

УДК 631.358.42

**Ю.Петрикович, канд.техн.наук; І.Закалов**

*Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя*

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛЕМІШНО-КОЛИВНОГО ВИКОПУЮЧОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ**

*Подана методика та результати експериментальних досліджень лемішно-коливних викопуючих робочих органів бурякозбиральних машин, а саме досліджень залежностей впливу конструктивно-кінематичних параметрів викопуючого робочого органу на технологічні показники якості викопування.*

Якість викопування коренеплодів цукрових буряків лемішно-коливними робочими органами значно залежить від узагальнених та конструктивно-кінематичних параметрів викопувальної системи.

З позиції системного аналізу викопуючий робочий модуль коренезбиральної машини можна подати як багатомірну систему «вхід-вихід» (рис.1), вихідними параметрами якої є показники якості викопування буряків, а вхідними - узагальнені параметри, що характеризують технологічну масу, робоче середовище, змінні конструктивно - кінематичні параметри робочих органів та швидкість коренезбиральної машини.



Рисунок 1. Структурна схема функціонування лемішно-коливних робочих органів:  $f_1, f_2, f_3$  - узагальнені параметри, що характеризують відповідно масо-розмірні характеристики коренеплодів, розміщення їх у рядку (за шириною рядка і глибиною залягання), типу та стану ґрунту;  $x_1, x_2, x_3$  - узагальнені значення внутрішніх факторів, що характеризують відповідно параметри копача: амплітуду вимушеної сили ( $A$ ), частоту коливань лемеша ( $f$ ) і швидкість руху коренезбиральної машини ( $V$ );  $y_1, y_2, y_3$  - відповідно втрати, сильні пошкодження та забрудненість коренеплодів.

Вхідні фактори  $f_1, f_2, f_3$  в загальному випадку належать до некерованих, однак ці показники і високий рівень технології вирощування можуть суттєво вплинути на вихідні показники.

Головним завданням дослідження є обґрунтування раціональних конструктивно-кінематичних параметрів  $x_1, x_2, x_3$  з метою доведення показників  $y_1, y_2, y_3$  до оптимальних значень у діапазоні варіювання вхідних факторів.

Робота лемішно-коливних робочих органів коренезбиральної машини досліджувалась на лабораторно-польовій установці, де при постійній робочій швидкості коренезбиральної машини досліджувались залежності втрат і забрудненості коренеплодів:

$$k_{нев} = f(f, A), \quad (1)$$

$$f_3 = f(f, A), \quad (2)$$

де  $f$  - частота вимушеної сили лемешів, Гц;

## МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

$A$  - амплітуда вимушеної сили, мм.

Для отримання регресійної моделі у вигляді повного квадратичного полінома необхідно вибрати відповідний план експерименту.

З метою спрощення обробки результатів лабораторних експериментів прийнятий ортогональний централь-композиційний план (ОЦКП), який реалізуємо у такій послідовності.

Оскільки при проведенні експериментів змінні фактори неоднорідні і мають різні одиниці вимірювання, а числа, що виражають значення цих факторів - різні порядки, приводимо їх до єдиної системи шляхом переходу від дійсних значень до кодованих:

- для частоти коливань:

$$X_{01} = \frac{36+18}{2} = 27, \text{ Гц};$$

- для амплітуди вимушеної сили:

$$X_{02} = \frac{8+2}{2} = 5, \text{ мм.}$$

Після введення умовних позначення верхнього, нижнього та основного рівнів відповідно +1, -1, 0 при побудові план-матриць планування експериментів і зіркового плеча  $\alpha$ , що забезпечує повну ортогональність плану для двофакторного експерименту рівне 1,0, визначались інтервали варіювання:

$$\Delta X_1 = \frac{36-18}{2} = 9, \quad x_1 = \frac{(f-27)}{9}; \quad \Delta X_2 = \frac{8-2}{2} = 3, \quad x_2 = \frac{(A-5)}{3}.$$

Результати кодування факторів подані в табл. 1, а план-матриця повногофакторного експерименту і результати експерименту у табл.2.

Таблиця 1

Результати кодування факторів експерименту для дослідження залежностей

$$k_{нв} = f(f, A), f_3 = f(f, A)$$

Фактор	Натур. позн.	Кодов. позн.	Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання					
				Натуральні			Кодові		
				верх	ниж.	нуль	верх	ниж.	нуль
Частота Коливань $f$ , Гц	$X_1$	$x_1$	9	36	18	27	+1	-1	0
Амплітуда коливань $A$ , мм	$X_2$	$x_2$	3	8	2	5	+1	-1	0

Таблиця 2

План - матриця та результати експерименту для дослідження залежності втрат коренеплодів  $k_{нв}$  від частоти  $f$  і амплітуди  $A$ :  $k_{нв} = f(f, A)$

№ Досл.	Фактор			Вектор-стовпчики взаємного впливу				Відгук $k_{нв}$ , %
	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1 x_2$	$x_4 = x_1^2 - 2/3$	$x_5 = x_2^2 - 2/3$	$x_4 x_5$	
1	+1	-1	-1	+1	1/3	1/3	1/9	3,5
2	+1	+1	-1	-1	1/3	1/3	1/9	3,2
3	+1	-1	+1	-1	1/3	1/3	1/9	2,9
4	+1	+1	+1	+1	1/3	1/3	1/9	1,0
5	+1	-1	0	0	1/3	-2/3	-2/9	3,2
6	+1	+1	0	0	1/3	-2/3	-2/9	2,1
7	+1	0	-1	0	-2/3	1/3	-2/9	3,3
8	+1	0	+1	0	-2/3	1/3	-2/9	1,7
9	+1	0	0	0	-2/3	-2/3	4/9	2,4

Обробка експериментальних даних, отриманих після реалізації планових експериментів, полягала у наступному. Відтворюваність дослідів при однаковому числіповторюваностей для кожного досліді перевірялась за G-критерієм Кохрена.

У нашому випадку при дослідженні залежності  $k_{нв} = f(f, A)$ :

$$D_{Y_{\max}} = 0,02; \quad \sum D_{YU} = 0,11; \quad G = \frac{0,02}{0,11} = 0,182.$$

Згідно з [1] при  $m-1 = 2; N = 9, G_T(0,05;9;2) = 0,205 > G = 0,182$ .

Таким чином, досліди відтворюються, оскільки умова  $G \leq G_T$  виконується.

Дисперсія відтворюваності:

$$D_{\bar{Y}_0} = \frac{1}{3 \cdot 9} \cdot 0,11 = 0,0041.$$

Коефіцієнти квадратичного полінома:

$$b_1 = -0,55; b_2 = -0,73; b_{12} = -0,4; b_{11} = 0,18; \\ b_{22} = 0,03; b_0^* = 2,59; b_0 = b_0^* - d(b_{11} + b_{22}) = 2,44.$$

Загальний вигляд рівняння регресії повного факторного експерименту

$$k_{нв} = 2,44 - 0,55x_1 - 0,73x_2 - 0,4x_1x_2 + 0,18x_1^2 + 0,03x_2^2. \quad (3)$$

Розрахункові значення  $Y_{Pi}$  у кожному досліді отримані за допомогою рівняння регресії, подані в табл. 3.

Таблиця 3

Отримані експериментально і розрахункові значення втрат коренеплодів

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
в досліді	3,5	3,2	2,9	1,0	3,2	2,1	3,3	1,7	2,4
$Y_{Pi}$	3,544	3,244	2,878	0,978	3,178	2,078	3,211	1,744	2,444

Дисперсія адекватності:  $D_{Ya} = 0,006$

Перевірка адекватності:

$$F = \frac{0,006}{0,0041} = 1,46.$$

Згідно з [1] при  $r_1 = 9 - 6 = 3; r_2 = 18, F_T(0,05;3;18) = 3,16 > F = 1,46$ .

Таким чином, умова виконується, а отже, рівняння регресії адекватне реальному процесу.

Після перевірки адекватності рівняння проводилась оцінка значущості коефіцієнтів регресії за допомогою  $t$ -критерія Стьюдента.

$$|b_0 = 2,44| > \Delta b_0 = 0,045; |b_1 = -0,55| > \Delta b_1 = 0,0548; |b_2 = -0,73| > \Delta b_2 = 0,0548; \\ |b_{12} = -0,4| > \Delta b_{12} = 0,067; |b_{11} = 0,18| > \Delta b_{11} = 0,095; |b_{22} = 0,03| < \Delta b_{22} = 0,095.$$

Таким чином, рівняння регресії набуде кінцевого вигляду:

$$k_{нв} = 2,44 - 0,55x_1 - 0,73x_2 - 0,4x_1x_2 + 0,18x_1^2. \quad (4)$$

## МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

За результатами розрахунків і отриманим рівнянням регресії (4) побудовані графічні залежності втрат коренеплодів цукрових буряків  $k_{нв}$  від частоти  $f$  і амплітуди  $A$ :  $k_{нв} = f(f, A)$  (рис. 2).

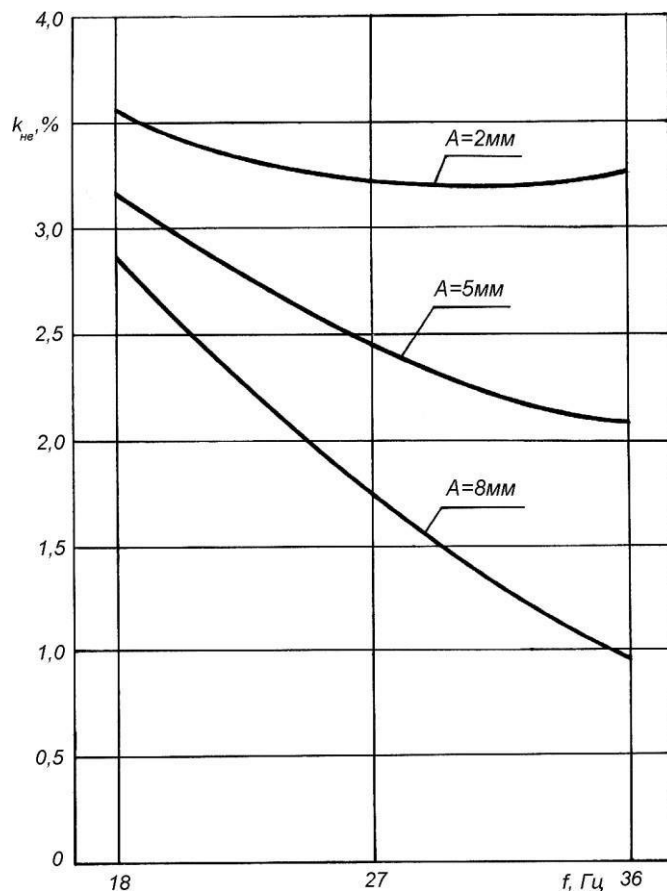


Рисунок 2. Графічні залежності втрат коренеплодів цукрових буряків  $k_{нв}$  від частоти коливань лемішів  $f$  і амплітуди  $A$ .

Результати кодування факторів експерименту при дослідженні залежності  $f_3 = f(f, A)$  приведені в табл. 1, а план - матриця та результати проведеного експерименту в табл. 4.

Таблиця 4

План - матриця та результати експерименту для дослідження залежності забрудненості коренеплодів  $f_3$  від частоти  $f$  і амплітуди  $A$ :  $f_3 = f(f, A)$

№ Досл.	Фактор			Вектор-стовпчики взаємного впливу				Відгук $f_3$ , %
	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1 x_2$	$x_4 = x_1^2 - 2/3$	$x_5 = x_2^2 - 2/3$	$x_4 x_5$	
1	+1	-1	-1	+1	1/3	1/3	1/9	30,2
2	+1	+1	-1	-1	1/3	1/3	1/9	59,1
3	+1	-1	+1	-1	1/3	1/3	1/9	16,4
4	+1	+1	+1	+1	1/3	1/3	1/9	17,0
5	+1	-1	0	0	1/3	-2/3	-2/9	17,0
6	+1	+1	0	0	1/3	-2/3	-2/9	31,4
7	+1	0	-1	0	-2/3	1/3	-2/9	44,4
8	+1	0	+1	0	-2/3	1/3	-2/9	17,2
9	+1	0	0	0	-2/3	-2/3	4/9	24,8

Експериментальні залежності оброблялись аналогічно, дослідженням залежності  $k_{нев} = f(f, A)$  за наперед викладеною методикою.

Числове значення максимальної дисперсії і сума дисперсій, що характеризують розсіювання у кожному проведеному досліді відповідно становлять:

$$D_{Y_{\max}} = 0,16; \quad \sum_{U=1}^N D_{YU} = 1,2.$$

Розрахункове значення критерія Кохрена:

$$G = \frac{D_{Y_{\max}}}{\sum_{U=1}^N D_{YU}} = \frac{0,16}{1,2} = 0,133.$$

Згідно з [1] при  $m-1 = 2; N = 9, G_T(0,05;9;2) = 0,205 > G = 0,133$ .

Таким чином, досліди відтворюються, оскільки умова  $G \leq G_T$  виконується.

Дисперсія відтворюваності всього експерименту:

$$D_{\bar{Y}_0} = \frac{1}{n} \sum_{U=1}^N D_{YU} = \frac{1}{3 \cdot 9} \cdot 1,2 = 0,044.$$

Коефіцієнти квадратичного полінома:

$$b_1 = 7,32; \quad b_2 = -13,85; \quad b_{12} = -7,075; \quad b_{11} = -0,28;$$

$$b_{22} = 6,32; \quad b_0^* = 28,61; \quad b_0 = b_0^* - d(b_{11} + b_{22}) = 24,59.$$

Загальний вигляд рівняння регресії:

$$f_3 = 24,59 + 7,32x_1 - 13,85x_2 - 7,075x_1x_2 - 0,28x_1^2 + 6,32x_2^2. \quad (5)$$

Розрахункові значення  $Y_{Pi}$  у кожному досліді, отримані за допомогою рівняння регресії (5), приведені в табл. 5.

Таблиця 5

Отримані експериментально і розрахункові значення забруднень коренеплодів

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
В досліді	30,2	59,1	16,4	17,0	17,0	31,4	44,4	17,2	24,8
$Y_{Pi}$	30,08	58,86	16,53	17,01	16,98	31,62	44,76	17,06	24,59

Дисперсія адекватності:  $D_{Ya} = 0,11$

Перевірка адекватності:

$$F = \frac{0,11}{0,044} = 2,46.$$

Згідно з [1] при  $r_1 = 9 - 6 = 3; r_2 = 18, F_T(0,05;3;18) = 3,16 > F = 2,46$ .

Таким чином, умова виконується, а отже, рівняння регресії адекватне реальному процесу.

Перевірка значущості коефіцієнтів регресії рівняння (5):

$$|b_0 = 24,59| > \Delta b_0 = 0,147; \quad |b_1 = 7,32| > \Delta b_1 = 0,179; \quad |b_2 = -13,85| > \Delta b_2 = 0,179;$$

$$|b_{12} = -7,075| > \Delta b_{12} = 0,22; \quad |b_{11} = -0,28| < \Delta b_{11} = 0,311; \quad |b_{22} = 6,32| < \Delta b_{22} = 0,311.$$

Таким чином, рівняння регресії виглядатиме так:

$$f_3 = 24,59 + 7,32x_1 - 13,85x_2 - 7,075x_1x_2 + 6,32x_2^2. \quad (6)$$

За рівнянням (6) побудовані графічні залежності забрудненості коренеплодів цукрових буряків  $f_3$  від частоти  $f$  і амплітуди  $A$ :  $f_3 = f(f, A)$  (рис. 3).

Аналіз залежностей втрат коренеплодів цукрових буряків  $k_{нв}$  (рис.2) і забрудненості коренеплодів цукрових буряків  $f_3$  (рис.3) від частоти вимушеної сили  $f$  і амплітуди  $A$  виявив, що із зменшенням амплітуди забрудненість коренеплодів різко зростає і при частоті  $f_3 = 36$  Гц становить 58%. Із зменшенням частоти вимушеної сили  $f$  до 18 Гц при мінімальному значенні амплітуди  $A = 2$  мм забрудненість становить 30%.

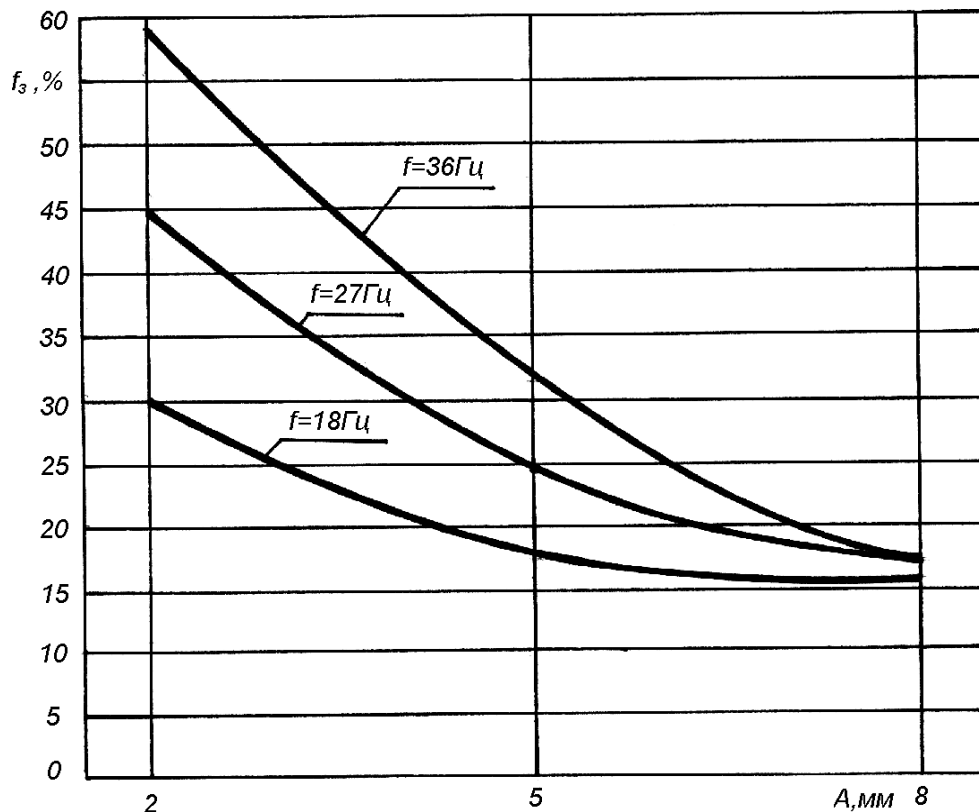


Рисунок 3. Графічні залежності забрудненості коренеплодів цукрових буряків  $f_3$  від частоти коливань лемішів  $f$  і амплітуди  $A$ .

Втрати коренеплодів досягають найменшого значення  $k_{нв} = 0,9\%$  при збільшенні значень амплітуди і частоти вимушеної сили до максимальних значень діапазону варіювання.

На основі цього раціональними параметрами викопуючого органу необхідно вважати частоту коливань вимушеної сили  $f = 36$  Гц і амплітуду коливань лемішів  $A = 8$  мм, при яких забрудненість викопаних коренеплодів  $f_3 = 17\%$ , втрати коренеплодів  $k_{нв} = 0,9\%$ .

*The article gives the methods and the results of experimental researching of poloughshare-oscillatory digging up working organs of beet-roots-collective mashines, exactly the researching of dependences of influence by digging up working organ constructional-kinematical parametes on the technical indices of digging.*

### Література

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1979. - 416с.

Одержано 15.05.2001 р.