.1), (1.2), (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 [6]. 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 матриці планування експериментів, які наведені в таблицях 2, 3, 4.

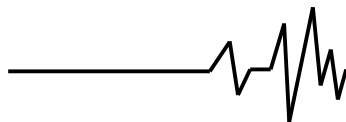
Планувалось отримати рівняння множинної регресії 2-го порядку:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_i^2 + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_{ij} x_{ij} \quad (1.5)$$

Таблиця 1

Рівні факторів та інтервали варіювання для першого етапу

Фактори	Рівні факторів					Інтервал варіювання
	$-\alpha$	$-1$	$0$	$+1$	$+\alpha$	
Процес дроблення						
$x_1$ - віброприскорення, $m/s^2$	5	15	20	25	35	5
$x_2$ - діаметр кульок наповнювача, мм	2	4	6	8	10	2
$x_3$ - час дроблення, с	5	40	75	110	145	35
$x_4$ - ступінь завантаження технологічного наповнювача, %	40	50	60	70	80	10
Процес змішування						
$x_1$ - віброприскорення, $m/s^2$	5	15	20	25	35	5
$x_2$ - час змішування, с	36	60	120	180	204	60
$x_3$ - ступінь завантаження контейнера, %	16,4	30	50	70	83,6	20
Комплексна енергетична оцінка						
$x_1$ - віброприскорення, $m/s^2$	5	15	20	25	35	5
$x_2$ - величину дисперсності матеріалу, $cm^2/g$	3664	3800	4000	4200	4366	200
$x_3$ - ступінь однорідності отриманої суміші, %	92,5	94	96	98	99,4	2



Таблиця 2

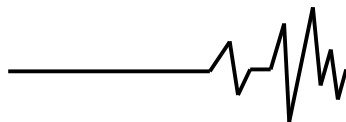
Три факторна матриця для визначення оптимальних параметрів процесу змішування

№ п/п	Фактори				Параметри			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$f(x_1, x_2, x_3)$	$A\omega^2, \text{м/с}^2$	$\xi_{\text{зм.зав}}, \%$	$t_{\text{зм}}, \text{с}$	$M_{\text{зм}}, \%$
1	+	+	+	+	25	70	180	95
2	-	+	+	+	15	70	180	92
3	+	-	+	+	25	30	180	96
4	-	-	+	+	15	30	180	96
5	+	+	-	+	25	70	70	92
6	-	+	-	+	15	70	70	90
7	+	-	-	+	25	30	70	96
8	-	-	-	+	15	30	70	90
9	$+\alpha$	0	0	+	30	50	120	98
10	$-\alpha$	0	0	+	10	50	120	80
11	0	$+\alpha$	0	+	20	80	120	95
12	0	$-\alpha$	0	+	20	20	120	98
13	0	0	$+\alpha$	+	20	50	200	99
14	0	0	$-\alpha$	+	20	50	50	87
15	0	0	0	+	20	50	120	96
16	0	0	0	+	20	50	120	96

Таблиця 3

Чотири факторна матриця для визначення оптимальних параметрів процесу дроблення

№ п/п	Фактори					Параметри				
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$f(x_1, x_2, x_3, x_4)$	$A\omega^2, \text{м/с}^2$	$d_k, \text{мм}$	$\xi_{\text{др.зав}}, \%$	$t_{\text{др}}, \text{с}$	$S_{\text{др}}, \text{см}^2/\text{г}$
1	+	+	+	+	+	25	8	70	120	3400
2	-	+	+	+	+	15	8	70	120	3000
3	+	-	+	+	+	25	4	70	120	4200
4	-	-	+	+	+	15	4	70	120	3500
5	+	+	-	+	+	25	8	50	120	3000
6	-	+	-	+	+	15	8	50	120	2500
7	+	-	-	+	+	25	4	50	120	4000
8	-	-	-	+	+	15	4	50	120	3500
9	+	+	+	-	+	25	8	70	30	2200
10	-	+	+	-	+	15	8	70	30	2000
11	+	-	+	-	+	25	4	70	30	3700
12	-	-	+	-	+	15	4	70	30	2600
13	+	+	-	-	+	25	8	50	30	2500
14	-	+	-	-	+	15	8	50	30	2100
15	+	-	-	-	+	25	4	50	30	3300
16	-	-	-	-	+	15	4	50	30	2600
17	$+\alpha$	0	0	0	+	30	6	60	75	4200
18	$-\alpha$	0	0	0	+	10	6	60	75	3300
19	0	$+\alpha$	0	0	+	20	10	60	75	2000
20	0	$-\alpha$	0	0	+	20	3	60	75	3100
21	0	0	$+\alpha$	0	+	20	6	90	75	3800
22	0	0	$-\alpha$	0	+	20	6	30	75	2300
23	0	0	0	$+\alpha$	+	20	6	60	130	4300
24	0	0	0	$-\alpha$	+	20	6	60	20	2100
25	0	0	0	0	+	20	6	60	75	3800
26	0	0	0	0	+	20	6	60	75	3800



Таблиця 4

Три факторна матриця для визначення оптимальних енергетичних параметрів дезінтегрування

№ п/п	Фактори				Параметри			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$f(x_1, x_2, x_3)$	$A\omega^2, \text{м/с}^2$	$S_{\text{др}}, \text{см}^2/\text{г}$	$M_{\text{зм}}, \%$	$N_{\text{заг}}, \text{Вт}$
1	+	+	+	+	25	4200	98	1400
2	-	+	+	+	15	4200	98	1350
3	+	-	+	+	25	3800	98	1300
4	-	-	+	+	15	3800	98	1250
5	+	+	-	+	25	4200	94	1300
6	-	+	-	+	15	4200	94	1250
7	+	-	-	+	25	3800	94	1280
8	-	-	-	+	15	3800	94	1250
9	$+\alpha$	0	0	+	35	4000	96	1350
10	$-\alpha$	0	0	+	5	4000	96	1200
11	0	$+\alpha$	0	+	20	4366	96	1350
12	0	$-\alpha$	0	+	20	3664	96	1300
13	0	0	$+\alpha$	+	20	4000	99,4	1300
14	0	0	$-\alpha$	+	20	4000	92,5	1300
15	0	0	0	+	20	4000	96	1200
16	0	0	0	+	20	4000	96	1200

Таблиця 5

Значення розрахованих критеріїв до отриманих регресійних моделей

Критерій оцінки	Позначка критерію	Функція відгуку		
		$S_{\text{др}}$	$M_{\text{зм}}$	$N_{\text{заг}}$
Коефіцієнт детермінації	$R^2$	0,72	0,6	0,49
Дисперсія адекватності	$S_{\text{ад}}$	185219	12	2227
Дисперсія відтворюваності	$S_{\text{відт}}$	2552217	71,8	8550
Критерій Фішера	$F$	0,07	0,17	0,26
Критичне значення критерію Фішера, яке рівне значенню розподілу Фішера	$F_{\alpha, f_1, f_2}$	$5,8_{0,05;4;21}$	$8,74_{0,05;3;12}$	$8,74_{0,05;3;12}$

Для оцінки адекватності отриманих регресійних рівнянь використаємо аналітичний метод аналізу. Гіпотезу про відтворювальність 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 Стюдента. Оцінку адекватності отриманих математичних моделей проводимо за критерієм Фішера, який показав, що розрахункові значення значно

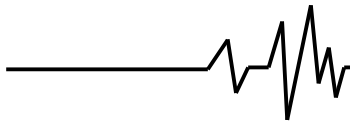
нижчі від критичних; відповідно отримані регресійні моделі адекватно описують поверхні відгуку та їх можна використовувати для оптимізації досліджувальних процесів [7]. Розрахункові значення критеріальної оцінки відображені в таблиці 5.

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:

- ступінь подрібнення матеріалу від віброприскорення контейнера, діаметру кульок, ступеню завантаження технологічного наповнювача та часу дроблення (рис. 1).

$$S = -4342 + 71,63A\omega^2 + 954,29d_{\kappa} + 86,05\xi_{\text{др.зав}} + 26,73t_{\text{др}} + 0,52(A\omega^2)^2 - 77,32(d_{\kappa})^2 - 0,72(\xi_{\text{др.зав}})^2 - 0,16(t_{\text{др}})^2 - 9,37A\omega^2d_{\kappa} + 0,38A\omega^2\xi_{\text{др.зав}} - 0,08A\omega^2t_{\text{др}} - 0,31d_{\kappa}\xi_{\text{др.зав}} + 0,07d_{\kappa}t_{\text{др}} + 0,15\xi_{\text{др.зав}}t_{\text{др}} \quad (1.6)$$

- ступінь однорідності вихідної суміші від віброприскорення контейнера, часу змішування та ступеню завантаження оброблювального матеріалу (рис. 2).



$$M = 40 + 3,7A\omega^2 - 0,1\xi_{3M.3ав} + 0,2t_{3M} - 0,1(A\omega^2)^2 + 0,001(\xi_{3M.3ав})^2 - 0,001(t_{3M})^2 - 0,001A\omega^2\xi_{3M.3ав} + 0,003A\omega^2t_{3M} - 0,001\xi_{3M.3ав}t_{3M} \quad (1.7)$$

- енерговитрати від віброприскорення контейнера, величини дисперсності матеріалу та його вихідної однорідності (рис.3).

$$N = 118429 - 41,7A\omega^2 - 13,4S_{op} - 1889,1M_{3M} + 0,3(A\omega^2)^2 + 8,7(M_{3M})^2 + 0,3A\omega^2M_{3M} + 0,1S_{op}M_{3M} \quad (1.8)$$

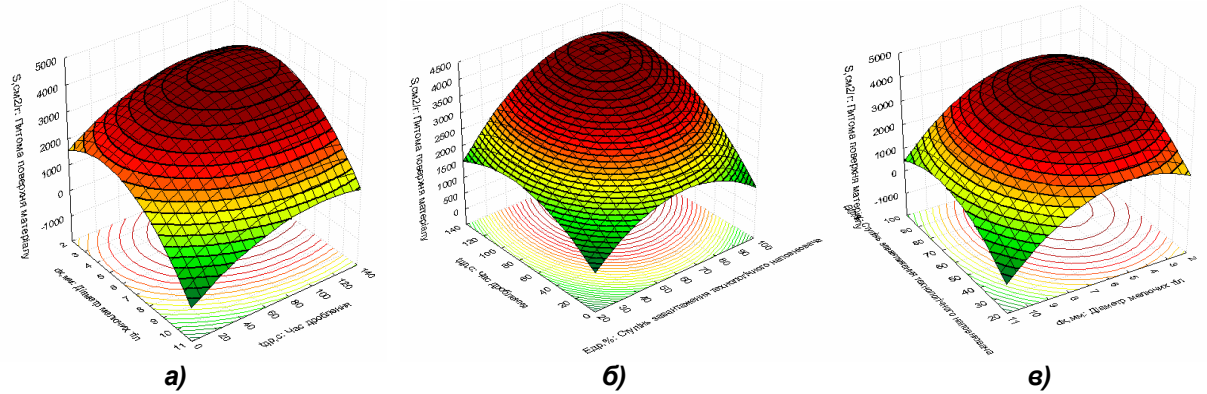
За результатами проведених експериментів досліджень та випробувань розробленого вібровідцентровго дезінтегратора для комплексної обробки фармацевтичних сумішей на основі побудованих поверхонь відгуку досліджувальних процесів було визначено оптимальні технологічні параметри його роботи (табл. 6.)

Також визначено, що при цих параметрах якісні характеристики процесу дроблення та змішування набувають своїх оптимальних значень відповідно питома поверхня матеріалу становить 4100 - 4300 см<sup>2</sup>/г, ступінь змішування 96 - 98% при комплексних енергетичних витратах 1,2 - 1,25 кВт при експлуатації дезінтегратора.

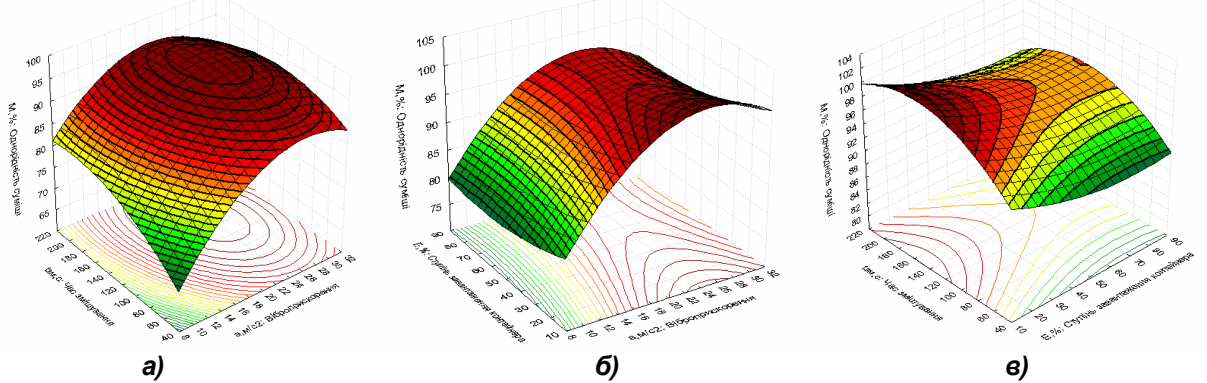
Таблиця 6

**Оптимальні технологічні параметри досліджуваного процесу дезінтегрування**

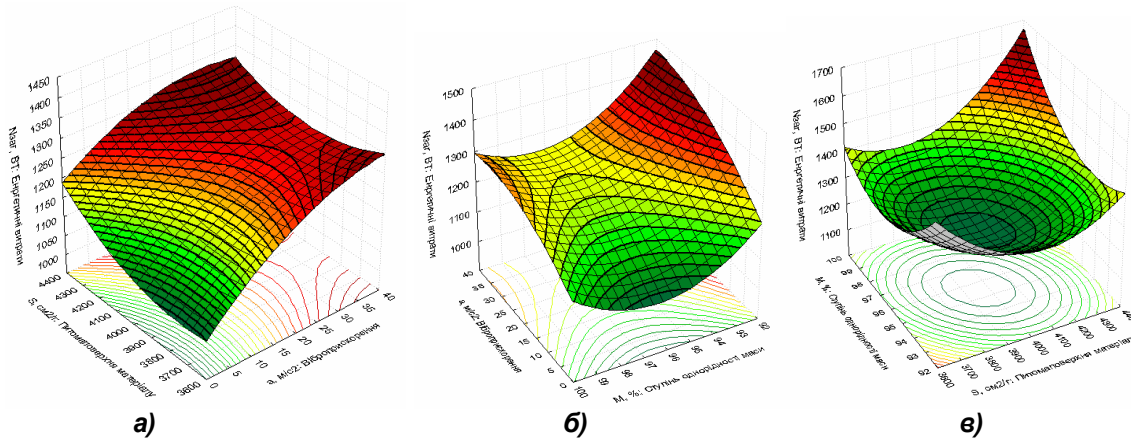
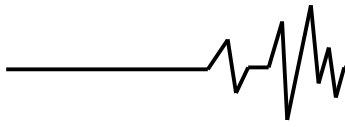
Технологічний параметр	Рациональне значення
Віброприскорення, м/с <sup>2</sup>	24-28
Діаметр кульок, мм	4-6
Ступінь завантаження технологічного наповнювача, %	50-60
Ступінь завантаження оброблювального матеріалу, %	70
Загальний час технологічного впливу, с	180



**Рис. 1. Поверхні відгуків та їх проекції для якісних параметрів процесу дроблення при парній взаємодії основних факторів: а) діаметр кульок та час дроблення; б) час технологічного впливу та ступінь завантаження технологічного середовища; в) ступінь завантаження технологічного середовища та діаметру кульок**



**Рис. 2. Поверхні відгуків та їх проекції для якісних параметрів процесу змішування: а) парна взаємодія віброприскорення та часу технологічного впливу; б) парна взаємодія віброприскорення та ступеня завантаження оброблювального матеріалу; в) часу технологічного впливу та ступеня завантаження оброблювального матеріалу**



**Рис. 3. Поверхні відгуків та їх проекції для енергетичної оцінки досліджуваних процесів:**  
**а) парна взаємодія віброприскорення та питомої поверхні матеріалу;**  
**б) парна взаємодія віброприскорення та ступеня однорідності вихідної суміші;** **в) парна**  
**взаємодія питомої поверхні матеріалу та ступеня однорідності вихідної суміші**

### Висновки

1. За результатами багатofакторного експерименту одержано математичні моделі у вигляді множини регресії другого порядку, які адекватно описують досліджувані процеси дезінтегрування фармацевтичних компонентів.

2. Аналіз отриманих моделей дозволив отримати оптимальні технологічні параметри роботи досліджуваного обладнання: робочий режим віброприскорення в межах  $a=24-28 \text{ м/с}^2$ ; геометричні параметри технологічного завантаження  $d=4-6 \text{ мм}$ ; ступінь завантаження робочого об'єму технологічним наповнювачем 50-60 % при реалізації процесу подрібнення; ступінь завантаження змішувальних компонентів 70-80% при реалізації процесу змішування та загальний час технологічного впливу, який становить 180-200 с. При цих параметрах споживана потужність приводу дезінтегратора становить  $N = 1,2-1,3 \text{ кВт}$ , питома поверхня новоутвореного матеріалу  $S=4100 - 4200 \text{ см}^2/\text{г}$  та ступінь однорідності вихідної суміші  $M=97 \%$ .

### Література

1. Ажгихин И. С. Технология лекарств / И.С. Ажгихин. – М.: Медицина, 1980. – С. 115-142, 325-344.

2. Муравьев И. А. Технология лекарственных форм / И. А. Муравьев. – М.: Медицина, 1988. – С. 79-104, 336-356.

3. Янович В. П. Розробка вібровідцентрового дезінтегратора для виробництва складних фармацевтичних сумішей. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету, серія технічні науки / В. П. Янович. – 2012. – №11.т.2.(66) – С. 366 – 369

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

5. 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.

6. Дрейф Н. Прикладной регрессионный анализ. Кн. 1, 2 / Н. Дрейф, Г. Смит. – М. : Мир, 1981. – 252 с.

7. 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.