



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-4

УДК 631.356

В. П. Курка¹, к.т.н.,

ORCID: 0000-0003-1247-6770

А. Ю. Ліннік², к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-3973-3733

О. М. Кирик², к.т.н.,

ORCID: 0000-0003-4551-3187

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України²Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

e-mail: Linnik_Andrij@ukr.net, тел.: 097-584-09-26

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ОЧИСНИКА ГОЛІВОК КОРЕНЕПЛОДІВ ВЕРТИКАЛЬНО РОТОРНОГО ТИПУ

Анотація. В статті сформульовано методику проведення та аналізу отриманих даних експериментальних досліджень якісних показників роботи очисника голівок коренеплодів вертикально роторного типу з метою підтвердження адекватності теоретичних досліджень і врахування впливу можливих факторів, що не були враховані в теоретичних дослідженнях. Встановлено регресійні зв'язки у натуральних величинах, які характеризують зміну якісних показників роботи очисника голівок коренеплодів цукрового буряка роторного типу в залежності від поступальної швидкості руху очисного агрегату, кутової швидкості обертання очисного вала, кількості встановлених доочисних елементів. Аналіз отриманих залежностей показує, що основними складовими величинами, які впливають на параметр оптимізації є кутова швидкість обертання робочого органу і поступальна швидкість руху машини.

Ключові слова: коренеплід, очисник, гичка, кутова швидкість, рівняння регресії

Постановка проблеми. В технологічному процесі збирання цукрових буряків важливою операцією є очистка голівок коренеплодів від гички. Від якісного проведення такої операції залежатиме продуктивність наступних операцій по викопуванню і очищенні вороху коренеплодів [1, 2]. Для проведення такої операції використовується ряд машин з пасивними і активними робочими органами [3-5]. Було сконструйовано новий тип очисника голівок коренеплодів і проведено



теоретичні дослідження взаємодії його робочих органів з головками коренеплодів [3]. Для підтвердження адекватності теоретичних досліджень і врахування впливу можливих факторів, що не були враховані в теоретичних дослідженнях, на якість роботи очисника проведено польові експериментальні дослідження.

Аналіз останніх досліджень. Питанням очищення голівок коренеплодів цукрового буряка присвячені праці Рибак Т. І. [6], Булгакова В. М [7-9], Бориса А. М. [10, 11], Барановського В. М. [12, 13] проте, результати досліджень якості процесу очищення досліджувалися поверхнево. Для більш глибокого аналізу взаємодії очисника з голівкою коренеплоду виникло завдання встановлення регресійних залежностей взаємозв'язків всіх значимих факторів, які впливають на визначення якісних показників очищення від залишків гички голівок коренеплодів цукрового буряка.

Формулювання мети статті. Встановити адекватність попередньо виконаних теоретичних досліджень очисника головок коренеплодів та визначити вплив основних конструктивних параметрів та режимів роботи очисника на показники якості виконання процесу.

Основна частина. Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні завдання. Проаналізовано вплив зміни основних факторів таких як: поступальна швидкість руху очисника, кутова швидкість обертання ротора, кількість очисних елементів на якісні показники виконання роботи: наявність залишків гички, пошкодження голівок коренеплодів, вибиті коренеплоди з рядка. Експериментальне польове дослідження проводилося згідно складеної програми повно факторного експерименту.

У відповідності до розробленої програми експериментальних досліджень та з врахуванням умов і режимів роботи експериментальної установки, досліджували загальні залишки гички на голівках коренеплодів $C_{\bar{a}}$ (%), сильнопошкодженні коренеплоди I_k^{∞} (%) і кількість вибитих коренеплодів із рядка B_k (%) від зміни кутової швидкості обертання очисних елементів ω_o , поступальної швидкості руху очисної машини V_i і кількості очисних елементів ротора n_o , тобто відповідно $C_{\bar{a}} = f(\omega_o; V_i; n_o)$, $I_k^{\infty} = f(\omega_o; V_i; n_o)$ і $B_k = f(\omega_o; V_i; n_o)$, які є визначальними при роботі очисників головок коренеплодів від залишків гички [8, 12].

При проведенні експериментів постійними були наступні конструктивно-технологічні параметри очисника: ширина лопаті $b = 0,08$ м, а висота встановлення нижнього торця очисної лопаті відносно поверхні ґрунту змінювалася від $h_o = 0 \dots 0,04$ м залежно від домінуючої висоти розташування головок коренеплодів відносно рівня залікової ділянки поля з умови не безвідривного контакту лопаті з



голівкою.

Дослідження проводились при одночасній зміні трьох факторів згідно рандомізованої план-матриці повнофакторного експерименту типу ПФЕ 3^3 [14, 15].

Функцію відгуку (параметр оптимізації показників якості очищення) знаходили у вигляді математичної моделі повного квадратного полінома.

Перед проведенням експериментів при дослідженні залишків гички на головках коренеплодів $C_{\tilde{a}}$, сильнопошкоджених коренеплодів \tilde{I}_k і кількості вибитих коренеплодів із рядка B_k проводили кодування факторів і складання план-матриці, в яку заносили позначені рівні факторів кожного експерименту.

Визначали основний (нульовий) рівень для кожного фактора:

- для кутової швидкості обертання очисних лопатей ω_o :

$$X_{1_0} = \frac{83,7 + 41,9}{2,0} = 62,8 \text{ (рад/с);} \quad (1)$$

- для швидкості руху очисника головок V_i :

$$X_{2_0} = \frac{2,0 + 1,4}{2,0} = 1,7 \text{ (м/с);} \quad (2)$$

- для кількості очисних елементів ротора, n_o :

$$X_{3_0} = \frac{8,0 + 4,0}{2,0} = 6,0 \text{ (шт.);} \quad (3)$$

Інтервали варіювання та кодовані значення кожного фактору:

$$\Delta X_1 = \frac{83,7 - 41,9}{2,0} = 20,9 \text{ (рад/с);} \quad x_1 = \frac{\omega_o - 62,8}{20,9}; \quad (4)$$

$$\Delta X_2 = \frac{2,0 - 1,4}{2,0} = 0,3 \text{ (м/с);} \quad x_2 = \frac{V_i - 1,7}{0,3}; \quad (5)$$

$$\Delta X_3 = \frac{8,0 - 4,0}{2,0} = 2,0 \text{ (шт.);} \quad x_3 = \frac{n_o - 6,0}{2,0}. \quad (6)$$

Характеристика факторів та значення їх рівнів варіювання:

1. Кутова швидкість обертання очисних елементів: 83,7-62,8-41,9;
2. Поступальна швидкість руху очисника головок, V_i , м/с: 2,0-1,7-1,4;
3. Кількість очисних елементів ротора n_o , шт: 4,0-3,0-2,0

Отримані дані параметрів оптимізації кожного експерименту, тобто числові значення залишків гички на головках коренеплодів $C_{\tilde{a}}$, сильнопошкоджених коренеплодів \tilde{I}_k і кількості вибитих корене-плодів із рядка B_k залежно від зміни факторів – кутової швидкості обертання очисних лопатей, поступальної швидкості руху очисника головок V_i і кількості очисних елементів ротора n_o заносили у таблицю.

Обробку отриманих експериментальних даних при дослідженні залежності залишків гички на головках коренеплодів $C_{\tilde{a}}$ (%),



сильнопошкоджених коренеплодів \check{I}_k (%) і кількості вибитих коренеплодів із рядка B_k (%) від зміни кутової швидкості обертання очисних елементів ω_o , поступальної швидкості руху очисної машини V_i і кількості очисних елементів ротора n_o , тобто відповідно $\zeta_{\check{a}} = f(\omega_o; V_i; n_o)$, $\check{I}_k = f(\omega_o; V_i; n_o)$ і $B_k = f(\omega_o; V_i; n_o)$ провели за загальновідомою методикою [15], при цьому кількісні значення параметрів оптимізації визначали відносно маси коренеплодів кожної однієї проби.

Функцію відгуку (параметр оптимізації), тобто залежності $\zeta_{\check{a}} = f(x_1; x_2; x_3)$, $\check{I}_k = f(x_1; x_2; x_3)$, $B_k = f(x_1; x_2; x_3)$, визначені експериментальним шляхом, знаходили у вигляді апроксимуючої математичної моделі повного квадратного полінома

$$\check{O}_i = b_{0_i} + b_{1_i}x_1 + b_{2_i}x_2 + b_{3_i}x_3 + b_{12_i}x_1x_2 + b_{13_i}x_1x_3 + b_{23_i}x_2x_3 + b_{11_i}x_1^2 + b_{22_i}x_2^2 + b_{33_i}x_3^2, \quad (7)$$

де \check{O}_i - експериментальне значення відповідного i -го параметра, %;

$b_{0_i}, b_{1_i}, b_{2_i}, b_{3_i}, b_{12_i}, b_{13_i}, b_{23_i}, b_{11_i}, b_{22_i}, b_{33_i}$ - відповідні значення коефіцієнтів регресії i -их регресійних моделей;
 x_1, x_2, x_3 - вхідні кодовані фактори.

Визначали невідомі коефіцієнти регресії повного квадратичного полінома, при цьому отримані значення коефіцієнтів регресії зведено у табл. 1.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів рівнянь регресії.

	Залишки гички $\zeta_{\check{a}} = f(\omega_o; V_i; n_o)$	Сильнопошкодженні коренеплоди $\check{I}_k = f(\omega_o; V_i; n_o)$	Кількість вибитих коренеплодів $B_k = f(\omega_o; V_i; n_o)$
b_0	12,9	7,54	2,46
b_1	-0,16	0,15	-0,003
b_2	5,14	-10,51	-2,08
b_3	-2,53	0,21	-0,08
b_{12}	-0,001	-0,03	0,008
b_{13}	0,004	-0,006	0,001
b_{23}	-0,042	-0,12	0,01
b_{11}	0,0008	-0,0004	-0,00008
b_{22}	-1,31	3,51	0,31
b_{33}	0,17	0,07	0,003

Тоді загальний вигляд рівнянь регресії залежностей параметрів



оптимізації від зміни кутової швидкості обертання очисних елементів ω_o , поступальної швидкості руху очисної машини V_i і кількості очисних елементів ротора n_o за результатами ПФЕ 3³ у кодованих величинах буде:

- залишки гички на головках коренеплодів $C_{\tilde{a}} = f(x_1; x_2; x_3)$

$$C_{\tilde{a}} = 12,19 - 0,16\tilde{\delta}_1 + 5,14\tilde{\delta}_2 - 2,53\tilde{\delta}_3 - 0,001\tilde{\delta}_1\tilde{\delta}_2 + 0,004\tilde{\delta}_1\tilde{\delta}_3 -$$

$$- 0,042\tilde{\delta}_2\tilde{\delta}_3 + 0,0008\tilde{\delta}_1^2 - 1,31\tilde{\delta}_2^2 + 0,17x_3^2 \quad (8)$$

- сильнопошкодженні коренеплоди $\tilde{I}_k = f(x_1; x_2; x_3)$

$$\tilde{I}_k = 7,54 + 0,15\tilde{\delta}_1 - 10,51\tilde{\delta}_2 + 0,21\tilde{\delta}_3 - 0,03\tilde{\delta}_1\tilde{\delta}_2 + 0,006\tilde{\delta}_1\tilde{\delta}_3 -$$

$$- 0,12\tilde{\delta}_2\tilde{\delta}_3 - 0,0004\tilde{\delta}_1^2 + 3,51\tilde{\delta}_2^2 + 0,07x_3^2 \quad (9)$$

- кількість вибитих коренеплодів із рядка $B_k = f(x_1; x_2; x_3)$

$$B_k = 2,46 - 0,003\tilde{\delta}_1 - 2,08\tilde{\delta}_2 - 0,08\tilde{\delta}_3 + 0,008\tilde{\delta}_1\tilde{\delta}_2 - 0,001\tilde{\delta}_1\tilde{\delta}_3 +$$

$$+ 0,01\tilde{\delta}_2\tilde{\delta}_3 - 0,00008\tilde{\delta}_1^2 + 0,31\tilde{\delta}_2^2 + 0,003x_3^2 \quad (10)$$

де x_1 - кутова швидкість обертання очисних елементів, рад/с;

x_2 - поступальна швидкість руху очисника головок, м/с;

x_3 - кількості очисних елементів ротора, шт.

Статистичну значимість коефіцієнтів b_i рівнянь регресій (8-10) проводили за t - критерієм Стьюдента. Згідно проведеної перевірки коефіцієнти $b_{11} = -0,003$; $b_{12} = 0,008$; $b_{111} = 0,0008$; $b_{112} = -0,0004$; $b_{113} = -0,00008$; є не значимими, тобто остаточні рівняння регресії (8-10) за результатами проведених ПФЕ 3³ у кодованих величинах мають вигляд

- залишки гички на головках коренеплодів $C_{\tilde{a}} = f(x_1; x_2; x_3)$

$$C_{\tilde{a}} = 12,19 - 0,16\tilde{\delta}_1 + 5,14\tilde{\delta}_2 - 2,53\tilde{\delta}_3 - 0,001\tilde{\delta}_1\tilde{\delta}_2 +$$

$$+ 0,004\tilde{\delta}_1\tilde{\delta}_3 - 0,042\tilde{\delta}_2\tilde{\delta}_3 - 1,31\tilde{\delta}_2^2 + 0,17x_3^2 \quad (11)$$

- сильнопошкодженні коренеплоди $\tilde{I}_k = f(x_1; x_2; x_3)$

$$\tilde{I}_k = 7,54 + 0,15\tilde{\delta}_1 - 10,51\tilde{\delta}_2 + 0,21\tilde{\delta}_3 - 0,03\tilde{\delta}_1\tilde{\delta}_2 +$$

$$+ 0,006\tilde{\delta}_1\tilde{\delta}_3 - 0,12\tilde{\delta}_2\tilde{\delta}_3 + 3,51\tilde{\delta}_2^2 + 0,07x_3^2 \quad (12)$$

- кількість вибитих коренеплодів із рядка $B_k = f(x_1; x_2; x_3)$

$$B_k = 2,46 - 0,003\tilde{\delta}_1 - 2,08\tilde{\delta}_2 - 0,08\tilde{\delta}_3 + 0,008x_1\tilde{\delta}_2 +$$

$$+ 0,001\tilde{\delta}_1\tilde{\delta}_3 + 0,01\tilde{\delta}_2\tilde{\delta}_3 + 0,31\tilde{\delta}_2^2 + 0,003x_3^2 \quad (13)$$

де ω_o - кутова швидкість обертання очисних елементів, рад/с;

V_i - поступальна швидкість руху очисника головок коренеплодів, м/с;

n_o - кількість очисних елементів ротора, шт.

Перевірку адекватності вибраної моделі, тобто відповідності отриманого теоретичного розподілу випадкових величин рівнянь регресії (11-13) реальному експериментальному процесу проводиться за F - критерієм Фішера, табличне значення якого позначено $F_T(0,05; f_{ag}; f_u)$, де 0,05 означає 5 % рівень значущості (рівний $1-\alpha$, де α -



довірча імовірність).

Висновки. Для підтвердження адекватності теоретичних досліджень і врахування впливу можливих факторів, що не були враховані в теоретичних дослідженнях, на якість роботи доочисника проведено експериментальні польові дослідження при одночасній зміні трьох факторів згідно рандомізованої план-матриці повнофакторного експерименту. Визначено основний (нульовий) рівень для кожного фактора, невідомі коефіцієнти регресії повного квадратичного полінома, значимі і не значимі коефіцієнти, отримано кінцеві рівняння регресії.

Список використаних джерел

1. Liebe, S., Varrelmann M. (2014). Impact of root rot pathogens on storage of sugar beets and control measures. In: Zuckerindustrie. Sugar Industry, Berlin, Germany, vol. 139(7), Pp. 443–452.
2. Roller O. Entblatten stat Köpfen? Zuckerrübe, 5, 2010 Pp. 32–34.
3. Ліннік А. Ю., Диня В. І., Семенів І. І. 2019. Обґрунтування конструкції та кінематичного режиму роботи гичкоочисного пристрою.
4. Przybył, J. Stan techniki do zbioru buraka cukrowego i pozbiorowej obróbki korzeni. [w]. Rozdziała w monografii: Współczesna inżynieria rolnicza – osiągnięcia i nowe wyzwania. Tom I pod redakcją Ryszarda Hołownickiego i Macieja Kubonia. Komitet Techniki Rolniczej PAN, Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, 2013. Pp. 425–452.
5. Bratucu Gh., Paunescu D. Establishing the optimum operating mode of sugar beet head cutting equipment using a cylindrical palpator. In: *Bulletin of the Transilvania University of Braşov*, Romania, Series II, vol. 8(57), no. 1, 2015. Pp. 51–56.
6. Рибак Т. І., Цьонь О. П., Сташків М. Я., Цьонь Г. Б. Вплив перерозподілу зусилля різання активного ножа дообрізувача гички буряків на його довговічність. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*, (151), 2014. Pp. 222–227.
7. Булгаков В. М. Бурякозбиральні машини. К.: Аграрна наука. 2011.
8. Bulgakov V., Trokhaniak O., Beloev H., Holovach I., Borys M., Ruzhylo Z., Ihnatiev Y. Theoretical investigation of the removal of halfrums from sugar beet root heads. *Mechanization in agriculture & Conserving of the resources*, 66(2), 2022. Pp. 75–78.
9. Булгаков, В. М., Ружилю, З. В., Головач, І. В., & Троханяк, О. М. Побудова розрахункової математичної моделі задньоначіпленої асиметричної гичкозбиральної машини. 2021.



10. Борис А. М., Булгаков В. М., Яропуд В. М., Кірієнко О. О. Розробка та дослідження нового гичкозбирального робочого органу. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки, (1), 2014. Рр. 71–78.
11. Борис А. М. Дослідження взаємодії робочого елемента копінно-роторного відокремлювача гички з головою коренеплоду. *Механізація та електрифікація сільського господарства*, (97 (1)), 2013. Рр. 257–265.
12. Барановський В. М., Паньків М. Р., Береженко Є. Б., Береженко Б. М., Бойко В. А. Технологічні аспекти процесів роботи гичкозбиральних модулів. 2022.
13. Baranovsky V., Truhanska O., Pankiv M., Bandura V. Research of a contact impact of a root crop with a screw auger. *Research in Agricultural Engineering*, 66(1), 2020. Рр. 33–42. doi: 10.17221/75/2017-RAE
14. Васильковський О. М., Лещенко С. М., Васильковська К. В., Петренко Д. І. Підручник дослідника. 2016
15. Зацерковний В. І., Тішаєв І. В., Демидов, В. К. Методологія наукових досліджень. 2017

Стаття надійшла до редакції 11.04.2023 р.

V. Kurka¹, A. Linnik², O. Kyryk²

¹National university of life and environmental sciences of Ukraine

²Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine Berezhanly Agrotechnical institute

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE PERFORMANCE OF THE CLEANER OF THE HEADS OF ROOTS OF THE VERTICALLY ROTARY TYPE

Summary

The article justifies the need to confirm the theoretical results of studies of the interaction of the working bodies of the cleaner with the head of sugar beet roots in order to confirm the adequacy of research and take into account the impact of possible factors, which were not taken into account in theoretical studies on the quality of work of the cleaner. The methodology for conducting and analyzing the obtained data of experimental studies of qualitative indicators of work of the cleaner of the heads of roots of the vertically rotary type is formulated. The analysis of changes in the main factors is carried out, such as: translational speed of the cleaner, angular speed of rotation of the rotor, the number of cleaning elements on qualitative indicators of performance: the presence of residues of the hook, damage to the heads of roots, knocked out roots from the line. Experimental field research was conducted according to a composite program of full factor experimentation, investigated, in particular, the following indicators: total residues of the hook on the heads of roots, the number of severely damaged roots and the number of broken roots from the line depending on the change in the angular speed of rotation of the cleaning elements, the translational speed of the cleaning machine and the number of



cleaning elements of the rotor. regression connections in natural quantities are established, which characterize the change in the qualitative performance of the cleaner of the heads of the roots of the sugar beet of the rotary type depending on the translational speed of the cleaning unit, the angular speed of rotation of the cleaning shaft, the number of installed cleaning elements. Analysis of the obtained dependencies shows that the main constituent values that affect the optimization parameter are the angular speed of rotation of the working body and the translational speed of movement of the machine.

Key words: remnants of stems, root, sugar beet, cleaning, angular velocity, regression equation.