

УДК 631.361

В.Ю. Рамш¹, В.М. Барановський¹, М.Р. Паньків¹, Г.А. Герасимчук²

Бережанський агротехнічний інститут

¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя²Луцький національний технічний університет

МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОМБІНОВАНОГО ОЧИСНИКА ВОРОХУ КОРЕНЕПЛОДІВ

Наведено будову та принцип роботи лабораторної установки, методику проведення та результати експериментальних досліджень маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла цукрових буряків конкретизованої маси з використанням комбінованого очисника вороху.

Ключові слова: *ворох, коренеплоди, комбінований очисник, маса налиплого ґрунту, маса коренеплоду.*

Постановка проблеми. Однією з основних причин зниження виробництва коренеплодів цукрових буряків, є недосконалість техніки для їх збирання та невідповідність показників якості цукросировини існуючим вимогам [1].

Робочі органи для відокремлення домішок із складу вороху, поряд з викопувальними, є одними з основних пріоритетно-значущих вузлів конструктивно-компонувальних схем збиральних машин [2].

Існуючі принципово-функціональні схеми очисників вороху не в повній мірі відповідають сучасним вимогам показників якості очищення коренеплодів від рослинних і ґрунтових домішок за рахунок ряду існуючих недоліків [3].

Для підвищення ступеня відокремлення домішок від коренеплодів нами запропоновано удосконалений комбінований очисник вороху [4, 5], використання якого дозволить значно зменшити масу налиплого ґрунту на бічній поверхні викопаних коренеплодів.

Однією із залежних технологічних операцій збирання коренеплодів, на яку мають безпосередній вплив розмірно-масові параметри коренеплодів, є операція відокремлення домішок від коренеплодів, а особливо відокремлення налиплого на них ґрунту.

Розробка раціональних типів очисних робочих органів і структури відповідних технологічно-компонувальних схем збиральних машин може бути виконана на основі емпіричного моделювання технологічного процесу очищення тіла коренеплодів від налиплого на їх поверхню ґрунту на основі сучасних методів планування та проведення експериментів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз відомих праць показав, що в наукових виданнях питання експериментальних досліджень маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла викопаних коренеплодів конкретизованої маси не висвітлено, окрім загальних результатів, які відносяться до встановлення показників якості роботи коренезбиральних машин [6, 7].

Мета дослідження. Метою даного дослідження є емпіричне обґрунтування залежності зміни маси налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів від їх розмірних характеристик і параметрів комбінованого очисника.

Результати дослідження. З метою реального моделювання технологічного процесу очищення викопаного вороху коренеплодів під час проведення лабораторно-польових експериментальних досліджень ефективності процесу відокремлення налиплого ґрунту на бічній поверхні коренеплодів залежно від параметрів шнеків і очисного вала комбінованого очисника [4, 5], тобто для механізованого викопування цукрових буряків, використовували польову установку, конструктивна схема якої наведена на рис. 1 а. Установка начіплювалась на спеціальну рамку, змонтовану на лонжеронах трактора МТЗ-82 в зоні передніх керованих коліс. Загальний вигляд польової установки наведено на рис. 1 б.

Польова установка (рис. 1) складається з несучої рами 1 на якій встановлено однодискові копачі 3, які розміщені під кутом атаки 30°. Рама опирається на переднє та задні опорні колеса 2. За допомогою сніці 4 установка начіплюється на спеціальну рамку трактора.

Під час руху агрегату коренеплоди викопуються копачами 3 і укладаються на поверхню

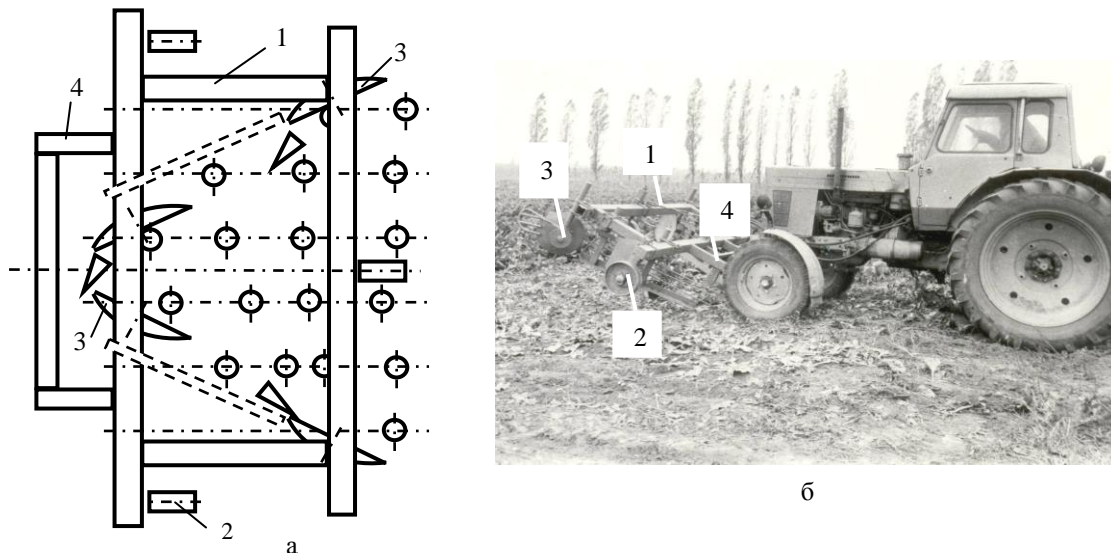


Рис. 1. Конструктивна схема (а) та загальний вигляд (б) польової установки для викопування коренеплодів: 1 – рама; 2 – опорні колеса; 3 – копач; 4 – сниця

поля, утворюючи валок.

Для проведення лабораторно-польових експериментальних досліджень ефективності процесу відокремлення налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла коренеплодів використано лабораторну установку очисної системи, конструктивна схема якої наведена на рис. 2.

Основною задачею проведення експериментів, які функціонально описують процес роботи очисної системи, є встановлення характеру впливу основних конструктивно-кінематичних параметрів комбінованого очисника та їх сумісної взаємодії на основні агротехнічні показники якості роботи об'єкту дослідження.

Основними вузлами лабораторної установки є завантажувальний прутковий транспортер 2, гірка 3, дві пари поздовжніх шнеків 4 круглого перерізу, приводний вал 5 з очисними пружними елементами 6, гідронасосна станція 7, які змонтовано на основній рамі 1. Привод гірки, редуктора приводу двох пар поздовжніх шнеків, приводного вала з очисними пружними елементами здійснюється від гідромоторів 8, 9 і 10, а гідронасосної станції – від електродвигуна 11. Дві пари поздовжніх шнеків встановлені на рамі установки консольно з можливістю регулювання радіуса дуги, на якій розташовували осі обертання шнеків за рахунок переміщення установчої боковини 14. Привод завантажувального транспортера здійснюється від редуктора приводу шнеків за допомогою ланцюгової передачі. Регулювання частоти обертання поздовжніх шнеків і приводного вала (очисних пружних елементів) відбувається, відповідно, за рахунок надходження відповідної кількості робочої рідини з масляного бака 12 до гідромоторів з регульовальних дроселів 13, а швидкості руху транспортера – перестановкою приводної зірочки ланцюгової передачі приводу вала транспортера.

Приводний вал з очисними пружними елементами являє собою барабан, який виконано у вигляді тонкостінної труби з підшипниковими опорними елементами. На поверхні барабана по гвинтовій лінії закріплено очисні пружні елементи, які набрані з пучків ворсу. Розмірно-кількісні параметри очисних пружних елементів вибирали згідно з конструктивними міркуваннями та із врахуванням відповідних положень проведених досліджень щіткових робочих органів [8, 9].

Моделювання процесів сепарації домішок вороху на робочих органах очисників залежать від багатьох вхідних факторів, які носять стохастичний випадковий характер: фізико-механічних властивостей ґрунту, сорту коренеплодів, геометричної форми їх поверхні, характеру навантажень для руйнування даних зв'язків тощо.

Відокремлення налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла коренеплодів здійснюється наступним чином. Викопані польовою установкою (рис.1) коренеплоди з налиплим ґрунтом завантажували на подавальний транспортер 2 (рис. 3), який після запуску двигуна 8 переміщує їх на гірку 3. Коренеплоди скочуються з полотна гірки і попадають на шнеки 4 очисника. У процесі переміщення коренеплодів вздовж жолоба робочого русла очисника, за рахунок обертання шнеків

(перший етап) і одночасного поєднання обертання шнеків і взаємодії очисних елементів 6 приводного вала 5 (другий етап), бічна поверхня тіла коренеплодів очищується від налиплого

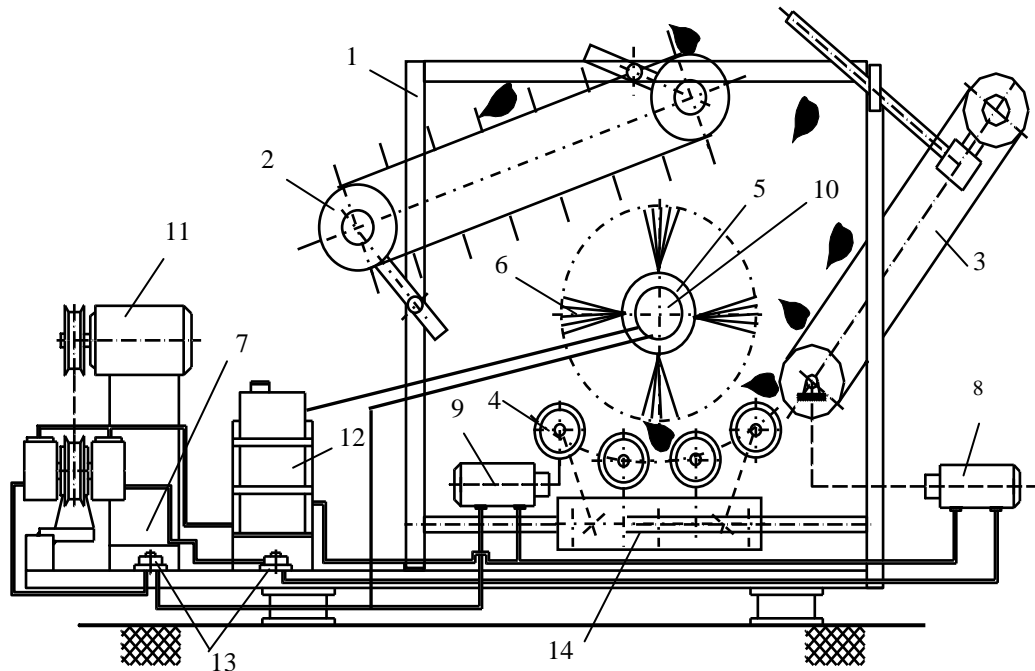


Рис. 2. Конструктивна схема лабораторної установки:

1 – рама; 2 – завантажувальний транспортер; 3 – очисна гірка; 4 – шнеки; 5 – приводний вал; 6 – очисні пружні елементи; 7 – гідронасосна станція; 8, 9, 10 – гідромотори; 11 – електродвигун; 12 – масляний бак; 13 – регулювальні дроселі; 14 – установча боковина
грунту.

Порядок проведення багатofакторного експерименту був наступним:

- коренеплоди цукрових буряків з залікової ділянки викопувалися польовою установкою (рис. 1) та відбиралися з утвореного валка;
- викопані коренеплоди доставляли до місця проведення експериментів, після чого зважували кожний окремий коренеплід разом з налиплим ґрунтом на електронних вагах;
- вручну завантажували коренеплоди на транспортер 2 (рис. 2) лабораторної установки та визначали ефективність процесу відокремлення налиплого ґрунту на бічній поверхні коренеплодів.

Реалізація порядку проведення багатofакторних експериментів була наступною.

Довжина кожної 6-ти рядної залікової ділянки посівів цукрових буряків сорту «Білоцерківський однонасінний» становила 20 м. Гичку цукрових буряків перед початком викопування зрізували гичкозбиральною машиною роторного типу МБП-2.7. Швидкість руху польової установки була постійною та становила 1, 3 м/с. Глибина ходу копача становила 0,1 м. Вологість та щільність ґрунту на глибині ходу диска становила, відповідно, 19,7 % і 2,1 Мпа. З утвореного валка цукрових буряків вибраковували пошкоджені коренеплоди з відірваною хвостовою частиною, діаметр якої становив більше 2,5 см.

Розрив в часі між викопуванням коренеплодів і початком проведення експериментів становив не більше 15 хв.

На першому етапі проводили дослідження ступеня відокремлення налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла коренеплодів залежно від зміни параметрів (вхідних факторів) очисника без дії на процес відокремлення налиплого ґрунту очисних пружних елементів 6 (рис. 2) приводного вала 5, привод якого відключали, а приводний вал пересували вгору відносно шнеків 4; на другому етапі приводний вал 5 переміщували в початкове положення з можливістю його обертання, або безпосередньої участі у процесі відокремлення налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла коренеплодів.

Визначення ефективності процесу відокремлення налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла

коренеплодів цукрових буряків реалізували на основі побудови та проведення порівняльних багатофакторних експериментів типу ПФЕ. Для отримання регресійної моделі параметру оптимізації, яку приймали у вигляді функціонала $m_{in} = f(x_1; x_2 \dots x_i)$, де m_{in} – маса налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла після очищення коренеплодів у першому та другому випадках; $x_1; x_2 \dots x_i$ – натуральні незалежні змінні фактори, вибирали відповідний умовний план багатофакторного експерименту, реалізацію якого проводили у наступній послідовності.

Для визначення маси налиплого ґрунту m_{1n} на бічній поверхні коренеплодів у першому випадку незалежними змінними факторами приймали: частоту обертання шнеків n , яку кодували індексом X_1 і діаметр шнеків D , який кодували індексом X_2 . Для визначення маси налиплого ґрунту m_{2n} на бічній поверхні коренеплодів у другому випадку незалежними змінними факторами приймали: частоту обертання шнеків n , яку кодували індексом X_1 , зовнішній діаметр шнеків D , який кодували індексом X_2 і частоту обертання приводного вала n_o , яку кодували індексом X_3 .

Відповідно, дво- та трифакторний експеримент провели на трьох рівнях варіювання змінними факторами, тобто реалізували експерименти типу ПФЕ 3^2 та ПФЕ 3^3 .

При побудові план-матриці експериментів вводили кодовані позначення верхнього, нижнього та нульового рівнів варіювання факторами, відповідно, позначали як (+1), (-1), (0).

Оскільки при проведенні експериментів змінні незалежні фактори n , D і n_o неоднорідні та мають різні одиниці вимірювання, а числа, що виражають значення цих факторів – різні порядки, приводили їх до єдиної системи обрахунків шляхом переходу від дійсних значень до кодованих.

Результати кодування змінних факторів і рівні їх варіювання наведено у табл. 1.

Після кодування факторів склали план-матрицю відповідного факторного експерименту типу ПФЕ 3^2 та ПФЕ 3^3 для загального числа дослідів $N = 3^2$ та $N = 3^3$.

Таблиця 1

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання ПФЕ 3^2 та ПФЕ 3^3

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	код.	натур.				
Частота обертання шнеків, n , об/хв	X_1	x_1	250	150/-1	400/0	650/+1
Діаметр шнеків, D , м	X_2	x_2	0,03	0,18/-1	0,21/0	0,24/+1
Частота обертання приводного вала, n_o , об/хв	X_3	x_3	50	60/-1	110/0	160/+1

При реалізації складених план-матриць, для усунення на результат дослідження маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла коренеплодів впливу неконтрольованих і нерегульованих факторів, провели рандомізацію план-матриць методом випадкового балансу, який було реалізовано способом витягання порядкових номерів дослідів з урни.

Радіус дуги, на якій розташовували осі обертання шнеків та віддалі між осями шнеків, які утворювали жолоб робочого русла комбінованого очисника вороху, регулювали за допомогою пересування установочної боковин 14 (рис. 2). Частоту обертання шнеків і приводного вала (очисних пружних елементів) змінювали за допомогою відповідної подачі кількості робочої рідини до гідромоторів 9, 10 через гідравлічні дроселі 13. Радіус дуги жолоба робочого русла, утвореного шнеками очисника, вибирався згідно з результатами теоретичного аналізу та знаходився в межах 0,75...0,82 (м). Швидкість руху завантажувального транспортера та робочої вітки гірки, зовнішній діаметр приводного вала, кількість заходів гвинтової лінії очисних пружних елементів, діаметр пучків очисних пружних елементів, зазор між нижніми торцями очисних пружних елементів і барабаном шнека, ширину сепарувального зазору між шнеками, довжину двох пар шнекових валів, висоту рифа шнека, крок рифів шнека, кількість заходів гвинтової лінії шнека, крок очисних пружних елементів приймали постійними, які становили: 1,3 м/с; 1,2 м/с; 0,6 м; 1; 4,0 мм; 50 мм; 50 мм; 1,14 м; 30 мм; 0,35м; 1; 0,1 м.

Послідовність проведення експериментів встановлювали згідно з нумерованим порядком рандомізованих план-матриць дво- та трифакторних експериментів типу ПФЕ 3^2 та ПФЕ 3^3 .

Після проведення дослідів вручну очищували з тіла коренеплодів залишки налиплого

грунту та зважували його на електронних вагах з наступним подальшим зважуванням відповідної маси коренеплоду. Також визначали масу налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла коренеплоду в відсотках відносно чистої маси відповідного коренеплоду. Отримані результати маси налиплого ґрунту в вагових одиницях вимірювання (г) та в відсотках (%) і маси чистого коренеплоду (кг) занесли в таблицю умов проведення та результатів експериментальних досліджень.

Обробку одержаних експериментальних даних, які отримали після реалізації планових експериментів, проводили в наступному порядку.

Функцію відгуку (масу налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла коренеплоду) попередньо приймали у вигляді емпіричної математичної моделі логарифмічної функції:

$$m_{1n} = b_0 + b_1 \ln x_1 + b_2 \ln x_2; \quad m_{2n} = b_0 + b_1 \ln x_1 + b_2 \ln x_2 + b_3 \ln x_3, \quad (1)$$

де b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти відповідних значень змінних факторів в натуральних величинах x_i ; x_1, x_2, x_3 – відповідні натуральні позначення кодованих змінних факторів.

Для побудови емпіричної математичної моделі, яка характеризує залежність зміни маси налиплого ґрунту m_{1n}^j на бічній поверхні коренеплодів від параметрів шнека та приводного вала комбінованого очисника провели обробку експериментального масиву за загальновідомою методикою.

Масу налиплого ґрунту на бічній поверхні коренеплодів після їх очищення комбінованою очисною системою без дії приводного вала та з ним, відповідно, як функціоналів $m_{1n}^g = f(n, D)$, $m_{2n}^g = f(n, D, n_o)$ (в грамах, г) і $m_{1n}^v = f(n, D)$, $m_{2n}^v = f(n, D, n_o)$ (в відсотках відносно чистої маси коренеплодів, %) також визначали для трьох груп коренеплодів, чиста маса яких знаходиться в діапазоні меж від-до: 0,5...0,7 кг; 0,7...0,9 кг; 0,9...1,2 кг.

Статистичну значимість коефіцієнтів b_i рівняння регресії проводили за t -критерієм Ст'юдента.

Перевірку адекватності вибраної емпіричної моделі, тобто відповідності отриманого теоретичного розподілу випадкових величин рівняння регресії реальному процесу проводили за F -критерієм Фішера, табличне значення якого позначимо $F_T(0,05; f_{ag}; f_u)$, де 0,05 означає 5% рівень значущості (рівний $1-\alpha$, де α – довірча імовірність), згідно яких умова адекватності виконується, тобто вибрана математична модель адекватно описує реальний процес, або адекватна досліджуваному процесу.

Тоді, загальний вигляд рівняння регресії залежності зміни маси налиплого ґрунту на бічній поверхні коренеплодів від частоти обертання шнека, діаметра шнека, частоти обертання приводного вала за результатами проведених, ПФЕ 3² і ПФЕ 3³ в натуральних величинах буде:

- без приводного вала в грамах:

$$\left. \begin{aligned} m_{1n}^{0,7g} &= 48,68 - 2,64 \ln(n) - 6,83 \ln(D); \\ m_{1n}^{0,9g} &= 16,51 - 1,74 \ln(n) - 19,84 \ln(D); \\ m_{1n}^{1,2g} &= 19,21 - 1,76 \ln(n) - 15,27 \ln(D) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

де $m_{1m}^{0,7g}$, $m_{1m}^{0,9g}$, $m_{1m}^{1,2g}$ – маса налиплого ґрунту на бічній поверхні для діапазону маси коренеплодів, відповідно, 0,5...0,7 кг, 0,7...0,9 кг, 0,9...1,2 кг, г;

- без приводного вала в відсотках до чистої маси коренеплоду:

$$\left. \begin{aligned} m_{1n}^{0,7v} &= 8,48 - 0,41 \ln(n) - 0,81 \ln(D); \\ m_{1n}^{0,9v} &= 3,68 - 0,41 \ln(n) - 3,05 \ln(D); \\ m_{1n}^{1,2v} &= 3,14 - 0,28 \ln(n) - 2,53 \ln(D) \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де $m_{1m}^{0,7v}$, $m_{1m}^{0,9v}$, $m_{1m}^{1,2v}$ – маса налиплого ґрунту на бічній поверхні для діапазону маси коренеплодів, відповідно, 0,5...0,7 кг, 0,7...0,9 кг, 0,9...1,2 кг, %;

- з приводним валом в грамах:

$$\left. \begin{aligned} m_{2n}^{0,7g} &= 81,04 + 0,59 \ln(n) - 11,3 \ln(D) - 17,4 \ln(n_o); \\ m_{2n}^{0,9g} &= 111,38 - 1,22 \ln(n) - 24,07 \ln(D) - 25,24 \ln(n_o); \\ m_{2n}^{1,2g} &= 143,69 - 1,36 \ln(n) - 32,75 \ln(D) - 32,82 \ln(n_o) \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

де $m_{2m}^{0,7g}$, $m_{2m}^{0,9g}$, $m_{2m}^{1,2g}$ – маса налиплого ґрунту на бічній поверхні для діапазону маси коренеплодів, відповідно, 0,5...0,7 кг, 0,7...0,9 кг, 0,9...1,2 кг, г;

- з приводним валом в відсотках до чистої маси коренеплоду:

$$\left. \begin{aligned} m_{2n}^{0,7v} &= 15,27 + 0,18 \ln(n) - 2,24 \ln(D) - 3,19 \ln(n_o); \\ m_{2n}^{0,9v} &= 14,05 - 0,14 \ln(n) - 2,91 \ln(D) - 3,17 \ln(n_o); \\ m_{2n}^{1,2v} &= 14,99 - 0,14 \ln(n) - 2,97 \ln(D) - 3,13 \ln(n_o) \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

де $m_{2m}^{0,7v}$, $m_{2m}^{0,9v}$, $m_{2m}^{1,2v}$ – маса налиплого ґрунту на бічній поверхні для діапазону маси коренеплодів, відповідно, 0,5...0,7 кг, 0,7...0,9 кг, 0,9...1,2 кг, %;

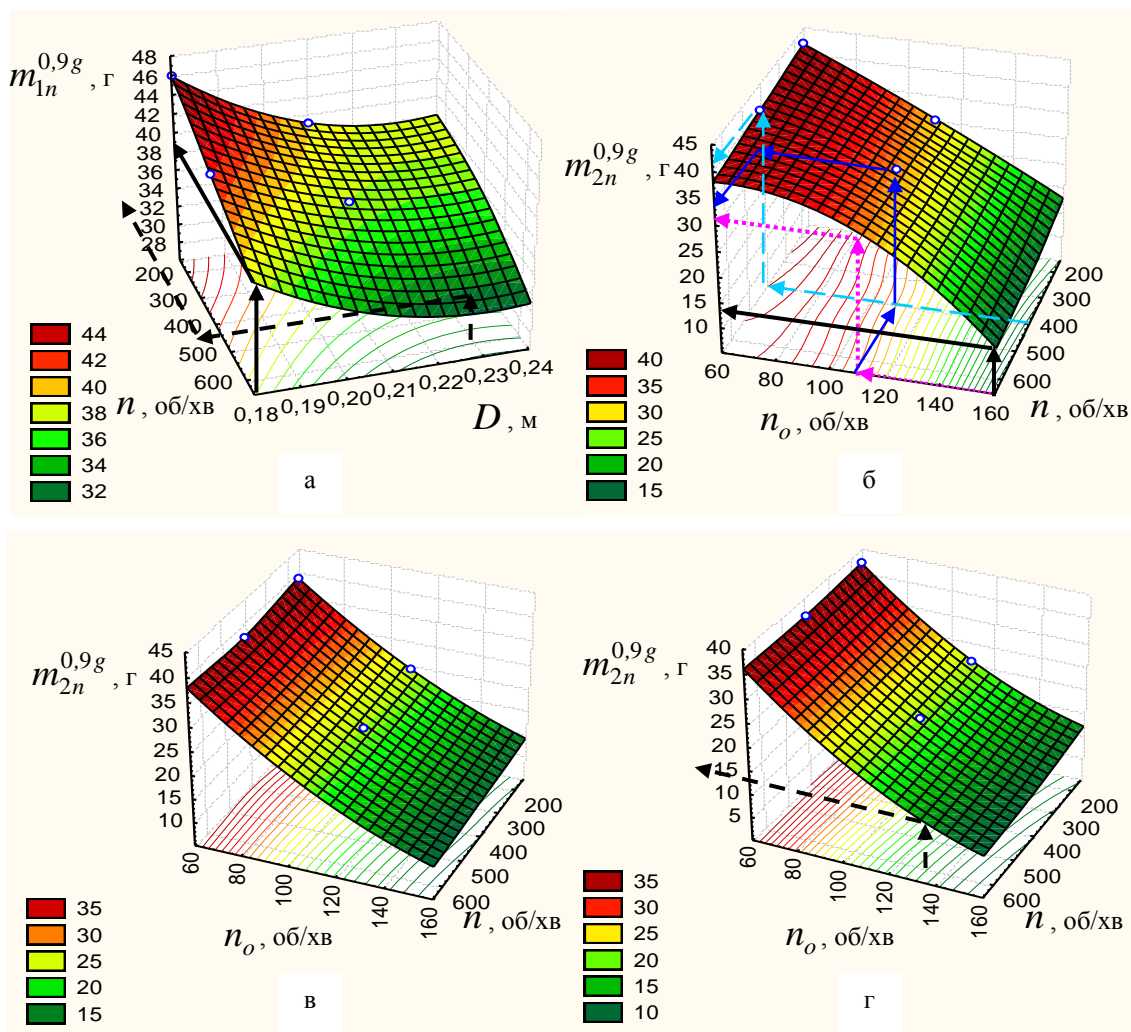


Рис. 3. Поверхня відгуку залежності зміни маси налиплого ґрунту на бічній поверхні для діапазону маси коренеплодів 0,7...0,9 (кг) від параметрів комбінованого очисника: а – без приводного вала як функціонала $m_{1n}^{0,9g} = f(n, D)$; б, в, г – з приводним валом як функціонала $m_{2n}^{0,9g} = f(n, D, n_o)$, відповідно, для $D = 0,18; 0,21; 0,24$ (м)

Отримані рівняння регресії (4.2-4.5) є емпіричними залежностями, які визначають кількісні показники зміни маси налиплого ґрунту m_{in}^j на бічній поверхні тіла коренеплодів залежно від конструктивно-кінематичних параметрів комбінованої очисної системи – частоти обертання

шнека, діаметра шнека, частоти обертання приводного вала у наступних межах їх зміни: $150 \leq n \leq 650$ (об/с); $0,18 \leq D \leq 0,24$ (м); $60 \leq n_0 \leq 160$ (об/с).

Результати порівняння кількісних показників m_{in}^j , які описуються рівняннями (3) та відповідних значень m_{in}^j , які описуються рівняннями регресії (4) і (5), характеризують ефективність процесу відокремлення налиплого ґрунту з бічної поверхні тіла коренеплодів комбінованою очисною системою після їх викопування.

Для визначення ефективності процесу відокремлення маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла коренеплодів залежно від впливу основних конструктивно-кінематичних параметрів комбінованого очисника будували графічне відтворення регресійних моделей маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла коренеплодів у вигляді поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів, як функції від двох змінних факторів x_i без приводного вала та, як функції від двох змінних факторів x_i при постійному незмінному третьому факторі $x_3 = const$ для діапазону маси коренеплодів, відповідно, 0,5...0,7 кг, 0,7...0,9 кг, 0,9...1,2 кг.

Аналіз наведених графічних залежностей маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла коренеплодів (рис. 3) показує, що після застосування приводного вала з пружними очисними елементами кількість налиплого ґрунту на коренеплодах значно зменшується. Так, наприклад, для діапазону маси коренеплодів 0,7...0,9 (кг) показники зміни маси налиплого ґрунту становлять: для діаметра шнеків $D = 0,18$ м і частоти обертання шнеків $n = 650$ об/хв без приводного вала – 39 г (рис. 3 а), з приводним валом – 15 г (рис. 3 б); для діаметра шнеків $D = 0,24$ м і частоти обертання шнеків $n = 650$ об/хв без приводного вала – 32 г (рис. 3 а), з приводним валом – 10 г (рис. 3 г); Таким чином, застосування комбінованого очисника вороху дозволяє зменшити масу налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла коренеплодів після їх викопування приблизно в 2,5...3,0 рази. Значне зниження маси налиплого ґрунту спостерігається в діапазоні зміни частоти обертання приводного вала 60...110 об/хв.

Висновки. Застосування комбінованого очисника вороху коренеплодів дозволяє значно зменшити масу налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла викопаних коренеплодів за рахунок додаткової інтенсифікації дії на ворох пружних очисних елементів. Одержані результати експериментів підтверджують ефективність процесу та доцільність застосування запропонованого очисника.

Література

1. Погорельий Л.В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз / Л.В. Погорельий, М.В. Татьяна – К. : Феникс, 2004. – 232 с.
2. Гевко Р.Б. Викопувально-очисні пристрої бурякозбиральних машин: конструювання і розрахунок / Р.Б. Гевко. – Тернопіль, 1997. – 120 с.
3. Погорілий М. Закономірності розвитку бурякозбиральної техніки та обґрунтування раціональних обрисів вітчизняних машин / Максим Погорілий // Техніка АПК. – 1999. – № 3. – С. 8–12.
4. Пат. 46920 Україна, МКИ⁷ А 01 Д 33/08. Комбінований очисник вороху коренеплодів / Барановський В.М., Паньків М.Р., Дубчак Н.А., Рамш В.Ю.; заявник і власник Тернопільський національний технічний університет. – № u 200907498; заявл. 17.07.2009.; опубл. 11.01.2010. Бюл. № 1.
5. Рамш В.Ю. Аналіз тенденцій розвитку робочих органів для сепарації вороху коренеплодів / В.Ю. Рамш, В.М. Барановський, М.Р. Паньків [та ін.] // Наукові нотатки. – Луцьк : ЛНТУ, 2011. – Вип. 31. – С. 298–305.
6. Булгаков В.М. Теория свеклоуборочных машин : Монография / В.М. Булгаков, М.И. Черновол, Н.А. Свирень. – Кировоград : "КОД", 2009. – 256 с.
7. Аванесов Ю.Б. Свеклоуборочные машины / Ю.Б. Аванесов, В.И. Бессарабов, И.И. Русанов. – М., 1979. – 351 с.