

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТРАНСПОРТНО-ОЧИСНИХ СИСТЕМ ВОРОХУ КОРЕНЕПЛОДІВ

Марія Паньків, к. т. н., Микола Підгурський, д. т. н.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
вул. Руська, 56, Тернопіль, Україна,
e-mail: pankiv@tntu.edu.ua

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2020.24.045>

Паньків М., Підгурський М. Результати експериментальних досліджень транспортно-очисних систем вороху коренеплодів

Підвищення ефективності технологічних процесів збирання коренеплодів досягають забезпеченням інтегрованого наукового підходу до розв'язання конструктивно-технічних задач, які спрямовано на вдосконалення транспортно-очисних систем коренезбиральних машин за умови дотримання вихідних вимог до показників якості їх роботи. У статті наведено опис конструкції та принцип роботи транспортно-очисної системи вороху коренеплодів, яка складається з послідовно встановлених похилого завантажувального транспортера, очисної пальчикової гірки та розміщеної у її нижньому сході системи шнеків двох конструкцій – еліптичних і шнеків круглого перерізу. Над шнеками встановлено привідний вал з пружними очисними елементами, які набрано з пучків ворсу. За результатами реалізації польових планованих факторних експериментів отримано рівняння регресії, які характеризують зміну складових компонентів вороху коренеплодів залежно від конструктивно-кінематичних параметрів транспортно-очисної системи та умов роботи коренезбиральної машини: швидкості руху коренезбиральної машини; частоти обертання шнеків; частоти обертання пружних очисних елементів; вологості ґрунту. Встановлено, що мінімальні значення показників якості роботи (загальних домішок – від 5 % до 7 %, налиплого ґрунту на коренеплодах – від 0,5 % до 1,0 %, пошкоджень коренеплодів – від 7 % до 10 %) досягаються за таких основних параметрів транспортної очисної системи: діаметр шнека 0,25 м; частота обертання шнека від 140 об./хв до 180 об./хв; частота обертання пружних елементів від 500 об./хв до 700 об./хв за швидкості руху коренезбиральної машини 5...7 км/год та вологості ґрунту 19...21 %.

Ключові слова: завантажувальний транспортер; очисна гірка, система шнеків; ворох коренеплодів, домішки, пошкодження.

Pankiv M., Pidhurskyi M. Results of the experimental research on the transport and cleaning systems of root head

The efficiency of the technological processes of root harvesting is improved by providing an integrated scientific approach to solving structural and technical problems, aimed at improving transport and cleaning systems of root harvesting machines under following the initial requirements for quality indicators. The article provides description of the construction and the principle of operation of the transport-cleaning system of root crops, which consists of sequentially installed inclined loading conveyor, cleaning finger slide and located in its lower east system of augers of two structures – elliptical augers and augers of round cross-section. According to the results of the planned field factorial experiments, regression equations were obtained. They characterize the change of components of the heap of root crops depending on the structural and kinematic parameters of the transport and cleaning system and the operating conditions of the root harvesting machine. It is established that the minimum values of the quality of work (total impurities – from 5 % to 7 %, sticky soil on roots – from 0.5 % to 1.0 %, damage to roots – from 7 % to 10 %) is achieved by the following basic parameters of transport cleaning system: screw diameter 0.25 m, screw speed from 140 rpm to 180 rpm, rotational speed of elastic elements from 500 rpm to 700 rpm at the speed of the root harvester 5...7 km/h and soil moisture 19...21 %.

Key words: loading conveyor, cleaning slide, auger system, heap of roots, impurities, damage.

Постановка проблеми. Розробка та впровадження у виробництво високоефективних технологічних процесів збирання коренеплодів можливе на основі інтегрованого наукового підходу до вирішення актуальних проблем подальшого підвищення показників якості роботи коренезбиральних машин. Вирішення наукової проблеми досягають інтенсифікацією процесів відокремлення вільних і «зв'язаних» компонентів домішок від коренеплодів [2; 4], яка забезпечується та реалізується внаслідок системного підходу до

вдосконалення конструктивних особливостей робочих органів і ефективного моделювання та побудови їх компонувальних схем, що утворюють модуль транспортно-очисної системи (ТОС) сучасних самохідних бункерних машин для збирання коренеплодів цукрових і кормових буряків [9; 11].

У цьому аспекті надмірна кількість домішок у зібраних коренеплодах як цукрових, так і кормових буряків (понад 8...10 %) характеризує незадовільну якість сировини для подальшої її

переробки, а надмірна кількість пошкодження коренеплодів (більше ніж 10...15 %) і втрат коренеплодів (понад 1,5 %) характеризує втрати масової кількості сировини для переробки, що в обох випадках знижує показники якості та кількість отриманої продукції з переробленої сировини [14].

Основою для подальшого розвитку загальної концепції побудови раціональних обрисів сучасних самохідних коренезбиральних машин є аналіз світового досвіду поетапного математичного моделювання технологічних процесів функціонування основних робочих органів ТОС: викопування коренеплодів, очищення їх від домішок і завантаження чистих коренеплодів у бункер [3; 7].

Ворох коренеплодів, який викопується копачами коренезбиральних машин з навколоплідного ґрунтового середовища, є багатокомпонентним, де кожен компонент має відмінний і нестабільний структурований характер. Коливання середньої кількості коренеплодів і загальних домішок у викопаному воросі, яке залежить від мінливої зміни багатьох природно-кліматичних і агробіологічних факторів, відбувається в значному діапазоні: коренеплодів – від 65 % до 75 %; загальних домішок – від 25 % до 35 % [8; 16]. Домішки, які є ґрунтового та рослинного походження, у викопаному воросі перебувають відносно коренеплодів у вільному та «зв'язаному» станах: вільні ґрунтові домішки (сипкий ґрунт від 9 % до 12 %, грудки ґрунту – від 4 % до 7 % діаметром від 20 мм до 100 мм і вологістю від 13 % до 28 %) та вільні рослинні домішки (втрачена гичка, бур'яни – від 4,5 % до 6,5 %); «зв'язані» ґрунтові домішки (налиплий ґрунт на коренеплодах від 2,5 % до 3,5 %) та рослинні домішки (залишки гички на головках коренеплодів від 5 % до 7 %) [15; 21].

Для очищення коренеплодів від домішок застосовують різні види кінематичної та динамічної взаємодії робочих поверхонь очисників з конкретизованими компонентами домішок, які мають різні фізико-механічні властивості й характеристики [10; 19].

Для інтенсифікації процесу відокремлення домішок від коренеплодів або підвищення показників якості роботи коренезбиральних машин розроблено вдосконалену ТОС вороху коренеплодів (рис. 1), яка забезпечує підвищення інтенсивності та ефективності відокремлення рослинних і ґрунтових домішок від коренеплодів. Опис конструкції та принцип роботи вдосконаленої ТОС вороху коренеплодів наведено у працях [11; 21].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Мета дослідження – розробка методів і методології оптимізації раціональних конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів ТОС вороху коренеплодів на основі порівняльного аналізу показників якості їх роботи в польових умовах.

Результати аналітичних досліджень технологічного процесу збирання коренеплодів, які наведено в працях [1; 5; 6; 12; 13; 18; 20], характеризують теоретичні аспекти технологічних операцій збирання коренеплодів.

Експериментальні дослідження показників якості роботи очисників вороху коренеплодів подано у наукових працях [6; 10; 15; 17], де охарактеризовано отримані результати функціонування окремих конкретизованих робочих органів для відокремлення домішок від коренеплодів у лабораторних умовах.

Розроблені аналітичні та емпіричні математичні моделі описують загальні процеси сепарації сипкого ґрунту, відокремлення вільних і «зв'язаних» рослинних домішок від коренеплодів та їх показники.

Відсутність узагальнених конкретизованих регресійних моделей процесу функціонування складних ТОС у контексті дослідження їхніх показників якості роботи зумовило проведення подальших польових експериментальних досліджень двох варіантів конструктивного виконання робочих органів ТОС в умовах виробництва.

Постановка завдання. Завдання дослідження – визначити основні показники якості роботи двох конструкцій ТОС вороху коренеплодів у складі коренезбиральної машини в польових умовах і провести їх порівняльний аналіз на основі зіставлення отриманих результатів експериментальних досліджень.

Виклад основного матеріалу. Методика експериментальних досліджень. Для проведення польових експериментальних досліджень з визначення характеру зміни показників якості роботи ТОС було вдосконалено очисну систему експериментальної установки (коренезбиральної машини), конструктивна схема та загальний вигляд якої наведено на рис. 2, а загальний вигляд ТОС – на рис. 3.

Для визначення функціональної залежності, яка характеризує зміну показників якості роботи загальних домішок $ЗД_k$ (шнеки круглого перерізу) та $ЗД_e$ (еліпсні шнеки), маси налиплиго ґрунту $НГ_k$ (шнеки круглого перерізу) та $НГ_e$ (еліпсні

шнеки), пошкодження коренеплодів $ПК_k$ (шнеки круглого перерізу) та $ПК_e$ (еліпсні шнеки) залежно від зміни конструктивно-кінематичних параметрів ТОС і умов роботи коренезбиральної машини, провели планований чотирифакторний експеримент на трьох рівнях варіювання факторами.

Для реалізації польових експериментів і з метою зменшення їхньої кількості вибирали неси-

метричну план-матрицю Бокса-Бенкіна для чотирьох факторів і триразової повторності кожного пронумерованого експерименту. Кількість експериментів однієї повторності дорівнювала 27. Польові експерименти провели в триразовій повторності під час збирання кормових буряків напівгібридного сорту Київський за середньої урожайності 270 ц/га.

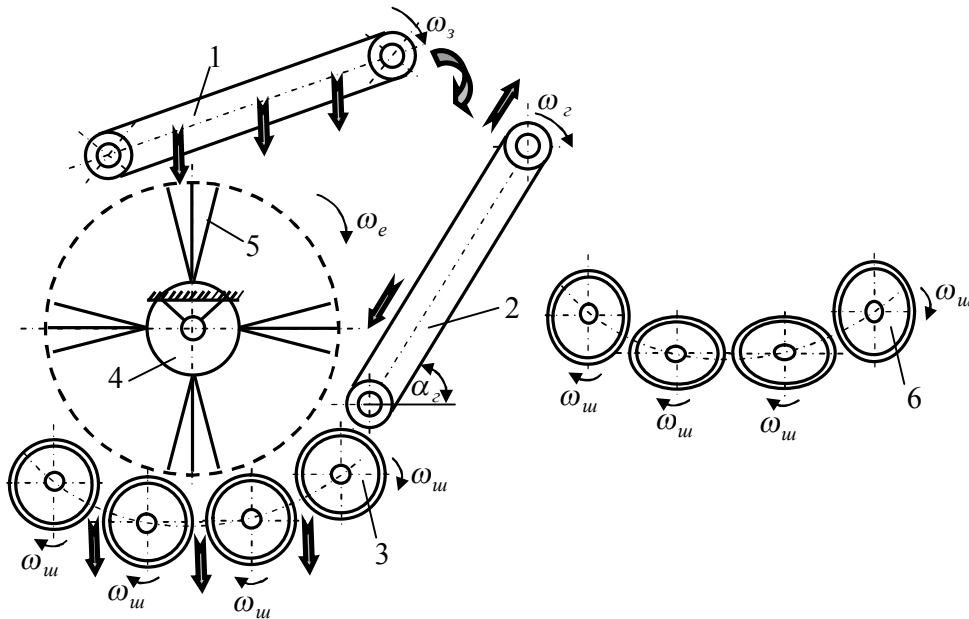


Рис. 1. Конструктивна та функціональна схеми технологічного процесу роботи ТОС: а – ТОС зі системами шнеків круглого перерізу; б – система еліптичних шнеків; 1 – завантажувальний транспортер; 2 – пальчикова гірка; 3 – шнек круглого перерізу; 4 – очисний вал; 5 – пружний елемент; 6 – еліптичний шнек

Fig. 1. Structural and functional scheme of the technological process of the transport and cleaning system (TCS): а – TCS with systems of augers of round cross section; б – system of elliptical augers; 1 – loading conveyor; 2 – finger slide; 3 – screw of round section; 4 – cleaning shaft; 5 – elastic element; 6 – elliptical auger

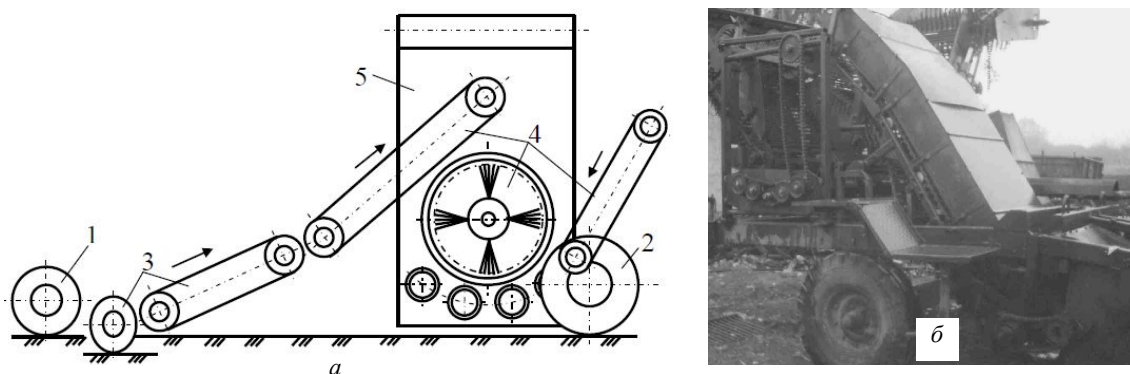


Рис. 2. Конструктивна схема (а) та загальний вигляд (б) модернізованої коренезбиральної машини: 1, 2 – копіювальне та опорне колесо; 3 – однодисковий сферичний копач з приймальним транспортером; 4 – ТОС; 5 – завантажувальний транспортер

Fig. 2. Structural scheme (а) and general view (б) of the modernized root harvesting machine: 1, 2 – copying and support wheel; 3 – single-disc spherical digger with a receiving conveyor; 4 – TCS; 5 – loading conveyor

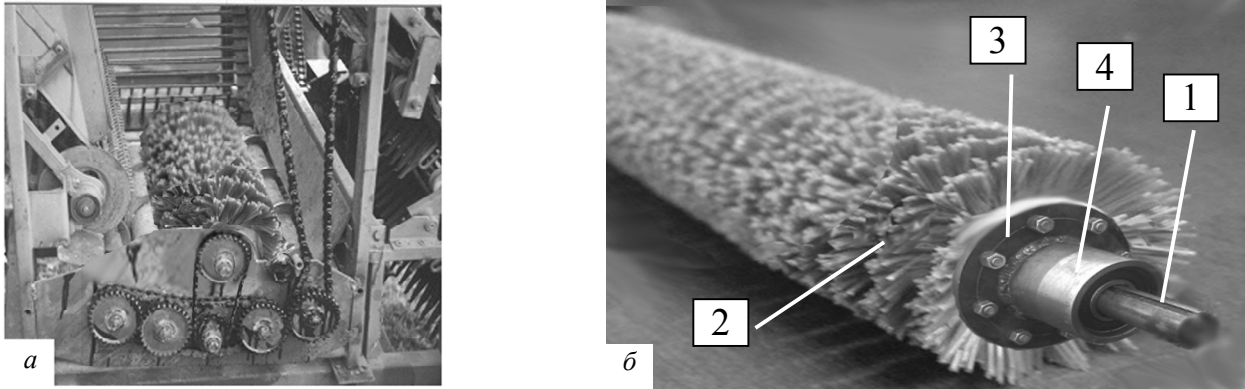


Рис. 3. Загальний вигляд: а – ТОС; б – привідного вала з очисними пружними елементами;

1 – вал; 2 – пружні елементи; 3 – ступиця; 4 – стакан

Fig. 3. General view: a – TCS; b – drive shaft with cleaning elastic elements;
1 – shaft; 2 – elastic elements; 3 – hub; 4 – glass

Довжина гону залікової ділянки становила 15 м, ширина захвату чотирирядної машини – 1,8 м. Діаметр, крок, зазор між валами та кількість шнеків становили відповідно 0,35 м, 0,2 м, 0,045 м та 4 шт.; діаметр очисного вала та пружного елемента – 0,85 м та 0,04 м; крок гвинтової лінії пучків ворсу – 0,1 м; кількість пружних елементів в одному пучку – 6 шт.

Кількість загальних домішок $ЗД_i$, маси налиплого ґрунту $НГ_i$ на коренеплодах, пошкодження коренеплодів $ПК_i$ у відсотках (%) визначали відносно маси коренеплодів одного досліджу за формулами: $ЗД_i = (M_{з0} / M_k) 100 \%$, $НГ_i = (M_{не} / M_k) 100 \%$, $ПК_i = (M_{пк} / M_k) 100 \%$, де $M_{з0}$, $M_{не}$, $M_{пк}$ – відповідно маса загальних домішок, налиплого ґрунту, пошкоджених коренеплодів кг; M_k – маса зібраних коренеплодів після їх викопування коренезбиральною машиною з однієї залікової ділянки поля, кг.

Налиплий ґрунт із поверхні тіла викопаних коренеплодів очищували вручну та зважували на вазі з точністю ± 10 г, а масу загальних домішок і коренеплодів – з точністю $\pm 0,1$ кг.

Функцію для проведення апроксимації експериментального масиву даних загальних домішок, маси налиплого ґрунту, пошкодження коренеплодів, які записано у вигляді функціональної залежності відповідно $ЗД_i = f_{ЗД}(V_M; n_{ш}; n_e; w_p)$, $НГ_i = f_{НГ}(V_M; n_{ш}; n_e; w_p)$, $ПК_i = f_{ПК}(V_M; n_{ш}; n_e; w_p)$, знаходили за допомогою перебору відомих

алгебраїчних функцій. При цьому вигляд функції визначали за найбільшим значенням коефіцієнта числової детермінації D_i відповідної алгебраїчної залежності.

Невідомі коефіцієнти рівняння регресії функціональної залежності $ЗД_i = f_{ЗД}(V_M; n_{ш}; n_e; w_p)$, $НГ_i = f_{НГ}(V_M; n_{ш}; n_e; w_p)$, $ПК_i = f_{ПК}(V_M; n_{ш}; n_e; w_p)$ визначали за допомогою пакета прикладної комп'ютерної програми Статистика 10. Адекватність моделі та значущість коефіцієнтів рівняння регресії встановлювали за F -критерієм Фішера та t -критерієм Стьюдента.

За результатами статистичного аналізу було встановлено, що найбільше значення коефіцієнта числової детермінації для всіх досліджуваних функцій відповідає функціональній залежності, або математичній моделі у вигляді повного полінома другого степеня.

Експериментальні результати та їх аналіз. Після перевірки значущості коефіцієнтів рівняння регресії та адекватності моделі отримали кінцеві емпіричні рівняння регресії, які характеризують функціональну залежність зміни загальних домішок $ЗД_k$ (шнеки круглого перерізу) та $ЗД_e$ (еліпсні шнеки), маси налиплого ґрунту $НГ_k$ (шнеки круглого перерізу) та $НГ_e$ (еліпсні шнеки), пошкодження коренеплодів $ПК_k$ (шнеки круглого перерізу) та $ПК_e$ (еліпсні шнеки) від натуральних факторів:

$$3D_k = 220,4 - 15,8V_M - 0,32n_u - 0,014n_e - 12,5w_p + 0,01V_M n_u + 0,003V_M n_e + \\ + 0,57V_M w_p + 0,3 \cdot 10^{-4} n_u n_e - 0,06V_M^2 + 0,67 \cdot 10^{-3} n_u^2 - 0,74 \cdot 10^{-5} n_e^2 + 0,21w_p^2 ; \quad (1)$$

$$3D_e = 217,6 - 15,5V_M - 0,32n_u - 0,97 \cdot 10^{-2} n_e - 12,45w_p + 0,01V_M n_u + 0,0029V_M n_e + \\ + 0,57V_M w_p + 0,27 \cdot 10^{-4} n_u n_e - 0,07V_M^2 + 0,65 \cdot 10^{-3} n_u^2 - 0,9 \cdot 10^{-5} n_e^2 + 0,21w_p^2 ; \quad (2)$$

$$HG_k = 14,84 + 1,36V_M - 0,13 \cdot 10^{-2} n_u - 1,27 \cdot 10^{-3} n_e - 1,55w_p - \\ - 0,25 \cdot 10^{-2} V_M n_u - 3,47 \cdot 10^{-4} V_M n_e - 0,036V_M w_p - 2,48 \cdot 10^{-6} n_u n_e - ; \quad (3) \\ - 0,45 \cdot 10^{-2} V_M^2 + 0,5 \cdot 10^{-4} n_u^2 + 0,27 \cdot 10^{-5} n_e^2 + 0,04w_p^2$$

$$HG_e = 12,38 + 1,49V_M + 0,017n_u + 3,51 \cdot 10^{-3} n_e - 1,58w_p - \\ - 2,59 \cdot 10^{-3} V_M n_u - 3,9 \cdot 10^{-4} V_M n_e - 0,038V_M w_p - 1,75 \cdot 10^{-5} n_u n_e - ; \quad (4) \\ - 0,69 \cdot 10^{-2} V_M^2 + 0,16 \cdot 10^{-4} n_u^2 + 0,2 \cdot 10^{-6} n_e^2 + 0,04w_p^2$$

$$PK_k = 126,1 - 13,6V_M - 0,14n_u - 0,033n_e - 5,4w_p + 0,01V_M n_u + \\ + 0,5 \cdot 10^{-2} V_M n_e + 0,38V_M w_p + 0,45 \cdot 10^{-7} n_u n_e + 0,16 \cdot 10^{-2} n_u w_p + ; \quad (5) \\ + 0,075V_M^2 + 0,2 \cdot 10^{-3} n_u^2 + 0,35 \cdot 10^{-5} n_e^2 + 0,06w_p^2$$

$$PK_e = 166,7 - 17,3V_M - 0,31n_u - 0,052n_e - 6,4w_p + 0,04V_M n_u + \\ + 0,5 \cdot 10^{-2} V_M n_e + 0,3V_M w_p + 0,78 \cdot 10^{-7} n_u n_e + 0,19 \cdot 10^{-2} n_u w_p + , \quad (6) \\ + 0,15V_M^2 + 0,19 \cdot 10^{-3} n_u^2 + 0,19 \cdot 10^{-4} n_e^2 + 0,09w_p^2$$

де V_M – швидкість руху коренезбиральної машини (5...7 км/год); n_u – частота обертання шнека (100...200 об./хв); n_e – частота обертання пружних елементів (300...700 об./хв); w_p – вологість ґрунту (18...26 %).

Аналіз рівнянь регресії (1)–(4) показує, що вплив взаємодії факторів $n_u w_p$ і $n_e w_p$ є несуттєвим на апроксимовані значення зміни загальних домішок $3D_i$ і маси налиплого ґрунту HG_i на коренеплодах як для шнеків круглого перерізу, так і для еліптичних шнеків. Для рівнянь регресії (5), (6) є несуттєвими тільки вплив взаємодії факторів $n_e w_p$. Тому коефіцієнти рівнянь регресії (1)–(4) при взаємодії факторів $n_u w_p$ і $n_e w_p$ та коефіцієнти рівнянь регресії (5), (6) при взаємодії факторів $n_e w_p$ після перевірки їх значущості за t -критерієм Стьюдента були не враховані або знехтувані.

Згідно з рівняннями регресії (1)–(6) побудовано поверхню відгуку зміни показників якості роботи конструкції ТОС зі шнеками круглого перерізу та еліптичними шнеками від частоти обертання шнека n_u й частоти обертання пружних елементів n_e : загальних домішок як функція $3D_k = f_{3D}(n_u; n_e)$ і $3D_e = f_{3D}(n_u; n_e)$ (рис. 4, а, б); налиплого ґрунту на коренеплодах як функція

$HG_k = f_{HG}(n_u; n_e)$ і $HG_e = f_{HG}(n_u; n_e)$ (рис. 4, в, г); пошкодження коренеплодів як функція $PK_k = f_{PK}(n_u; n_e)$ і $PK_e = f_{PK}(n_u; n_e)$ (рис. 5, а, б).

Обґрунтування параметрів робочих органів ТОС проведено з умови мінімізації значення показників якості роботи під час збирання коренеплодів. Але при цьому також необхідно знаходити компроміс між ступенем загальних домішок і відокремлення налиплого ґрунту з коренеплодів та ступенем пошкодження коренеплодів шнеками круглого перерізу та еліптичними шнеками.

Загалом було встановлено, що ТОС з еліптичними шнеками забезпечує зменшення загальних домішок порівняно зі шнеками круглого перерізу в середньому на 1,5...2,5 % за рахунок інтенсифікації процесу просіювання вільних домішок через зазори між валами шнеків. Але при цьому відбувається збільшення пошкодження коренеплодів у середньому на 4,5...6,5 %.

На основі аналізу отриманих результатів апроксимованих значень показників якості роботи ТОС згідно з емпіричними моделями (1)–(6) та

графічною інтерпретацією результатів зміни параметрів оптимізації з урахуванням впливу всіх діючих факторів було встановлено, що мінімум функції, або мінімальні значення загальних домішок $ЗД_k \leq 7\%$ (шнеки круглого перерізу), $ЗД_e \leq 6\%$ (еліпсні шнеки), маси налиплого ґрунту $НГ_k \leq 1\%$ (шнеки круглого перерізу), $НГ_e \leq 1\%$ (еліпсні шнеки) та пошкодження коренеплодів $ПК_k \leq 10\%$ (шнеки круглого перерізу), $ПК_e \leq 12\%$ (еліпсні шнеки), отримано за таких компромісних значень вхідних факторів:

- для шнеків круглого перерізу: частоти обертання шнеків 150...160 об./хв; частоти обертання пружних елементів 500...600 об./хв; вологості ґрунту 19...21 %; швидкості руху коренезбиральної машини 5...6 км/год;

- для еліпсних шнеків: частоти обертання шнеків 120...160 об./хв; частоти обертання пружних елементів 500...600 об./хв; вологості ґрунту 19...22 %; швидкості руху коренезбиральної машини 5...7 км/год.

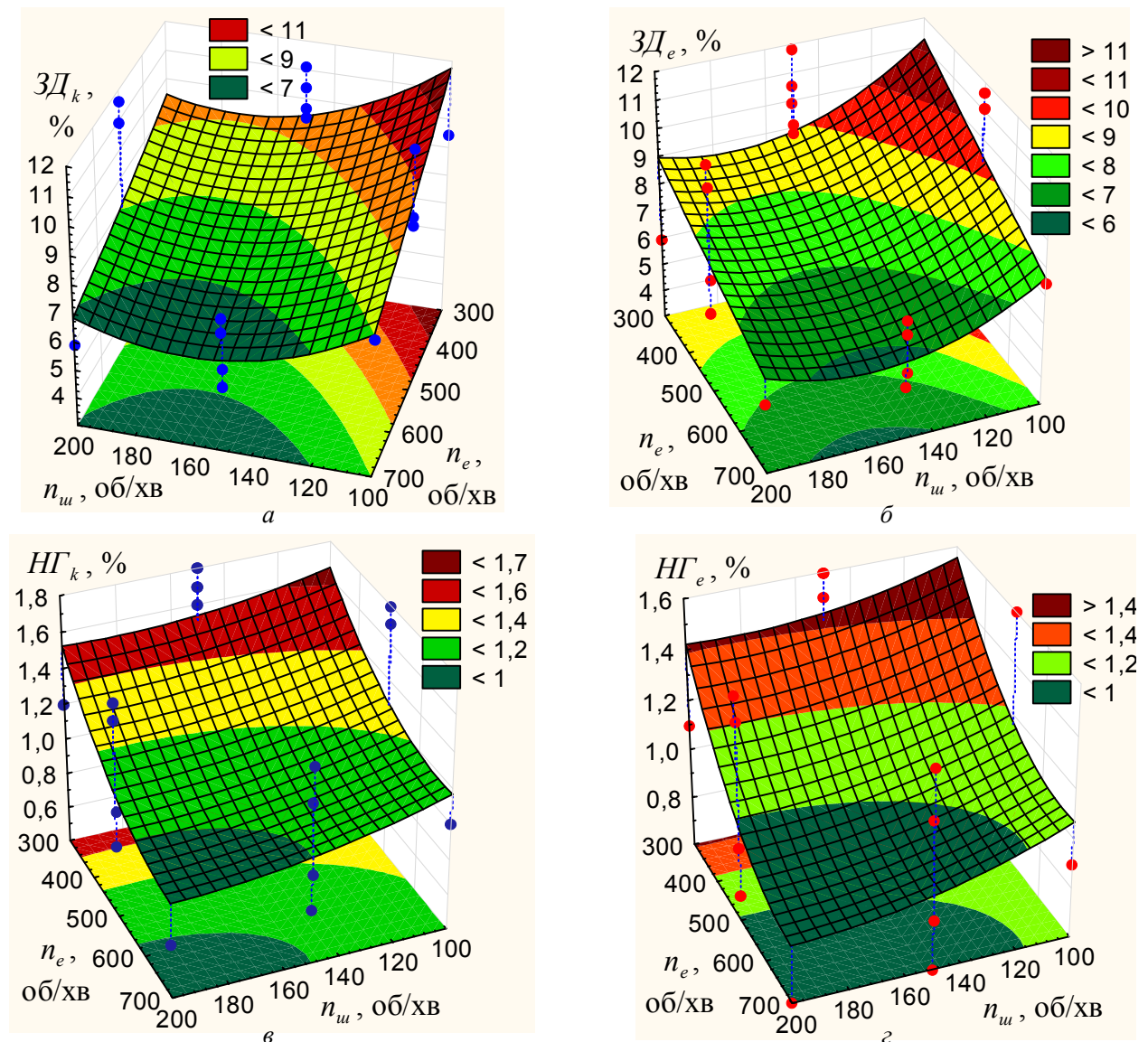


Рис. 4. Поверхня відгуку функціональної зміни показників якості роботи ТОС: а, в – шнеки круглого перерізу; б, з – еліпсні шнеки; а, б – загальних домішок; в, з – налиплого ґрунту на коренеплодах
Fig. 4. The response surface of the functional change of quality indicators of TCS: а, в – screws of round cross section; б, з – elliptical augers; а, б – total impurities; в, з – sticky soil on roots

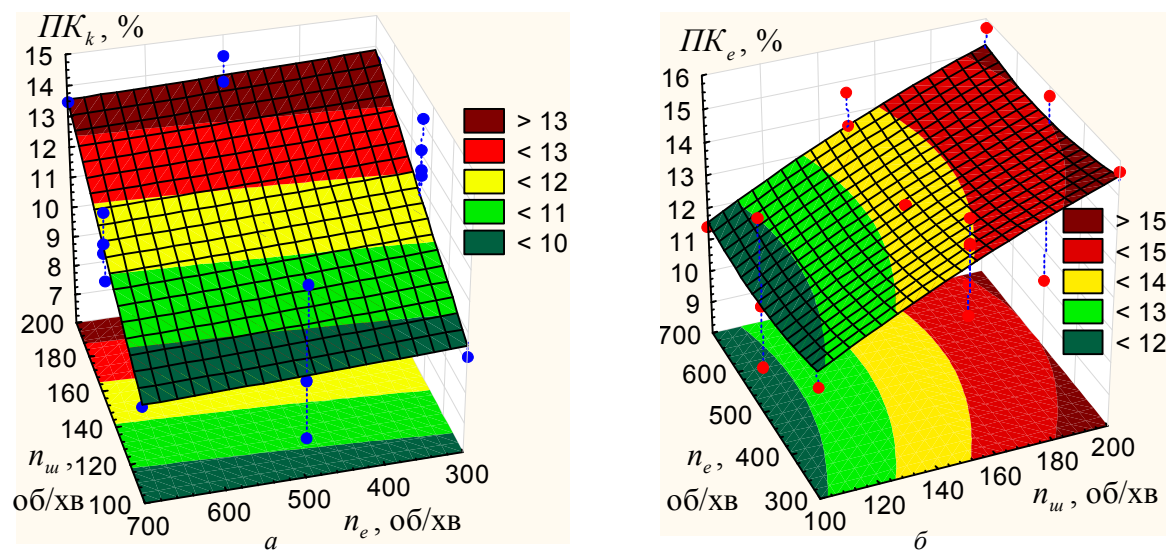


Рис. 5. Поверхня відгуку функціональної зміни пошкодження коренеплодів ТОС:

a – шнеки круглого перерізу; *б* – еліпсні шнеки

Fig. 5. Response surface of the functional change of damage of root crops of TCS:

a – screws of round section; *b* – elliptical augers

Висновки

1. Отримані рівняння регресії в натуральних величинах або емпіричні моделі (1)–(6) функціонально описують зміну основних показників якості роботи ТОС під час збирання коренеплодів кормових буряків залежно від зміни її основних конструктивно-кінематичних параметрів.

2. За результатами дослідження обґрунтовано основні раціональні параметри робочих органів ТОС за швидкості руху коренезбиральної машини в межах 5...6 км/год і вологості ґрунту 20...21%: частота обертання шнеків круглого перерізу та еліптичних шнеків відповідно 160 об./хв та 120 об./хв; частота обертання пружних елементів – від 500 до 600 об./хв.

Бібліографічний список

1. Барановський В. М., Соломка В. О., Онищенко В. Б. Вибір параметрів при конструюванні гвинтового конвеєра. *Вісник ХДТУСГ*. 2001. Т. 8(2). С. 209–215.
2. Барановський В. М. Конструктивно-технологічні принципи адаптації транспортно-очисного комбінованого робочого органу коренезбиральних машин. *Сільськогосподарські машини*. 2005. Вип. 13. С. 18–24.
3. Барановський В. М. Конструктивно-технологічні принципи застосування адаптивного викопувального робочого органу коренезбиральних машин. *Науковий вісник НАУ*. 2005. № 73(1). С. 249–255.
4. Барановський В. М., Паньків М. Р., Дубчак Н. А. Очисна система вороху коренеплодів. *Механізація сільськогосподарського виробництва*. 2007. № 1(59). С. 33–36.

5. Барановський В. М., Дубчак Н. А., Онищенко В. Б., Паньків М. Р. Математичні моделі маси налиплого ґрунту на коренеплодах кормових буряків. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2008. № 12(2). С. 314–326.

6. Барановський В. М. Результати теоретично-експериментальних досліджень секундної подачі вороху коренеплодів. *Механізація сільськогосподарського виробництва*. 2008. № 1. С. 111–120.

7. Барановський В. М., Рамш В. Ю. Оптимізаційні математичні моделі процесу викопування вороху коренеплодів пасивним сферичним диском. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2008. № 12(2). С. 337–349.

8. Барановський В. М., Герасимчук Г. А. Критерії оцінки технологічної ефективності процесу викопування коренеплодів. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2009. № 14. С. 163–168.

9. Барановський В. М. Транспортно-технологічні системи очисних робочих органів адаптованої коренезбиральної машини. *Сільськогосподарські машини*. 2013. Вип. 24. С. 18–29.

10. Барановський В. М., Паньків М. Р., Теслиук В. В., Онищенко В. Б. Результати експериментальних досліджень коефіцієнта проходження коренеплодів. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2017. № 21. С. 58–69.

11. Барановський В., Паньків М., Підгурський М. Технологічні аспекти розробки модулів транспортно-технологічних систем коренезбиральних машин. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2018. № 22. С. 65–76.

12. Гурченко О. П., Барановський В. М. Результати випробування модернізованої коренезбиральної машини МКК-6А. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 1995. № 81. С. 57–60.
13. Погорельий Л. В., Татьянко М. В. Свеклоборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз. Киев: Феникс, 2004. 237 с.
14. Рамш В. Ю., Барановський В. М., Паньків М. Р., Герасимчук Г. А. Аналіз тенденцій розвитку робочих органів для сепарації вороху коренеплодів. *Наукові нотатки*. 2011. Вип. 31. С. 298–305.
15. Baranovsky V., Pankiv M., Dubchak N. Experimental research of stripping the leaves from root crops. *Acta Technologica Agriculturae*. 2017. Vol. 20, No. 3. P. 69–73.
16. Baranovsky V. M., Potapenko M. V. Theoretical analysis of the technological feed of lifted root crops. *INMATEH: Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 5, No. 1(1). P. 29–38.
17. Baranovsky V., Truchanska O., Pankiv M., Bandura V. Research of a contact impact of a root crop with a screw auger. *Research in Agricultural Engineering*. 2020. Vol. 66. P. 33–42.
18. Hevko R. B., Tkachenko R. I., Synii S. V., Flonts I. V. Development of design and investigation of operation processes of small-scale root crop and potato harvesters. *INMATEH: Agricultural engineering*. 2016. Vol. 49, No. 2. P. 53–60.
19. Hevko R., Brukhanskyi R., Flonts I., Synii S., Klendii O. Advances in methods of cleaning root crops. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II*. 2018. Vol. 11(60), No. 1. P. 127–138.
20. Hevko R. B., Tkachenko I. G., Rogatynskyi R. M. et al. Impact of parameters of an after-cleaning conveyor of a root crop harvester on its performance. *INMATEH: Agricultural engineering*. 2019. Vol. 59, No. 3. P. 41–48.
21. Pankiv M. R. Mathematical model of the process of interaction of cleaning elements with the biggest soil on roots. *Innovative solutions in modern science*. 2019. Vol. 9, No. 36. P. 50–60.

Стаття надійшла 07.10.2020