ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ СЕПАРАЦІЇ КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ

Міненко С. В., к.т.н., Савченко В. М., к.т.н.

Приведені результати експериментальних досліджень комбінованого сепаратора картопляного вороху, які були направлені на визначення оптимальних конструктивних параметрів розрихлювача-вирівнювача як його складової частини.

Постановка проблеми. При копанні картоплі основною операцією є сепарація картопляного вороху, що пов'язана з використанням значних енергозатрат на відділення бульб картоплі від грунту та інших домішок [1,2,3]. Процес ускладнюється необхідністю забезпечити неушкодженість бульб, оскільки це впливає на їх збереженість [7,8].

Найпоширенішим видом пристосувань для сепарації картопляного вороху є пруткові елеватори, що мають високу продуктивність та надійність в роботі. Але разом з тим, при їх використанні спостерігається ряд недоліків: неможливість керування процесом сепарації картопляного вороху, неповне використання робочої поверхні елеваторів, швидкий знос при роботі в абразивному середовищі, залипання прутків при роботі на вологих грунтах [2,3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. З метою покращення якості роботи пруткового елеватора, як основного сепаруючого пристрою більшості картоплезбиральних машин, що застосовуються на теренах України, було запропоновано конструкцію розрихлювача, який встановлений над елеватором [4].

Такий розрихлювач-вирівнювач (рис.1.) дасть змогу рівномірно розподіляти картопляний ворох за шириною елеватора, що поліпшить його сепаруючу здатність, а також зменшить кількість твердих грудкових утворень, що потрапляють на елеватор.

Завдання досліджень. Отримання експериментальних залежностей впливу факторів на коефіцієнт сепарації картопляного вороху та визначення їх оптимальних значень в результаті реалізації багатофакторного експерименту.

Методика досліджень. Вирішення поставлених завдань досягається шляхом проведення трьохфакторного експерименту за планом Бокса-Бенкена [4,5] та відповідної математичної обробки отриманих статистичних даних з використанням прикладних комп'ютерних програм.

Рис.1. Лабораторно-польова установка з розрихлювачем-вирівнювачем

Результати досліджень. Для отримання експериментальних математичних залежностей впливу конструктивно-кінематичних факторів на коефіцієнт сепарації картопляного вороху і визначення його оптимальних параметрів була застосована методика планування багатофакторного експерименту і реалізований трьохрівневий план другого порядку Бокса-Бенкена [4,5]. З експериментальної точки зору D-оптимальні плани заслуговують досить високої уваги, так як вимагають варіювання факторів тільки на трьох рівнях замість п'яти рівней як у рота табельних, ортогональних та інших. В процесі випробувань були визначені умови випробувань згідно [7,8].

В результаті теоретичних досліджень і пошукових дослідів встановлено, що основний вплив на параметр оптимізації здійснюють наступні фактори: конструктивний – кут нахилу півдисків розрихлювача (α); кінематичний – частота обертання розрихлювача ($n_{роз}$); технологічний – швидкість руху агрегату по полю ($\upsilon_{агр}$). За параметр оптимізації прийнято коефіцієнт сепарації (η_c).

Перед початком експерименту проводилось кодування факторів за відомими формулами [4,5] (табл.1).

Таблиця 1.

Інтервали та рівні варіювання факторів

Показники	Кодове позначення	Фактори та їх позначення		
		Кут встановлення півдисків, α	Частота обертання $n_{роз}$, $с^{-1}$	Швидкість руху агрегату $\upsilon_{агр}$, км/год
Позначення фактора	x_i	x_1	x_2	x_3
Верхній рівень	+1	35	120	0,69
Основний рівень	0	30	100	0,9
Нижній рівень	– 1	25	80	1,18
Інтервал варіювання	ε	5	20	0,245

Результати реалізації плану Бокса-Бенкена представлені в таблиці 2.

В результаті розрахунків коефіцієнтів регресії отримана математична модель другого порядку в наступному вигляді:

$$y = 0,9 + 0,058\ x_1 + 0,0388\ x_2 - 0,0425\ x_3 - 0,015\ x_1x_2 + 0,0225\ x_1x_3 + \\ + 0,0075\ x_2x_3 - 0,05\ x_1^2 - 0,015\ x_2^2 - 0,0175\ x_3^2, \quad (1),$$

Статистичний аналіз рівняння (1) показав, що модель адекватна так як $F_{роз} = 0,532 < F_{табл} = 2,1$, і коефіцієнт значимі з 95%-ою ймовірністю.

Для використання рівняння регресії (1) в якості розрахункової формули та інтерпретації результатів дослідів провели його розкодування:

$$\eta_c = -1,1713 + 0,1301\ \alpha + 0,0126\ n_{роз} - 0,3528\ \upsilon_{агр} - 0,00015\ \alpha n_{роз} + \\ + 0,0184\ \alpha\upsilon_{агр} + 0,0015\ n_{роз}\upsilon_{агр} - 0,00\alpha^2 - 0,000037\ n_{роз}{}^2 - 0,2915\ \upsilon_{агр}{}^2, \quad (2),$$

Для забезпечення інтерпретації отриманих результатів дослідження поверхні відгуку був використаний метод двохмірних перерізів. Побудова поверхні відгуку і їх двохмірних перерізів виконувались прикладною програмою Mathsoft Mathcad 13. в отриману раніше математичну модель (1) підставлялись закодовані значення всіх факторів, крім любого одного, причому в першу чергу досліджувалися тій перерізи, які мають найбільше практичне значення. В подальшому в отриманому виразі визначався центр поверхні відгуку і проводилось канонічне перетворення моделі другого порядку.

Таблиця 2.

Матриця планування експериментів і результатів досліду

№ точки плану	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	Результати дослідів			Середнє значення $Y_{ср}$
											Y_1	Y_2	Y_3	
1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0,94	0,89	0,9	0,91
2	1	-1	-1	0	1	0	0	1	1	0	0,69	0,8	0,7	0,73
3	1	1	-1	0	-1	0	0	1	1	0	0,83	0,9	0,82	0,85
4	1	-1	1	0	-1	0	0	1	1	0	0,86	0,85	0,84	0,85
5	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0,91	0,85	0,88	0,88
6	1	-1	0	-1	0	1	0	1	0	1	0,82	0,83	0,84	0,83
7	1	1	0	-1	0	-1	0	1	0	1	0,95	0,94	0,9	0,93
8	1	-1	0	1	0	-1	0	1	0	1	0,65	0,64	0,78	0,69
9	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0,83	0,9	0,88	0,87
10	1	0	-1	-1	0	0	1	0	1	1	0,86	0,87	0,91	0,88
11	1	0	1	-1	0	0	-1	0	1	1	0,96	0,91	0,92	0,93
12	1	0	-1	1	0	0	-1	0	1	1	0,8	0,75	0,82	0,79
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,91	0,91	0,88	0,9
14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,92	0,92	0,89	0,91
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0,9	0,87	0,89

Поверхню відгуку і її двомірних переріз, що описується рівнянням (1) за факторами, кут нахилу півдисків розрихлювача та частота обертання розрихлювача, представлено на рис. 2, а саме рівняння в канонічній формі запишеться як:

$$Y - 0{,}933 = -0{,}0135X_1^2 - X_2^2, \qquad (3),$$

Кут повороту нових координатних осей в центрі поверхні відгуку для нашого випадку $\alpha = 0^\circ 25'$. Поверхня відгуку та її двомірний переріз зображений на рис 2.

Проаналізувавши даний двохмірний переріз, що показує спільний вплив взаємодії факторів (x_1та x_2) в області екстремуму за показником коефіцієнта сепарації в точці з $\eta_c = 0{,}933$ при величині факторів відповідно $\alpha \approx 32^\circ$ та $n_{роз} = 120$ об/хв. При чому область екстремуму знаходиться в межах $\alpha = 25...35^\circ$ і $n_{роз} = 110...130$ об/хв.

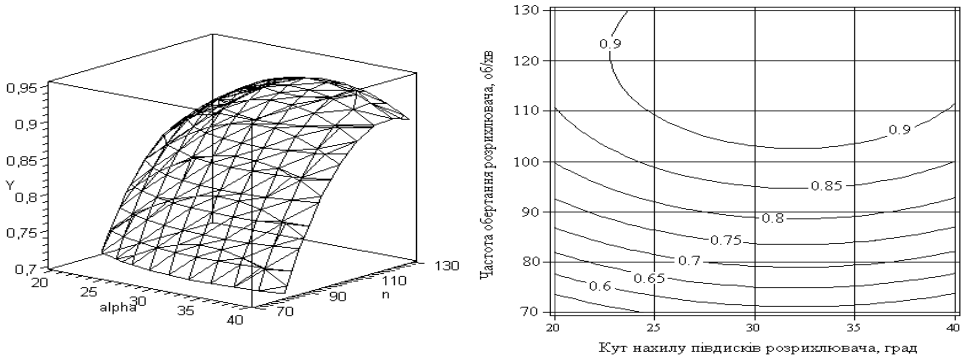

Рис. 2. Графік поверхні відгуку і її двохмірний переріз, при $x_3 = 0$.

Поверхня відгуку і її двомірний переріз, що описаний рівнянням (1) за факторами: кут нахилу півдисків та швидкість руху агрегату представлено на рис.3., а саме рівняння в

канонічній формі запишеться як:

$$Y - 0{,}931 = -0{,}0139\,X_1^2 - 0{,}0535\,X_3^2, \qquad (4)$$

Кут повороту осей координат в центрів поверхні відгуку для рівняння (4) рівний $\alpha = -0^\circ 41'$.

Поверхня відгуку та її двомірний переріз за рівнянням (4) зображений на рис 3.

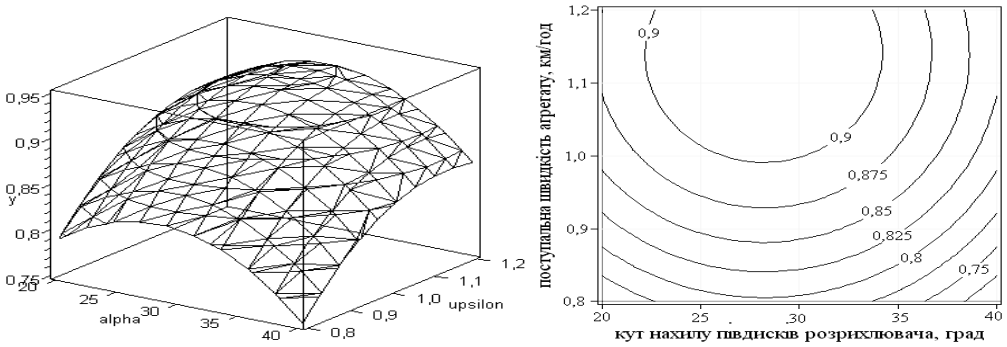

Рис. 3. Графік поверхні відгуку і її двохмірний переріз, при $x_2 = 0$.

Аналіз даного двохмірного перерізу (рис.3) показує, що спільний вплив взаємодії факторів (x_1та x_3) в області екстремуму за показником коефіцієнта сепарації в точці з $\eta_c = 0{,}931$ при величині факторів відповідно $\alpha \approx 28^\circ$ та $\upsilon_{агр} = 1{,}5$ км/год. При чому область екстремуму знаходиться в межах $\alpha = 25...35^\circ$ і $\upsilon_{агр} = 1{,}1...1{,}3$ км/год.

Поверхня відгуку і її двомірний переріз, що описаний рівнянням (1) за факторами: кут нахилу півдисків та швидкість руху агрегату представлено на рис.2., а саме рівняння в канонічній формі запишеться як:

$$Y - 0{,}941 = -0{,}0123\,X_2^2 - 0{,}0202\,X_3^2, \qquad (5)$$

Кут повороту осей координат в центрів поверхні відгуку для рівняння (5) рівний $\alpha = 3^\circ$.

Поверхня відгуку та її двомірний переріз за рівнянням (5) зображений на рис 4.

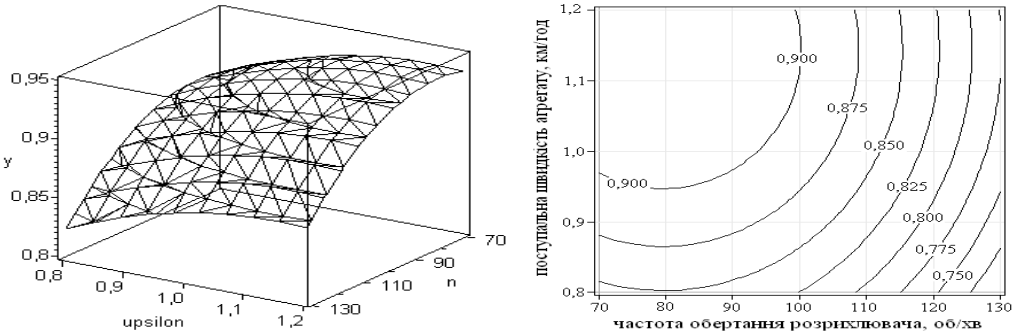

Рис. 4. Графік поверхні відгуку і її двохмірний переріз, при $x_1 = 0$.

Аналіз даного двохмірного перерізу (рис.4) показує, що спільний вплив взаємодії факторів (x_2 та x_3) в області екстремуму за показником коефіцієнта сепарації в точці з $\eta_c = 0{,}941$ при величині факторів відповідно $n_{роз} \approx 80$ об/хв та $\upsilon_{агр} \approx 1{,}15$ км/год. При чому область екстремуму знаходиться в межах $n_{роз} = 70...90$ об/хв. і $\upsilon_{агр} = 1{,}0...1{,}2$ км/год.

Висновки. В результаті застосування методики планування багатофакторного експерименту встановлені оптимальні значення факторів, що вивчаються: кут встановлення півдисків розрихлювача-вирівнювача $\alpha = 31^\circ$, частота обертання розрихлювача-вирівнювача $n_{роз} = 120$ об/хв., швидкість руху агрегату $\upsilon_{агр} = 1{,}1$ км/год, при середній урожайності 163,1 ц/га.

Випробування проводились на супіщаному ґрунті з твердістю 0,35…1,67 МПа і відносній вологості 19 %, при глибині копання 0,20 м.

Використані джерела інформації

1. Бекетов П.В. Снижение потерь картофеля и овощей при уборке и хранении. – М.: Россельиздат, 1986. – 220 с.
2. Верещагин Н.И. и др. Уборка картофеля в сложных условиях / Н.И. Верещагин, К.А. Пшеченков, В.С. Герасимов. – М.: Колос, 1983. – 208 с.
3. Сучасні тенденції розвитку с.-г. техніки. В.В. Адамчук, Г.Л. Баранов, О.С. Барановський та ін. За ред. В.І. Кравчука та ін. – К.: Агр. наука, 2004. – 394 с.
4. Пат. 30102 Україна, МПК A 01 D 19/00. Сепаруючий пристрій картоплезбиральної машини / Герук С.М., Міненко С.В.; заявник та патентопримач ДНВЗ «Державний агроекологічний університет». – № u200711875; заяв. 29.10.2007; опулб. 11.02.2008, Бюл. №3.
5. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперемента. «Металлугрия», М., 1969.
6. Мельников С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рощин П.М.. – Ленинград : Колос, 1972. – 200 с.
7. ГОСТ 28713-90 (СТ СЭВ 5628-89) Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Машины для уборки картофеля. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 13 с.
8. ОСТ 10.3.5-87. Машины для уборки и сортирования картофеля. Программа и методика испытаний. – М.: ЦНИИТЭН, 1988. – 92 с.