

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АГРОБІОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРЕНЕПЛОДІВ

Віктор Барановський¹, д. т. н., Галина Герасимчук², к. т. н.,
Наталія Дубчак³, к. т. н., Євген Береженко¹, аспірант,
Володимир Бойко¹, аспірант

¹ Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
вул. Руська, 56, м. Тернопіль, Україна,
e-mail: baranovskiyv@ukr.net

² Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, м. Луцьк, Україна,
e-mail: exmeua@ukr.net

³ Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
«Бережанський агротехнічний інститут»,
вул. Академічна, 20, м. Бережани, Україна,
e-mail: dybchak1010@ukr.net

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2020.24.013>

Барановський В., Герасимчук Г., Дубчак Н., Береженко Є., Бойко В. Експериментальні дослідження агробіологічних характеристик коренеплодів

Ефективність зрізування гички, викопування та очищення коренеплодів від домішок залежить не тільки від конструкції та параметрів робочих органів коренезбиральної машини, а й від агробіологічних і фізико-механічних характеристик коренеплодів у період їх збирання. Вибір конструкції робочих органів і налаштування параметрів та режимів роботи основних робочих технологічних модулів або модуля для зрізування гички, викопувальних і очисних модулів самохідних коренезбиральних комбайнів регламентовані розмірними параметрами та формою коренеплодів і фізико-механічним станом навколоплідного ґрунтового середовища. Метою роботи є подальше вдосконалення методів і методики оптимізації конструктивно-кінематичних параметрів і режимів роботи робочих органів транспортно-технологічних систем і модулів коренезбиральних машин. У статті наведено результати польових експериментальних досліджень маси та товщини шару налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів кормових, цукрових, столових буряків, моркви та коренеплодів цикорію залежно від їхніх агробіологічних характеристик (діаметра коренеплодів, довжини коренеплодів, глибини залягання коренеплоду в ґрунтовому середовищі) і фізичного стану ґрунту (вологості ґрунту). Викопування коренеплодів відбувалося робочими органами комбінованого копача, який складався з одностороннього сферичного диска, привідного вала з очисними елементами, розрихлювального пристрою. Встановлено, що маса налиплого ґрунту змінюється в межах 10...210 г для кормових буряків, 50...250 г для цукрових буряків, до 90 г для столових буряків, до 70 г для моркви, 20...360 г для коренеплодів цикорію.

Ключові слова: кормові, цукрові, столові буряки, морква, цикорій, маса налиплого ґрунту, товщина шару ґрунту, вологість ґрунту.

Baranovskyi V., Herasymchuk H., Dubchak N., Berezenko Ye., Boiko V. Results of the experimental research of agrobiological characteristics of root crops

The efficiency of cutting the bud, digging and cleaning of roots from impurities depends not only on the design and parameters of working bodies of the root harvesting machine, but also on the agrobiological and physico-mechanical characteristics of roots during harvesting. The choice of design of the working bodies and adjustment of parameters and modes of operation of the main working technological modules, or the module for cutting of a hyphen, digging and clearing modules of self-propelled root harvesters are regulated by dimensional parameters and the form of root crops and physical and mechanical condition of amniotic soil environment. The purpose of the work is to make further improvement of the methods and techniques of optimization of the structural and kinematic parameters and modes of operation of the working bodies of transport and technological systems and modules of root harvesting machines. The article presents results of the field experimental studies of the mass and thickness of the layer of sticky soil on the body surface of dug fodder roots, sugar, table beets, carrots and chicory roots depending on their agrobiological characteristics (root diameter, root length, root depth and physical root environment soil condition (soil moisture)). The roots were dug by the working bodies of the combined digger, which consisted of a one-sided spherical disk, a drive shaft with cleaning elements, and a loosening device. It is established that the mass of sticky soil varies from 10... 210 g for fodder beets, 50... 250 g for sugar beets, up to 90 g for table beets, up to 70 g for carrots, 20... 360 g for chicory roots.

Key words: fodder, sugar, table beets, carrot, chicory, mass of sticky soil, the thickness of the soil layer, soil moisture.

Постановка проблеми. Агробіологічні (розмірно-масові) та фізико-механічні властивості різних видів культур коренеплодів (кормових, цукрових, столових буряків, моркви, коренеплодів цикорію) під час їх збирання мають значний вплив на технологічний процес роботи машин та випадковий характер і коливаються в певних межах [3; 7; 11; 16; 21].

Наявність такої випадковості процесу, який характеризує стан об'єкта збирання, вносить суттєві корективи у розв'язання наукових задач оптимізації параметрів робочих органів базових викопувальних і очисних модулів сучасних адаптованих коренезбиральних машин [8; 10; 14].

Проблеми аналізу та синтезу робочих органів для викопування та очищення коренеплодів від домішок, а особливо очищення коренеплодів від налиплого ґрунту на їхніх поверхнях, потребують передусім наявності наукової уяви про кількісні (масові) характеристики налиплого ґрунту на етапі викопування коренеплодів залежно від вологості та щільності ґрунту, розмірних характеристик коренеплодів і їх залягання в ґрунті [17–19], або загалом – від наявного стану навколоплідного ґрунтового середовища.

Розроблення оптимальних типів і обґрунтування раціональних конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів, структурної побудови та послідовності їх конструктивного розміщення у технологічно-компонувальних схемах базових модулів адаптованих самохідних коренезбиральних машин повинні виконуватися на основі аналітичного та емпіричного моделювання вірогідних агробіологічних і фізико-механічних характеристик коренеплодів з урахуванням множини умов протікання технологічного процесу збирання різних культур і форм коренеплодів [15; 20; 22].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Мета дослідження – розробка методів і методології оптимізації раціональних конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів базових структурних модулів адаптованих самохідних коренезбиральних машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що в наукових працях [1; 2; 5] недостатньо описано та проаналізовано питання, які характеризують результати експериментальних досліджень маси та товщини шару налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів у початковий момент їх викопування. У працях наведено тільки узагальнені показники якості роботи машин для збирання коренеплодів. Результати теоретичних досліджень цієї наукової задачі наведено в працях [9; 12; 13], але перевірку адекватності розроблених моделей не проводили.

Постановка завдання.

Завданням нашого дослідження є емпіричне обґрунтування функціональної зміни маси й товщини шару налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів від їхніх розмірних характеристик і фізичного стану ґрунту на момент збирання коренеплодів.

Виклад основного матеріалу. Методика експериментальних досліджень.

У результаті проведення теоретичних досліджень [4; 6] одержано аналітичні залежності, які характеризують зміну прогнозування ймовірної маси m_{ep} та товщини шару налиплого ґрунту δ_{ep} на поверхні тіла коренеплодів у початковий момент їх викопування від розмірних характеристик коренеплодів і фізичного стану ґрунту:

$$m_{ep} = \frac{\pi \rho_{ep}}{k_w} \left[\frac{4}{3} \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right) \delta_{ep}^3 + 3L_k k_{H_1 L_k} \delta_{ep}^2 + L_k^2 k_{H_1 L_k}^2 \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right)^{-1} \delta_{ep} \right]; \quad (1)$$

$$\delta_{ep} = 0,25 \lambda^3 \sqrt[3]{\frac{1}{\varepsilon \sqrt{\lambda}} \left(\sqrt[3]{24_{ep} \lambda^2 - 9\eta^2 \varepsilon + 0,5 \sqrt{4\lambda^3 (9\eta^3 \varepsilon - 24m_{ep} \lambda^2)^2 - (5\eta^3)^3 \varepsilon^2} + \right.} \left. + \sqrt[3]{24m_{ep} \lambda^2 - 9\eta^2 \varepsilon - 0,5 \sqrt{4\lambda^3 (9\eta^3 \varepsilon - 24m_{ep} \lambda^2)^2 - (5\eta^3)^3 \varepsilon^2} \right) - \frac{3\eta}{4\lambda}}, \quad (2)$$

де ρ_{ep} – питома маса ґрунту, г/см³; L_k , D_k – довжина та діаметр головки коренеплоду, см; $k_{H_1 L_k}$ – коефіцієнт відношення глибини залягання коренеплоду в ґрунті до його довжини; k_w – коефіцієнт вологості ґрунту; $\lambda = (2L_k / D_k) - 1$; $\eta = L_k k_{H_1 L_k}$ – глибина залягання коренеплоду в ґрунті, см; $\varepsilon = \pi \rho_{ep} / k_w$.

Для підтвердження теоретичних закономірностей функціональної зміни маси й товщини шару налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів (1) і (2) провели польові експериментальні дослідження за зміни діапазону вологості ґрунту від 17 % до 25 %. Для проведення дослідження було використано експериментальні установки (рис. 1).

Перед початком кожного пронумерованого експерименту визначали вологість ґрунту залікової ділянки поля на глибині ходу копача. Досліди проводили в різні добові строки та у відмінних кліматичних умовах на різних полях. Урожайність коренеплодів залікової ділянки, ширина якої становила 2,7 м (6 рядків коренеплодів з міжряддями 0,45 м), а довжина 15 м, та висоту розташування коренеплодів відносно поверхні поля визначали за відомою методикою.

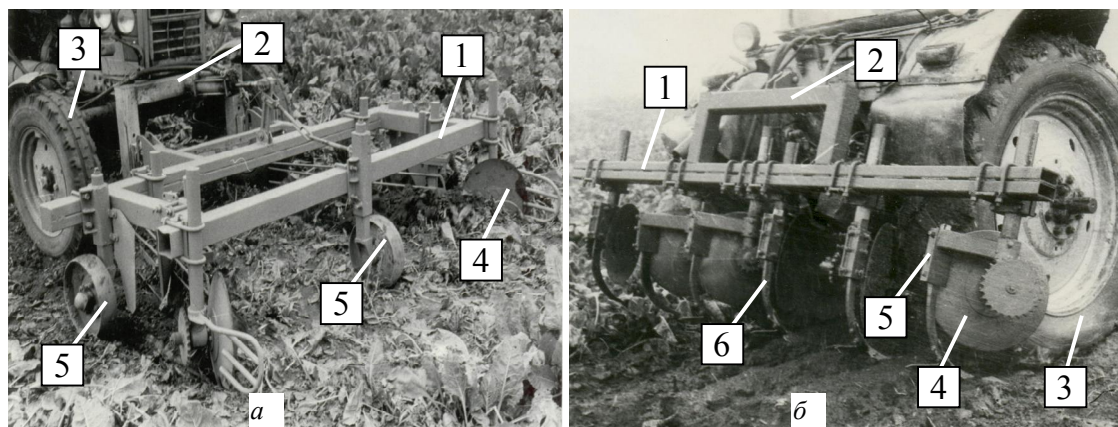


Рис. 1. Загальний вигляд агрегату:

- a* – для викопування коренеплодів цукрових, кормових і столових буряків:
 1 – рама; 2 – сниця; 3 – трактор; 4 – сферичний диск; 5 – опорне регульовальне колесо;
b – для викопування моркви та коренеплодів цикорію:
 1 – рама; 2 – сниця; 3 – трактор; 4 – сферичний диск; 5 – стояк; 6 – розрихлювач

Fig. 1. General view of the unit:

- a* – for digging sugar, fodder and table beets:
 1 – frame; 2 – tongue; 3 – tractor; 4 – spherical disk; 5 – support adjusting wheel;
b – for digging carrots and chicory roots: 1 – frame; 2 – tongue; 3 – tractor;
 4 – spherical disk; 5 – riser; 6 – ripper



Рис. 2. Загальний вигляд коренеплодів: *a* – столових буряків; *b* – моркви

Fig. 2. General appearance of roots: *a* – table beets; *b* – carrots

Таблиця. Характеристика та рівні варіювання фактору
Table. Characteristics and levels of the factor variation

Найменування та позначення фактору	Рівні варіювання (-1; 0; +1)
Діаметр головки коренеплоду D_k , см	Цукрові буряки: 8,0-12,0-16,0 Кормові буряки: 14,0-20,0-26,0 Столові буряки: 6,0-9,0-12,0 Морква: 3,0-5,0-7,0 Коренеплоди цикорію: 5,0-9,0-13,0
Коефіцієнт відношення k_{H,L_k}	Цукрові буряки, морква: 0,8-0,9-1,0 Кормові, столові буряки: 0,3-0,5-0,7 Коренеплоди цикорію: 0,7-0,8-0,9
Коефіцієнт вологості ґрунту k_W	Цукрові, кормові, столові буряки, морква, коренеплоди цикорію: 0,7-0,98-1,26

Гичку перед викопуванням коренеплодів зрізували гичкозбиральною машиною. Після викопування коренеплодів пристроєм, який утворював їх валок, залишки гички на деяких коренеплодах дорізували вручну. Налиплий ґрунт з поверхні тіла викопаних коренеплодів очищували вручну (див. рис. 2) і зважували з похибкою $\pm 1,0$ г. Після зчищення ґрунту з поверхні тіла кожного коренеплоду визначали діаметр його головки та загальну довжину коренеплоду з похибкою $\pm 0,1$ см.

Характеристика факторів та рівні їх варіювання наведені в таблиці.

Отримані числові дані кожного з експериментів заносили у стовпчики відповідної таблиці факторного експерименту, при цьому обробку експериментального масиву даних провели з використанням прикладної програми для ПК *Statistica 10*.

Параметр оптимізації, тобто $m_{ep,i}$ та $\delta_{ep,i}$, знаходили у вигляді математичної моделі повного квадратного полінома.

- для коренеплодів кормових буряків

$$\begin{cases} m_K = 40,47 + 4,45D_k + 203,6k_{H,L_k} - 176,5k_W + 5,5D_k k_{H,L_k} - 6,43D_k k_W - \\ - 120,5k_{H,L_k} k_W + 2,82D_k^2 - 0,08k_{H,L_k}^2 + 114,19k_W^2; \\ \delta_K = 1,91 - 0,04D_k - 1,29k_{H,L_k} - 2,25k_W + 0,003D_k k_{H,L_k} + 0,004D_k k_W + \\ + 0,24k_{H,L_k} k_W + 0,001D_k^2 + 1,22k_{H,L_k}^2 + 0,94k_W^2 \end{cases}; \quad (3)$$

- для коренеплодів цукрових буряків

$$\begin{cases} m_U = -137,76 + 27,74D_k - 29,55k_{H,L_k} + 57,9k_W + 1,79D_k k_{H,L_k} - 12,24D_k k_W - \\ - 611,82k_{H,L_k} k_W - 0,39D_k^2 + 479,71k_{H,L_k}^2 + 222,35k_W^2; \\ \delta_U = -1,69 + 0,024D_k + 3,2k_{H,L_k} + 0,68k_W - 0,01D_k k_{H,L_k} - 0,01D_k k_W - \\ - 0,77k_{H,L_k} k_W - 1,22k_{H,L_k}^2 - 0,05k_W^2 \end{cases}; \quad (4)$$

- для коренеплодів столових буряків

$$\begin{cases} m_C = 122,54 + 1,2D_k - 184,13k_{H_1L_k} - 129,74k_W + 7,17D_k k_{H_1L_k} - 5,48D_k k_W - \\ - 19,31k_{H_1L_k} k_W + 0,2D_k^2 + 227,28k_{H_1L_k}^2 + 62,24k_W^2; \\ \delta_C = 0,16 - 0,1D_k + 0,02k_{H_1L_k} - 0,19k_W + 0,004D_k k_{H_1L_k} - 0,004D_k k_W + \\ + 0,12k_{H_1L_k} k_W - 0,17k_{H_1L_k}^2 + 0,04k_W^2 \end{cases}; \quad (5)$$

- для коренеплодів моркви

$$\begin{cases} m_M = 35,84 + 17,21D_k - 73,02k_W - 18,75D_k k_W + 0,62D_k^2 + 44,69k_W^2; \\ \delta_M = 0,11 + 0,02D_k - 0,2k_W - 0,02D_k k_W + 0,09k_W^2 \end{cases}; \quad (6)$$

- для коренеплодів цикорію

$$\begin{cases} m_{KC} = 15,63 + 12,42D_k - 38,12k_W - 9,75D_k k_W + 0,32D_k^2 + 20,58k_W^2; \\ \delta_{KC} = 0,06 + 0,012D_k - 0,09k_W - 0,008D_k k_W + 0,05k_W^2 \end{cases}. \quad (7)$$

Отримані емпіричні моделі (3) – (7) можуть бути застосовані для визначення маси m_i та товщини шару δ_i налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів залежно від зміни діаметра коренеплоду D_k , коефіцієнта $k_{H_1L_k}$ та коефіцієнта вологості ґрунту k_W .

За результатами експериментальних досліджень і згідно з (3) – (7) побудовано двомірні перерізи поверхні відгуку функціональної зміни маси m_i та товщини шару δ_i налиплого ґрунту на коренеплодах (рис. 3 – 7).

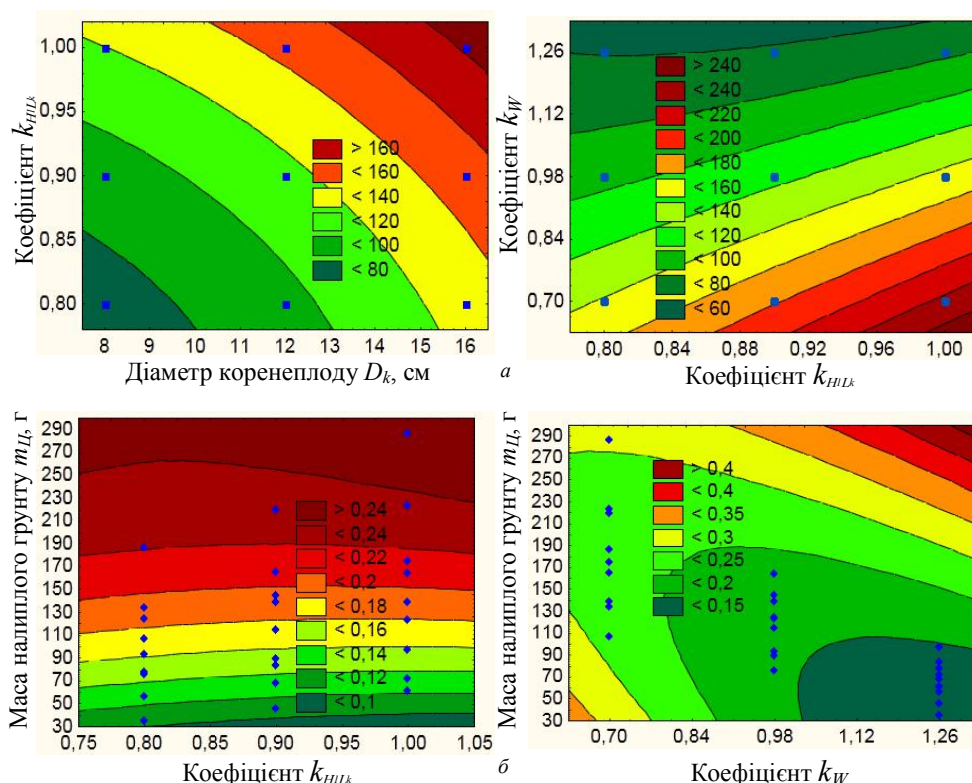


Рис. 3. Двомірний переріз поверхні відгуку як функція: а – маси налиплого ґрунту $m_K = f_m(k_{H_1L_k}; D_k)$,

$$m_K = f_m(k_{H_1L_k}; k_W); \quad б – товщини шару налиплого ґрунту $\delta_K = f_\delta(m_K; k_{H_1L_k}), \quad \delta_K = f_\delta(m_K; k_W)$$$

Fig. 3. Two-dimensional cross-section of the response surface as a function of: а – mass of sticky soil $m_K = f_m(k_{H_1L_k}; D_k)$, $m_K = f_m(k_{H_1L_k}; k_W)$; б – thickness adhering soil $\delta_K = f_\delta(m_K; k_{H_1L_k}), \quad \delta_K = f_\delta(m_K; k_W)$

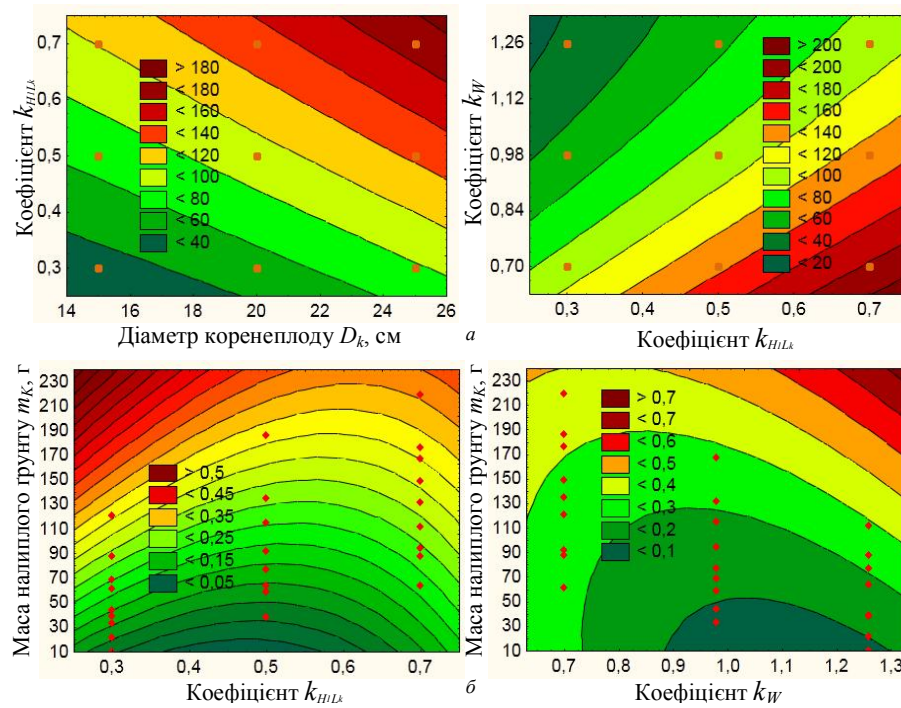


Рис. 4. Двумірний переріз поверхні відгуку як функція: a – маси налиплого ґрунту $m_{II} = f_m(k_{H_1L_k}; D_k)$,

$$m_{II} = f_m(k_{H_1L_k}; k_W); \delta_{II} = f_\delta(m_K; k_{H_1L_k}), \delta_{II} = f_\delta(m_K; k_W)$$

Fig. 4. Two-dimensional cross-section of the response surface as a function of: a – mass of sticky soil $m_{II} = f_m(k_{H_1L_k}; D_k)$, $m_{II} = f_m(k_{H_1L_k}; k_W)$; b – thickness adhering soil $\delta_{II} = f_\delta(m_K; k_{H_1L_k})$, $\delta_{II} = f_\delta(m_K; k_W)$

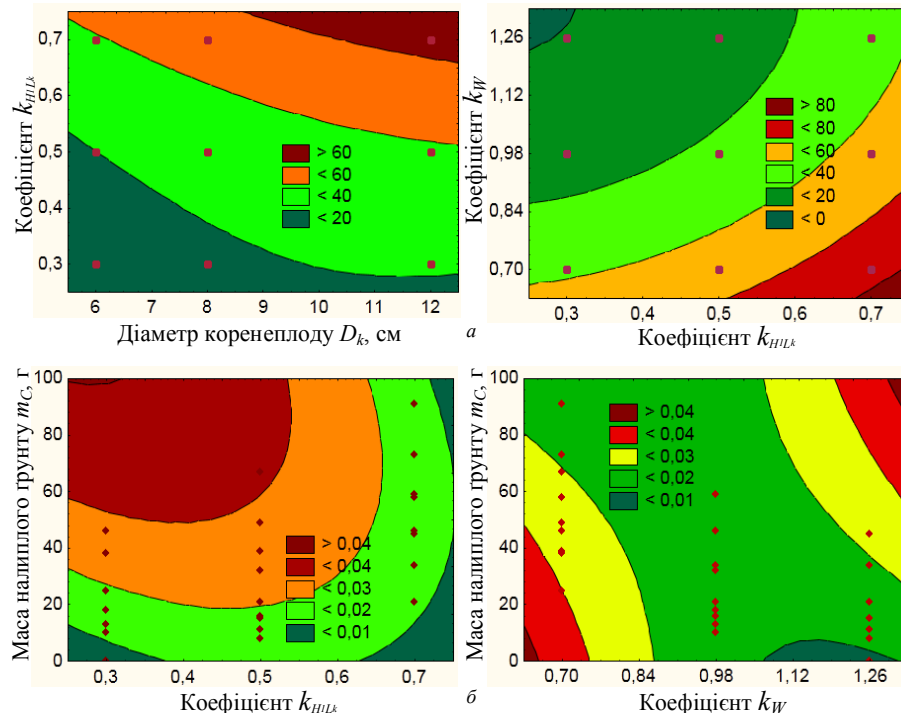


Рис. 5. Двумірний переріз поверхні відгуку як функція: a – маси налиплого ґрунту $m_C = f_m(k_{H_1L_k}; D_k)$,

$$m_C = f_m(k_{H_1L_k}; k_W); \delta_C = f_\delta(m_K; k_{H_1L_k}), \delta_C = f_\delta(m_K; k_W)$$

Fig. 5. Two-dimensional cross-section of the response surface as a function of: a – mass of sticky soil $m_C = f_m(k_{H_1L_k}; D_k)$, $m_C = f_m(k_{H_1L_k}; k_W)$; b – thickness adhering soil $\delta_C = f_\delta(m_K; k_{H_1L_k})$, $\delta_C = f_\delta(m_K; k_W)$

Аналіз емпіричних моделей, або рівнянь регресії (3) – (7), показує, що основними складовими величинами, які мають значний вплив на зміну маси m_i налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів, є коефіцієнт k_{H,L_k} , або коефіцієнт співвідношення глибини залягання коренеплоду в ґрунті до його загальної довжини, та коефіцієнт вологості ґрунту k_W . Зміна діаметра коренеплоду D_k має несуттєве значення на кінцевий результат.

Встановлено, що функціональна зміна апроксимованих значень маси налиплого ґрунту m_K на поверхні тіла викопаних коренеплодів кормових буряків перебуває в діапазоні від 10 г до 210 г, а товщина шару налиплого ґрунту δ_K змінюється в діапазоні від 0,05 см до 0,7 см. Зі збільшенням коефіцієнта відношення k_{H,L_k} від 0,3 до 0,7 маса налиплого ґрунту m_K на поверхні тіла коренеплодів збільшується в середньому в 4...6 разів.

Встановлено, що функціональна зміна апроксимованих значень маси налиплого ґрунту m_{II} на поверхні тіла викопаних коренеплодів цукрових буряків лежить у діапазоні від 50 г до 250 г, а товщина шару налиплого ґрунту δ_{II} змінюється в діапазоні від 0,1 см до 0,4 см. Зі збільшенням коефіцієнта відношення k_{H,L_k} від 0,8 до 1,0 маса налиплого ґрунту m_{II} на поверхні тіла коренеплодів збільшується в середньому у 2...4 рази.

Встановлено, що функціональна зміна апроксимованих значень маси налиплого ґрунту m_C на поверхні тіла викопаних коренеплодів столових буряків перебуває в діапазоні від 5 г до 90 г, а товщина шару налиплого ґрунту δ_C змінюється в діапазоні від 0,01 см до 0,04 см. Зі збільшенням коефіцієнта відношення k_{H,L_k} від 0,3 до 0,7 маса налиплого ґрунту m_C на поверхні тіла коренеплодів збільшується в середньому в 3...4 рази.

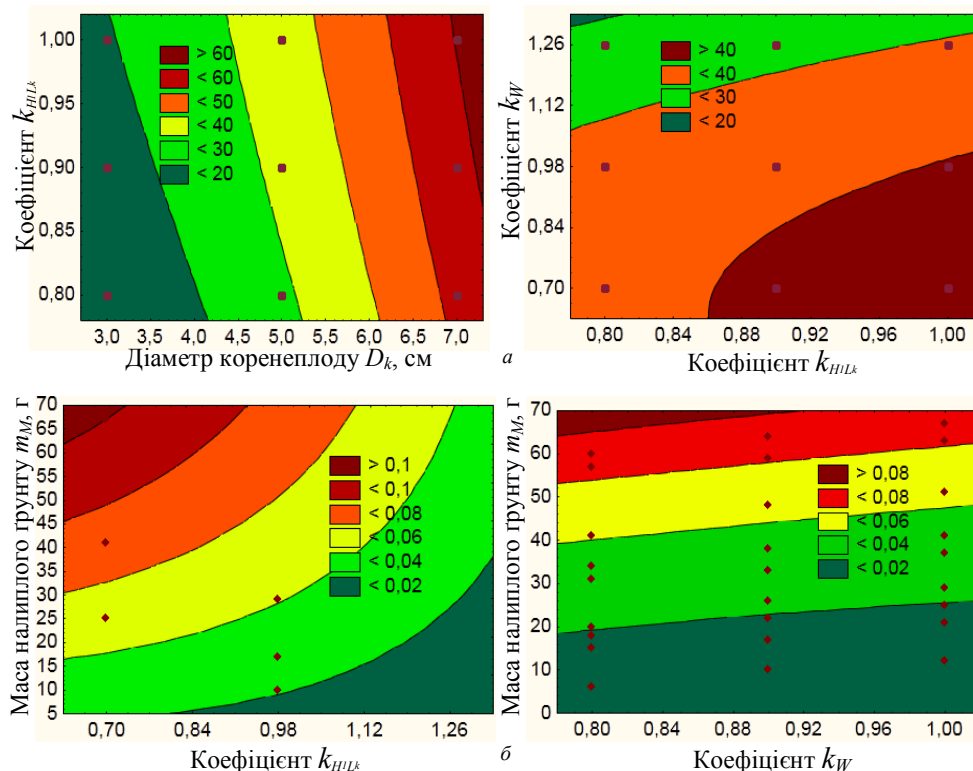


Рис. 6. Двовірний переріз поверхні відгуку як функція:

a – маси налиплого ґрунту $m_M = f_m(k_{H,L_k}; D_k)$, $m_M = f_m(k_{H,L_k}; k_W)$;

b – товщини шару налиплого ґрунту $\delta_M = f_\delta(m_K; k_{H,L_k})$, $\delta_M = f_\delta(m_K; k_W)$

Fig. 6. Two-dimensional cross-section of the response surface as a function of:

a – mass of sticky soil $m_M = f_m(k_{H,L_k}; D_k)$, $m_M = f_m(k_{H,L_k}; k_W)$;

b – thickness adhering soil $\delta_M = f_\delta(m_K; k_{H,L_k})$, $\delta_M = f_\delta(m_K; k_W)$

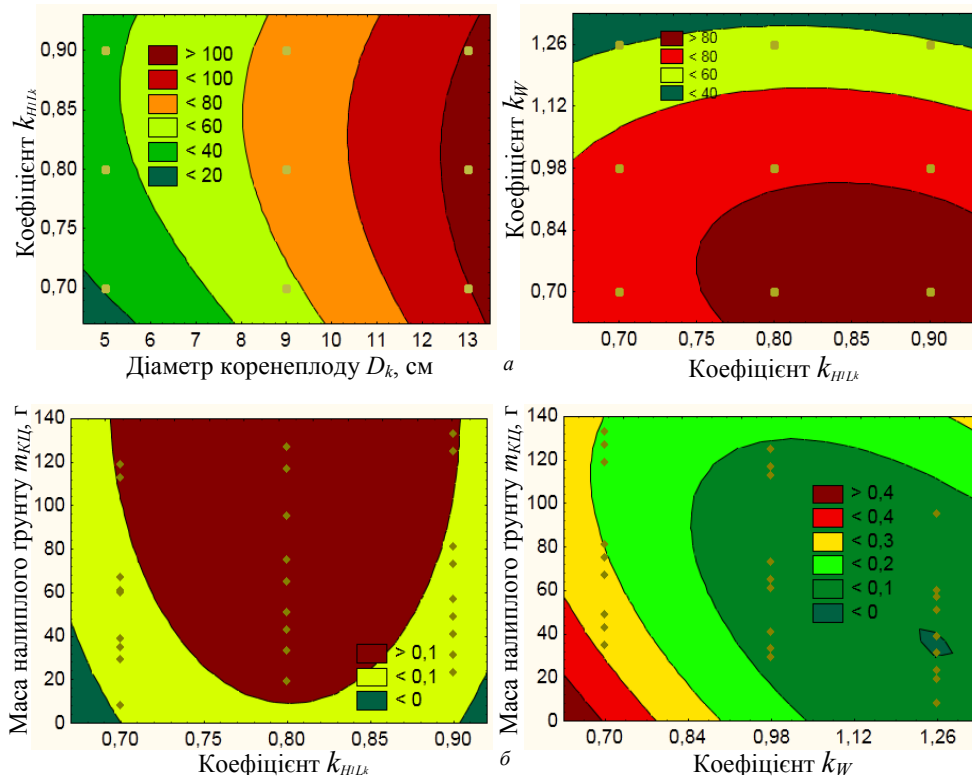


Рис. 7. Двовірний переріз поверхні відгуку як функція:

a – маси налиплого ґрунту $m_{KЦ} = f_m(k_{H1Lk}; D_k)$, $m_{KЦ} = f_m(k_{H1Lk}; k_W)$;

б – товщини шару налиплого ґрунту $\delta_{KЦ} = f_\delta(m_K; k_{H1Lk})$, $\delta_{KЦ} = f_\delta(m_K; k_W)$

Fig. 7. Two-dimensional cross-section of the response surface as a function of:

a – mass of sticky soil $m_{KЦ} = f_m(k_{H1Lk}; D_k)$, $m_{KЦ} = f_m(k_{H1Lk}; k_W)$;

б – thickness adhering soil $\delta_{KЦ} = f_\delta(m_K; k_{H1Lk})$, $\delta_{KЦ} = f_\delta(m_K; k_W)$

Встановлено, що функціональна зміна апроксимованих значень маси налиплого ґрунту m_M на поверхні тіла викопаних коренеплодів моркви перебуває в діапазоні від 10 г до 70 г, а товщина шару налиплого ґрунту δ_M змінюється в діапазоні від 0,1 см до 0,4 см. Зі збільшенням коефіцієнта відношення k_{H1Lk} від 0,8 до 1,0 маса налиплого ґрунту m_M на поверхні тіла коренеплодів збільшується в середньому у 2...3 рази.

Встановлено, що функціональна зміна апроксимованих значень маси налиплого ґрунту $m_{KЦ}$ на поверхні тіла викопаних коренеплодів цикорію лежить у діапазоні від 10 г до 110 г, а товщина шару налиплого ґрунту $\delta_{KЦ}$ змінюється в діапазоні від 0,1 см до 0,4 см. Зі збільшенням коефіцієнта відношення k_{H1Lk} від 0,7 до 0,9 маса налиплого ґрунту $m_{KЦ}$ на поверхні тіла коренеплодів збільшується в середньому у 2...5 разів.

Зміна товщини шару δ_i (див. рис. 3 – 7) має складний випадковий характер, що пояснюється значною нерівномірністю експериментальних даних товщини шару в різних точках бічної поверхні одного коренеплоду, де коливання вимірів δ_i відрізняється в деяких випадках на один порядок. Але при цьому загальна тенденція зміни δ_i згідно з аналізом теоретичних положень (2) частково підтверджується.

Висновки

1. Отримані рівняння регресії (3) – (7) у натуральних величинах на емпіричному рівні описують зміну маси та товщини налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів залежно від зміни основних агробіологічних характеристик коренеплодів кормових, цукрових, столових буряків і моркви та коренеплодів цикорію.

2. Результати дослідження є вихідними вимогами для подальшої розробки та обґрунтування

раціональних конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів адаптованих коренезбиральних машин.

Бібліографічний список

1. Барановський В. М., Войтюк Д. Г., Виговський А. Ю. Аналітичні дослідження маси налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2004. № 3. С. 9–12.
2. Барановський В. М., Войтюк Д. Г., Кропивко С. В., Виговський А. Ю. Прогнозування кількості ґрунту на поверхні тіла коренеплоду. *MOTROL*. 2003. Т. 6. С. 164–172.
3. 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.
4. Барановський В. М., Гуков Я. С. Моделювання маси налиплого ґрунту на поверхні просторового тіла. *Сільськогосподарські машини*. 2007. Вип. 16. С. 52–62.
5. Барановський В. М. Дослідження товщини шару налиплого ґрунту на поверхні тіл коренеплодів. *Вісник ТДТУ*. 2005. Т. 10, № 4. С. 63–68.
6. 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.
7. Барановський В. М. Конструктивно-технологічні принципи адаптації транспортно-очисного комбінованого робочого органу коренезбиральних машин. *Сільськогосподарські машини*. 2005. Вип. 13. С. 18–24.
8. Барановський В. М. Конструктивно-технологічні принципи застосування адаптивного викопувального робочого органу коренезбиральних машин. *Науковий вісник НАУ*. 2005. № 73(1). С. 249–255.
9. Барановський В. М. Математична модель маси налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів. *Науковий вісник НАУ*. 2006. Вип. 95, ч. 2. С. 203–211.
10. 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.
11. Барановський В. М., Паньків М. Р., Теслюк В. В., Онищенко В. Б. Результати експериментальних досліджень коефіцієнта проходження коренеплодів. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2017. № 21. С. 58–69.
12. Барановський В. М., Рамш В. Ю. Оптимізаційні математичні моделі процесу викопування вроху коренеплодів пасивним сферичним диском. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2008. № 12(2). С. 337–349.
13. Барановський В. М. Результати теоретично-експериментальних досліджень секундної подачі вроху коренеплодів. *Механізація сільськогосподарського виробництва*. 2008. № 1. С. 111–120.
14. Барановський В. М. Транспортно-технологічні системи очисних робочих органів адаптованої коренезбиральної машини. *Сільськогосподарські машини*. 2013. Вип. 24. С. 18–29.
15. Гурченко О. П., Барановський В. М. Результати випробування модернізованої коренезбиральної машини МКК-6А. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 1995. № 81. С. 57–60.
16. Погорельий Л. В., Татьяна М. В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз. Киев: Феникс, 2004. 237 с.
17. Рамш В. Ю., Барановський В. М., Паньків М. Р., Герасимчук Г. А. Аналіз тенденцій розвитку робочих органів для сепарації вроху коренеплодів. *Наукові нотатки*. 2011. Вип. 31. С. 298–305.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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 08.10.2020