

УДК 631.356.43.

МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ БАРАБАННОГО СЕПАРАТОРА КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ

С.М. Грушецький, к.т.н.

Подільський державний аграрно-технічний університет

Ключові слова: методика, картоплекопач, збирання, сепарація, картопля.

Key words: methods, potatodig, collection, separator, potato.

Розроблена методика лабораторних досліджень барабанного сепаратора і процесу сепарації картопляного вороху для функціонування нової картоплезбиральної машини з метою зменшення механічних пошкоджень бульб при забезпеченні якісних показників процесу сепарації для подальшого конструктивного вдосконалення.

Methods of laboratory drum separator and separation process vorohu potato potato for the operation of the new machines to reduce mechanical damage of tubers, while ensuring qualitative separation process for further meaningful improvement.

Постановка проблеми. При збиранні картоплі значна кількість ґрунту попадає на транспортуючі органи картоплезбиральних пристроїв, погіршуючи якість товарної продукції. В зв'язку з цим актуальною стає проблема активної сепарації картопляного вороху і створення пристроїв для реалізації такої сепарації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вагомий вклад в розробку нових сепаруючих робочих органів та дослідження процесу їх роботи внесли відомі вчені: Г.Д. Петров, І.Р. Розмислович, З.В. Ловкіс, М.Е. Мацепуро, В.М. Булгаков, Р.Б. Гевко, Л.П. Безрукий, І.М. Бендера, А.П. Дорохов, Г.П. Солодух, Н.І. Верещагін, М.І. Самокиш, С.В. Смолінський, Ю.П. Фірман та ін. Аналіз показав, що процес сепарації картопляного вороху, а також його взаємодія з сепаруючими робочими органами теоретично і

експериментально досліджені недостатньо. Зокрема, в моделях сепарації не враховується активна дія сепаруючої поверхні на ворох, пошкоджувальність бульб, енергозатрати на сепарацію та ін.

У зв'язку з цим постало питання створення досконалішої конструкції сепаратора картоплезбиральної машини і дослідження процесу його роботи яка би діяла на ворох менш енергозатратно деформаціями розриву, зсуву і забезпечила зменшення пошкодження бульб та підвищення ступеню сепарації картопляного вороху.

Постановка завдання. Розробити методику лабораторних досліджень барабанного сепаратора для функціонування нової картоплезбиральної машини [1-3].

Виклад основного матеріалу. Для попереднього експериментального вивчення і визначення технологічних параметрів барабанного сепаратора у стаціонарних умовах була виготовлена лабораторна установка (рис. 1).

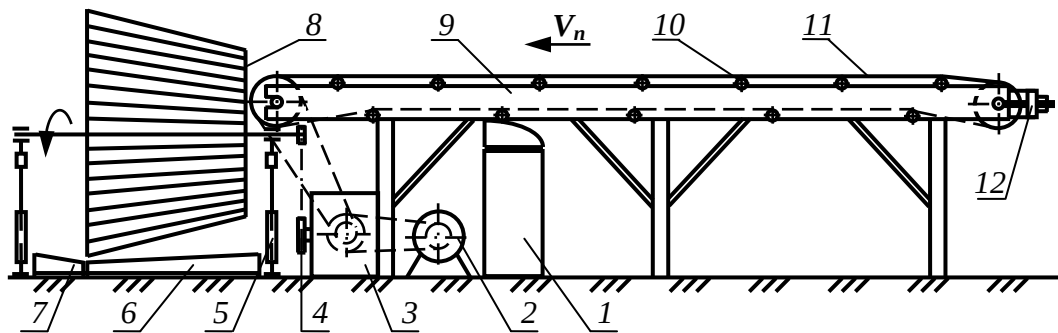


Рис. 1. Схема лабораторної установки

1 – рідинний реостат; 2 – електродвигун з фазним ротором; 3 – коробка передач; 4 – варіатор частоти обертання барабана; 5 – пристрій для регулювання кута нахилу барабана; 6 – лоток для збору ґрунту; 7 – лоток для збору бульб; 8 – конусний барабанний сепаратор; 9 – рама; 10 – підтримуючі ролики із зірочкою; 11 – ланцюгово-стрічковий транспортер; 12 – натяжний пристрій.

Установка служить для вивчення впливу кута конусності барабанного сепаратора, колової швидкості барабанного сепаратора та подачі досліджуваного матеріалу на ефективність просіювання домішок прутковим сепаратором і кута нахилу осі барабана до горизонту – мета першого етапу лабораторних досліджень, а схема показана на рис. 2.

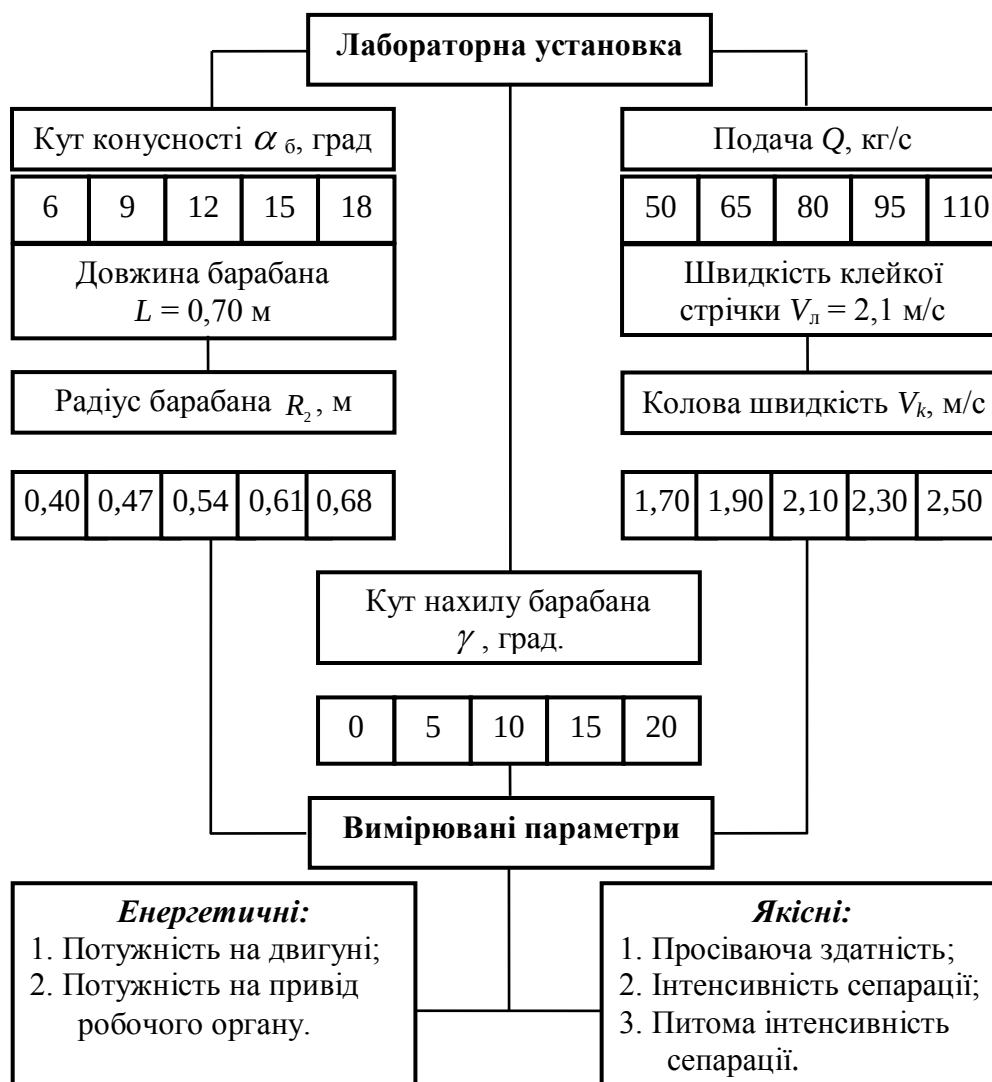


Рис. 2. Схема досліджень на лабораторній установці

Складність цього етапу полягає у потребі великої кількості просіваючого матеріалу (тобто ґрунту). Після кожного проходження через сепаратор ґрунтової маси необхідно її змінювати, оскільки значно змінюється фракційний склад ґрунту. Для проведення дослідження в стаціонарних умовах готувався технологічний ворох, який являв собою викопану картоплю з видаленням рослинних домішок.

Кут нахилу лінії центрів контролювався приладом планіметра, колову швидкість визначали попередньо визначивши кутову швидкість обертання за допомогою тахометра і перевіривши її по формулі:

$$V_k = \frac{\pi n R_2}{30} = \omega R_2, \quad (1)$$

де R_2 – радіус більшої основи барабана, м;

n – частота обертання барабана, об/хв.;

ω – кутова швидкість обертання, рад/с.

Подачу регулювали завантаженням ланцюгово-стрічкового транспортера, довжину вимірювали рулеткою.

Рівні та інтервали варіювання факторів при лабораторному дослідженні цього сепаратора подані в таблиці 1.

Експериментальне дослідження вивчення впливу п'яти факторів на вихідні показники планувалося як дрібний факторний експеримент згідно матриці 2^{5-2} , вивчення впливу кута конусності барабанного сепаратора і колової швидкості барабана проводилось при реалізації повнофакторного експерименту типу 3^2+5 (з додатковими точками, які розміщені близько центру плану) [4]. Для кожного дослідження налагоджувалась експериментальна установка на відповідні значення факторів. Проби збиралися і зважувалися. Результати зважування заносилися до таблиці у відповідні графи. Найбільш

поширеним методом побудови матриці відсіюючих експериментів є метод випадкового балансу. Матрицю випадкового балансу побудовано випадковим змішуванням двох напівреплік 2^{5-2} (табл. 2).

Таблиця 1

Рівні і інтервали варіювання факторів

Фактор	Натуральні позначення	Кодове позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
				натуральні			кодові		
				верхній	нижній	основний	верхній	нижній	основний
Подача Q , кг/с	X_1	x_1	30,0	110,0	50,0	80,0	+1	-1	0
Колова швидкість V_k , м/с	X_2	x_2	0,400	2,500	1,700	2,100	+1	-1	0
Кут конусності α_ϕ ,	X_3	x_3	6,0	18,0	6	12	+ 1	-1	0
Радіус барабана R_2 , м	X_4	x_4	0,14	0,68	0,40	0,54	+1	-1	0
Кут нахилу γ , град	X_5	x_5	10,0	15,0	5	10,0	+1	-1	0

Наступним кроком було вивчення при оптимальних значеннях конструктивних і кінематичних параметрів просіваючої здатності по конусності барабанного сепаратора залежності його від радіуса і довжини сепаратора при колівій швидкості і певній подачі вороху.

Для цього під сепаратор підставляли лоток, розділений на комірки: на n частин по ширині і m по довжині (в нашому випадку $n = 4$, $m = 5$). При подачі деякої маси на сепаратор значна її частина просіється крізь просвіти

сепаратора і попаде у відповідну комірку лотка, а інша – піде на вихід. Зваживши вихід просіяного ґрунту з кожної комірки, поділимо цю масу на загальну масу просіяного ґрунту. При зображенні залежності просівання ґрунту по довжині і ширині допустимо точку просівання в центрі кожної комірки.

Таблиця 2

Матриця відсіюючого експерименту

№ досліджу	Фактори				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
1	–	–	–	+	+
2	+	–	–	–	+
3	–	+	–	+	–
4	+	+	–	–	–
5	–	–	+	–	–
6	+	–	+	+	–
7	–	+	+	+	+
8	+	+	+	–	+

Отже, відрегулювавши машину на відповідний режим, матеріал пропускали через сепаратор. Позначили масу ґрунту, що поступала на сепаратор через m_n , яка згідно умов технологічного процесу проходила через робочу поверхню і на виході була отримана маса m_g непросіяного ґрунту. Масу ґрунту, яка просіяна, позначимо через ΔM . Тобто:

$$\Delta M = m_n - m_g. \quad (2)$$

Якісними показниками, за допомогою яких оптимізуватимемо роботу сепаратора в стаціонарних умовах, приймали:

1) просіваючу здатність

$$\nu = \frac{m_{np}}{m_n} \cdot 100\% = \frac{m_n - m_g}{m_n} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де v – просіваюча здатність, %;

m_n – маса ґрунту, що подається, кг;

m_{np} – маса просіяного сепаратором ґрунту, кг;

m_e – маса ґрунту на виході із сепаратора, кг;

2) інтенсивність сепарації:

$$q = \frac{m_{np}}{\tau} = \frac{m_n - m_e}{\tau}, \quad (4)$$

де q – інтенсивність сепарації, кг/с;

τ – час сепарації, с;

3) питома інтенсивність сепарації: $q_n = \frac{q}{S}$,

де q_n – питома інтенсивність сепарації, кг/(с м²);

S – площа сепаруючої поверхні, м².

Для більш повного дослідження роботи активного сепаратора після проведення пошукових дослідів заплановано проведення повного факторного експерименту, в якому значення одного фактора комбінується із значеннями всіх інших факторів. Таке планування експерименту значно ефективніше порівняно з експериментом такого ж об'єму, який виконаний традиційним методом. При повному факторному експерименті вивчаються можливі взаємодії між факторами, а при цьому кількість дослідів і час на їх проведення значно скорочується.

Аналіз результатів попередніх досліджень та теоретичні дослідження дали змогу оцінити вплив обраних факторів на параметр оптимізації, які виявилися нелінійними. Тому для найбільш точного опису досліджуваного процесу необхідно використати плани другого порядку.

Враховуючи нелінійний характер досліджуваного процесу, а також необхідну точність та надійність досліду, був прийнятий симетричний ортогональний центральньо-композиційний план другого порядку (ОЦКП) з проведенням 15 дослідів у трикратній повторності [4].

Як відомо, проведення повного факторного експерименту складається з наступних основних етапів: вибір та кодування факторів, складання плану-матриці, рандомізація дослідів, реалізація плану експерименту, перевірка відтворюваності дослідів, перевірка адекватності моделі, оцінка значущості коефіцієнтів регресії [4].

За результатами відсіюючих досліджень було встановлено, що найбільший вплив на параметри оптимізації мають наступні фактори: подача вороху (кілограм за одиницю часу), колова швидкість барабана та кут конусності барабанного сепаратора. Для цих факторів необхідно було визначити область їх зміни, тобто задати кожному фактору верхній та нижній рівні, а також зіркові точки, в межах яких змінюється значення фактора. У теорії планування експерименту прийнято позначити нижній рівень фактора знаком (–), верхній (+), основний (0), а зіркові точки $\pm a$ [4].

Інтервал зміни факторів визначали за формулою:

$$\varepsilon_i = \frac{x_{iv} - x_{in}}{2}, \quad (5)$$

де ε_i – інтервал зміни i -го фактора;

x_{iv} – верхній рівень i -го фактора;

x_{in} – нижній рівень i -го фактора.

Основний (нульовий) рівень розраховували за формулою:

$$x_{io} = \frac{x_{iv} + x_{in}}{2}, \quad (6)$$

де x_{io} – значення i -го фактора на нульовому рівні.

Значення зіркових точок розраховували із врахуванням зіркового плеча за формулою:

$$x_{iz} = x_{io} \pm \varepsilon_i \cdot \alpha, \quad (7)$$

де $\alpha = 1,215$ для трифакторного плану експерименту [4].

Для проведення натуральних факторів у безрозмірні величини з метою побудови плану-матриці експерименту необхідно закодувати фактори [4]. Зв'язок між кодованими і натуральними значеннями факторів встановлювали за наступною залежністю:

$$x_i = \frac{X_i - X_{io}}{\varepsilon_i}, \quad (8)$$

де x_i , X_{io} – відповідно кодоване та натуральне значення і-го фактора.

Рівні зміни для визначених факторів наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Рівні та інтервали зміни факторів

Параметри	Фактори		
	подача Q , кг/с	колова швидкість V_k , м/с	кут конусності α_0 , град.
Умовне позначення	X_1	X_2	X_3
Верхній рівень, x_{iv}	110	2,5	18,0
Нижній рівень, x_{in}	50	1,7	6,0
Основний рівень, x_{io}	80	2,1	12,0
Інтервал зміни, ε_i	30	0,4	6,0
Зіркова точка – а	44	1,6	4,7
Зіркова точка + а	116	2,6	19,3

Після проведення вищенаведених розрахунків була складена план-матриця експерименту, яка представлена в табл. 4.

Проведення експерименту здійснювалось одночасно для чотирьох параметрів оптимізації: просіваюча здатність ґрунту v , інтенсивність сепарації q , питома інтенсивність сепарації q_n і потужність на привід робочого органу N_{np} . Для складання математичної моделі рівнянь регресії другого порядку для кожного параметра оптимізації були проведені розрахунки згідно стандартної методики вибору та оптимізації параметрів (додатки И.1, И.2, И.3) [4].

Таблиця 4

План-матриці для проведення дослідів

№	Порядок реалізації			Фактори та їх взаємодії в кодових позначеннях									
	m_1	m_2	m_3	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
1	1	9	13	1	-1	-1	-1	1	1	1	0,27	0,27	0,27
2	3	1	7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0,27	0,27	0,27
3	7	6	14	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0,27	0,27	0,27
4	9	12	12	1	1	1	-1	1	-1	-1	0,27	0,27	0,27
5	2	10	3	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0,27	0,27	0,27
6	15	5	2	1	1	-1	1	-1	1	-1	0,27	0,27	0,27
7	12	15	1	1	-1	1	1	-	-	1	0,27	0,27	0,27
8	13	8	8	1	1	1	1	1	1	1	0,27	0,27	0,27
9	11	2	6	1	-1,215	0	0	0	0	0	0,746	-0,73	-0,73
10	8	11	15	1	1,215	0	0	0	0	0	0,746	-0,73	-0,73
11	6	7	11	1	0	-1,215	0	0	0	0	-0,73	0,746	-0,73
12	10	4	5	1	0	1,215	0	0	0	0	-0,73	0,746	-0,73
13	5	14	9	1	0	0	-1,215	0	0	0	-0,73	-0,73	0,746
14	14	3	10	1	0	0	1,215	0	0	0	-0,73	-0,73	0,746
15	4	13	4	1	0	0	0	0	0	0	-0,73	-0,73	-0,73

Після складання плану-матриці було побудовано математичну модель у вигляді поліному другого порядку:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (9)$$

де $b_0, b_1, b_2 \dots b_n$ – коефіцієнти регресії.

Для реалізації плану експерименту необхідно було виконати перевірку відтворюваності дослідів, перевірку адекватності моделі, проведення оцінки значущості коефіцієнтів регресії.

Після побудови рівнянь регресії отримані результати оброблялись методами математичної статистики на комп'ютері за допомогою прикладних програм Microsoft Excel 2000 та Matlab 6, на основі чого були побудовані графічні залежності та визначені оптимальні режими роботи експериментальної установки.

Енергетична оцінка роботи барабанного сепаратора проводиться в стаціонарних умовах з підключенням електровимірювальних приладів [5] до загальної схеми електроприводу лабораторної експериментальної установки. Визначивши силу струму за допомогою амперметра і напруги вольтметром на вході в двигун визначалася потужність $N_{\text{дв}} = IU$ на двигуні. Потужність на привід робочого органу визначається згідно наступної формули:

$$N_{\text{пр}} = N_{\text{дв}} \eta_{\text{дв}} \eta_{\text{пер}}, \quad (10)$$

де $\eta_{\text{дв}}$ – ККД електродвигуна;

$\eta_{\text{пер}}$ – ККД механічної передачі від електродвигуна до робочого органа.

Всі перераховані досліді проводяться в трикратній повторності.

Висновки. Таким чином розроблена методика лабораторних досліджень барабанного сепаратора і процесу сепарації картопляного вороху для функціонування нової картоплезбиральної машини дозволить змінювати конструктивні і кінематичні параметри картоплезбиральної машини з метою підвищення якісних показників роботи сепарації для подальшого конструктивного вдосконалення, а також теоретичного та експериментального дослідження.

Бібліографічний список

1. Грушецький С.М. Патенти і авторські свідоцтва / С.М. Грушецький, М.І. Алешенко, І.М. Бендера, (гол. ред.) Бурдега В.Ю. та ін. // Інститут механізації і електрифікації сільського господарства. – Кам'янець-Подільський: Аксіома, 2006. – С. 268-271.
2. Грушецький С.М. Картоплезбиральна машина з барабанним сепаратором / С.М. Грушецький, М.І. Самокиш, І.М. Бендера, П.І. Роздорожнюк // Наукові розробки рекомендовані виробництву: доп. і перер. під заг. ред. І.М. Бендери, О.В. Ткача. Хмельницький ЦНТІ – Хмельницький, 2006. – № 4 – С. 25, 28.
3. Пат. 66658А Україна, МКВ А01D17/04. Картоплезбиральна машина з барабанним сепаратором / Грушецький С.М., Самокиш М.І., Бендера І.М., Роздорожнюк П.І., Врадин В.В. – № 2003087897; заявл. 21.08.03; опубл. 17.05.04, Бюл. № 5. – 4 с.
4. Грушецький С.М. Обґрунтування конструкції і параметрів лемішно-полицевого картоплекопача з барабанним сепаратором картопляного вороху: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / Грушецький Сергій Миколайович. – Вінниця, 2008. – 285 с.
5. Грушецький С.М. Методика використання вимірювальних комплексів на заняттях з випробування сільськогосподарської техніки при підготовці інженерів-механіків / С.М. Грушецький, І.М. Бендера, Ю.П. Фірман, В.В. Майсус // Вища аграрна освіта України. – К.: Наукметодцентр, 2004. – № 25. – С. 6-8.