

УДК 633.356.8 DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-8

Дубчак Н. А. к.т.н., доцент

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ВІДОКРЕМЛЕННЯ ГИЧКИ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

Підвищення продуктивності машин та зниженню втрат цукроносної маси коренеплодів при відокремленні гички шляхом оптимізації висоти безкопінного зрізу гички та обґрунтування конструкції і параметрів робочого органу для доочищення головок коренеплодів від решток гички за умови дотримання якісних показників процесу збирання цукрових буряків.

На підставі розробленої математичної моделі процесу безкопінного зрізу обґрунтовано методика визначення оптимальної висоти зрізу з мінімальними агротехнічно допустимими втратами цукроносної маси для різних агрофізичних характеристик посівів, гички та коренеплодів.

На підставі аналізу літературних джерел, алгоритму синтезу конструкцій, теоретичних та експериментальних досліджень обґрунтовано параметри і режими робочого органу для відокремлення залишків гички.

Ключові слова: *коренеплід, головка коренеплоду, гичка, відокремлення гички, робочий елемент, математична модель безкопінного зрізу.*

Постановка проблеми. Важливою операцією при збиранні цукрових буряків є відокремлення гички. Наявність гички у сировині цукрових буряків погіршує процес різання стружки з коренеплодів. Низька якість стружки та азотисті речовини гички знижують вихід цукру під час цукроваріння.

У результаті вивчення літературних джерел і вимог стандартів виявлено наступні суперечності процесу збирання цукрових буряків:

- існує несумісність за робочими швидкостями між машинами для відокремлення гички та машинами для викопування коренеплодів: якісне відокремлення гички можливе шляхом копінного зрізу з наступним доочищенням залишків на коренеплодах при швидкості поступального руху не більше 1,5 м/с, тоді як коренезбиральні машини працюють при швидкостях більших в 1,2...1,5 рази;

- застосуванням безкопінного зрізу основної маси гички з наступним пасивним дообрізанням головок коренеплодів з рештками гички можна досягти швидкості 2 м/с, але при цьому втрачається до 8% цукроносної маси, що перевищує вимоги стандарту;

- машини для безкопінного зрізу можуть працювати при швидкості поступального руху до 4 м/с, що перевищує швидкість процесу викопування коренеплодів, але оптимальна висота зрізу науково не обґрунтована та відсутні конструкції робочих органів, що здатні відокремлювати рештки гички на швидкості понад 1,5 м/с.

Подолання цих суперечностей шляхом обґрунтування оптимальної висоти безкопінного зрізу гички та розроблення нового робочого органу для доочищення головок коренеплодів від решток гички дасть змогу знизити втрати цукроносної маси та підвищити робочу швидкість машин для відокремлення гички, що є актуальним науковим і виробничим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зменшення втрат цукроносної маси коренеплодів і підвищення продуктивності машин для відокремлення гички шляхом оптимізації висоти безкопінного зрізу та обґрунтування конструкції і параметрів робочого органу для доочищення головок коренеплодів від решток гички.

Мета досліджень. Зменшення втрат цукроносної маси коренеплодів і підвищення продуктивності машин для відокремлення гички шляхом оптимізації висоти безкопінного зрізу та обґрунтування конструкції і параметрів робочого органу для доочищення головок коренеплодів від решток гички.

Результати досліджень. Теоретичні дослідження процесу відокремлення гички шляхом безкопінного зрізу проводилися із використанням методів теорії ймовірності, математичної статистики, диференціального та інтегрального числення. Математична модель функціонування робочого органу розроблялася за допомогою методів теоретичної механіки, диференціального та інтегрального числення.

При відомій відстані від вершини до основи зелених листків можна визначити діаметр циліндра гички. За відомим законом розподілу висоти виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту та функціональними залежностями параметрів головки і гички від висоти виступання головок коренеплоду можна описати закономірності розподілення їх мас відносно поверхні ґрунту. Це уможливило побудову математичної моделі технологічного процесу безкопійного зрізу гички з подальшим обґрунтуванням оптимальної висоти зрізу.

Залежності параметрів головки коренеплоду та гички мають наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned} h_{\zeta\bar{e}} &= a \cdot h + b; \\ d_1 &= m \cdot h + n; \\ d_{\zeta\bar{e}} &= d_1 + 2 \cdot h_{\zeta\bar{e}} \cdot \operatorname{tg} \alpha \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де $h_{\zeta\bar{e}}$ – відстань від вершини головки до основи зелених листків; h – висота виступання головки;

d_1 – діаметр вершини головки коренеплоду;

$d_{\zeta\bar{e}}$ – діаметр пучка гички;

a – половина кута конусності головки;

a, b, m, n – постійні величини.

Аналізуючи розміщення коренеплодів відносно поверхні ґрунту, виділено шість груп характерного розташування гички та головок коренеплодів.

Аналітичні залежності для визначення розташування коренеплоду і гички відносно поверхні ґрунту, проходження площини зрізу відносно вершини головки та основи зелених листків, висот зрізу головки і гички, об'ємів втрат цукронової маси та залишків гички.

Втрати цукронової маси та залишки гички для коренеплодів заданого інтервалу висот виступання визначаємо за формулою:

$$M_i = F(h_i; h_3) \cdot P(h_i; h_{i+1}) \cdot N_i, \quad (2)$$

де $F(h_i; h_3)$ – втрати цукронової маси або залишки гички, для коренеплоду

$F(h_i; h_3) = V_k \cdot \rho$, для гички $F_c(h_i; h_{3c}) = V_c \cdot \rho_c$,

де V_k, ρ і V_c, ρ_c – відповідно об'єм і густина коренеплоду та гички;

N_i – кількість коренеплодів заданого інтервалу на одиниці площі;

$P(h_i; h_{i+1})$ – ймовірність появи даного інтервалу висот виступання головок коренеплодів, що визначається за формулою:

$$P(h_i; h_{i+1}) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{h_i}^{h_{i+1}} \exp\left(-\frac{(h-m)^2}{2\sigma^2}\right) dh \quad (3)$$

Інтеграл у виразі 3 не визначається в квадратурах, тому ймовірність появи коренеплодів заданого інтервалу висот виступання визначимо чисельним інтегруванням за формулою Сімпсона. Просумувавши залишки гички та втрати цукронової маси для всіх інтервалів висот виступання, отримаємо сумарні залишки гички та втрати цукронової маси на одиниці площі:

$$BM = \sum_{i=a}^b \left[N \cdot F\left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2}; h_{\zeta}\right) \cdot \left(\frac{h_{i+1} - h_i}{3m} \sum_{j=0}^m c_j \cdot f(h)\right) \right], \quad (4)$$

$$GM = \sum_{i=a}^b \left[N \cdot F_c\left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2}; h_{\zeta c}\right) \cdot \left(\frac{h_{i+1} - h_i}{3m} \sum_{j=0}^m c_j \cdot f(h)\right) \right], \quad (5)$$

де m – кількість інтервалів: $m = 2U$; $U=1,2,3,4,\dots$;

c_j – коефіцієнт при значеннях підінтегральної функції у відповідних точках,

$c_j = 1,2,3,4,2,4,\dots,2,4,1$.

Основними конструктивно-технологічними параметрами ОГК з горизонтальною віссю обертання та шарнірно закріпленими радіальними очисними елементами є радіус осі підвісу r , конструктивна довжина ОЕ l_k та кількість ОЕ z . Раціональні значення цих параметрів залежать від технологічного показника максимальної висоти виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту після зрізу. Використовуючи розрахункові схеми знайдено залежність між конструктивними параметрами ОГК і максимальною висотою виступання головок коренеплодів:

$$l_k = \Delta h + b_k; \quad R = r + l_k; \quad z = \frac{\pi}{\arcsin\left(\frac{(\Delta h + 2b_k)}{2(R - \Delta h - b_k)}\right)} \quad (6)$$

Кінематичними параметрами ОГК є поступальна швидкість руху V_n , кутова швидкість обертання ротора ω та кількість взаємодій ОЕ з коренеплодом k . В залежності від висоти виступання головки коренеплоду кількість взаємодій визначається за формулою:

$$k = \omega \cdot z \left(\sqrt{2Rh - h^2} + 0,5d_1 \right) / \pi \cdot V_n. \quad (7)$$

Очевидно, що частина взаємодій буде направлена у зону головки, де розміщені зелені листки. Решта взаємодій буде направлена у нижню частину головки коренеплоду, втратить частково кінетичну енергію, а потім буде взаємодіяти із зоною зелених листків. Ефективність таких взаємодій буде значно нижчою. Рациональну кількість взаємодій k_p визначимо з виразу:

$$k_p = k - k_3, \quad (8)$$

де k_3 – кількість взаємодій із зоною зелених листків.

$$k_\zeta = \omega \cdot z \left(\sqrt{2Rh_\zeta - h_\zeta^2} + 0,5d_{\zeta\bar{\zeta}} \right) / \pi \cdot V_n, \quad (9)$$

де $h_3 = h - h_{3d}$.

Звідси, рациональна кількість взаємодій:

$$k_\delta = \frac{\omega \cdot z}{\pi \cdot V_n} \left(\sqrt{2Rh - h^2} - \sqrt{2Rh_\zeta - h_\zeta^2} + 0,5(d_1 - d_{\zeta\bar{\zeta}}) \right). \quad (10)$$

$$\alpha = \arctg \left(\frac{(y_{o2} - y_p) / (x_{o2} - x_p) - y_{o2} / x_{o2}}{1 + x_{o2} (y_{o2} - y_p) / (x_{o2} - x_p) \cdot y_{o2}} \right). \quad (11)$$

Складові залежності рівності мають наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\varphi} &= \frac{V_i^2 \cdot R^2}{R_1 \left(R^2 - (V_i t - \sqrt{2Rh - h^2})^2 \right)^{2/3}}; \\ M_K &= N_K (a + f_1 b); \\ M_L &= \left(\frac{m\omega^2 r \cdot l \sin \alpha - J \cdot \ddot{\alpha}}{d + f_e} \right) (d_1 + f_{p1}); \\ M_G &= G \cdot c \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

де J, J_K – моменти інерції відповідно лопаті та копіра відносно точок підвісу;

R_1 – відстань від центра копіра до точки підвісу;

c, a, b, d_1, p_1 – відповідно плечі сил G, N_K, F_K, N_L, F_L відносно осі підвісу копіра;

d, e – плечі сил нормальної реакції та сил тертя копіра і ОЕ відносно його осі підвісу.

При русі копіра по головці можливе вибивання з ґрунту та пошкодження коренеплоду. Умовою невибивання коренеплоду є:

$$N_e \leq \frac{[P_A]}{\sin \alpha_1 + f \cos \alpha_1}, \quad (13)$$

де $[P_T]$ – гранична горизонтальна складова сили зв'язку коренеплоду з ґрунтом; α_1 – кут між віссю Oy та силою N_K .

Залишки гички на коренеплодах, %:

$$W = -1,9899 + 0,0054 \cdot n - 0,2344 \cdot V_n - 0,0086 \cdot n \cdot V_n - 2,9025 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 3,1644 \cdot V_n^2. \text{ Пошк} \\ \text{одження коренеплодів, \%}$$

$$V = -17,8620 + 0313 \cdot n + 2,2856 \cdot V_n - \\ -0,0026 \cdot V_n \cdot n - 6,0725 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 - 0,3704 \cdot V_i^2. \quad (14)$$

Вибивання коренеплодів, %:

$$Z = 5,38 + 0,0037n - 4,44V_n + 0,0015V_n \cdot n + \\ + 8,9 \cdot 10^{-7} \cdot n^2 + 0,8956V_i^2. \quad (15)$$

Інтервали оптимальних режимів роботи ОГК: поступальна швидкість руху машини $V_n = 1,9...2,0$ м/с та частота обертання ротора $n = 850...970$ хв⁻¹.

Висновки. Встановлено, що розмірно-масові характеристики коренеплодів і гички функціонально залежать від висоти виступання головок коренеплодів над поверхнею ґрунту. Висота виступання головок коренеплодів описується нормальним законом розподілу. Максимальний діаметр коренеплодів знаходиться нижче рівня ґрунту. Отже, існують передумови для створення математичних моделей коренеплодів, гички та посівів. Машини для безкопірного зрізу можуть працювати при швидкості поступального руху до 4 м/с, але недостатньо обґрунтовано технологічні параметри процесу. Найпростішими та функціонально придатними є очисники головок коренеплодів з горизонтальною віссю обертання, що встановлена перпендикулярно або під кутом до рядків. Дотичне навантаження до головки коренеплоду є найбільш раціональним при відокремленні решток гички, що обумовлює необхідність створення відповідного робочого органу.

Розроблено математичну модель процесу відокремлення основної маси гички шляхом безкопірного зрізу та алгоритм, що дозволяє визначити оптимальну висоту встановлення гичкорізального апарату над рівнем ґрунту відповідно до мінімально допустимих втрат цукроносної маси та агрофізичних характеристик посівів і коренеплодів. В результаті досліджень виявлено, що для існуючих агрофонів ($\sigma = 10...30$ мм, $m = 40...60$ мм) головки коренеплодів повинні зрізатись не вище 60 мм відносно рівня ґрунту.

Встановлено функціональні залежності діаметра вершини коренеплоду та висоти зони зелених листків від висоти виступання головок коренеплодів. Визначено, що твердість поверхні гички на відстані 0...5 мм від головки коренеплоду лише на 20...30% відрізняється від твердості поверхні головки коренеплоду у зоні зелених листків та сплячих вічок і майже дорівнює твердості вершини головки. Це свідчить про обмежені можливості способу відокремлення гички за властивостями міцності без пошкодження тіла коренеплоду.

Інформаційні джерела

1. Гурченко О. П., Барановський В. М. Результати випробування модернізованої коренезбиральної машини МКК-6А. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 1995. № 81. С. 57–60.
2. Барановський В. М., Соломка В. О., Онищенко В. Б. Вибір параметрів при конструюванні гвинтового конвеєра. *Вісник ХДТУСГ*. 2001. Т. 8(2). С. 209–215.
3. Барановський В. М. Конструктивно-технологічні принципи адаптації транспортно-очисного комбінованого робочого органу коренезбиральних машин. *Сільськогосподарські машини*. 2005. Вип. 13. С. 18–24.
4. Барановський В. М. Конструктивно-технологічні принципи застосування адаптивного викопувального робочого органу коренезбиральних машин. *Науковий вісник НАУ*. 2005. № 73(1). С. 249–255.
5. Барановський В. М., Паньків М. Р., Дубчак Н. А. Очисна система вороху коренеплодів. *Механізація сільськогосподарського виробництва*. 2007. № 1(59). С. 33–36.

Дубчак Н.А. к.т.н., доцент

Отделенное подразделение Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Бережанский агротехнический институт»

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ ГИЧКИ САХАРНЫХ СВЕКЛОВ

Повышение производительности машин и снижение потерь сахароносной массы корнеплодов при отделении ботвы путем оптимизации высоты бескопирного среза ботвы и обоснование конструкции и параметров рабочего органа для доочистки головок корнеплодов от остатков ботвы при условии соблюдения качественных показателей процесса сбора сахарной свеклы.

На основании разработанной математической модели процесса бескопирного среза обоснована методика определения оптимальной высоты среза с минимальными агротехнически допустимыми потерями сахароносной массы для различных агрофизических

© Дубчак Н. А. к.т.н., доцент

характеристик посевов, ботвы и корнеплодов.

На основании анализа литературных источников, алгоритм синтеза конструкций, теоретических и экспериментальных исследований обоснованы параметры и режимы рабочего органа для отделения остатков ботвы.

Ключевые слова: корнеплод, головка корнеплода, ботвы, отделение ботвы, рабочий элемент, математическая модель бескопирного среза.

Dubchak N.A.

Outreach from the National University of Bioresources and Environmental Protection of Ukraine "Berezhany Agrotechnical Institute"

JUSTIFICATION OF TECHNOLOGICAL PROCESS AND PARAMETERS OF WORKING BODY FOR SEPARATION OF SUGAR BEETS

Increasing the productivity of the machine and reducing the loss of sugar mass of roots during the separation of the tuber by optimizing the height of the copyless cut of the tuber and substantiation of the design and parameters of the working body for cleaning the heads of roots from the rest of the tuber provided quality indicators of sugar beet harvesting.

Based on the developed mathematical model of the process of copyless cutting, the method of determining the optimal height of the cut with the minimum agrotechnically permissible losses of sugar mass for different agrophysical characteristics of crops, buds and roots is substantiated.

Based on the analysis of literature sources, the algorithm of synthesis of structures, theoretical and experimental studies, the parameters and modes of the working body for the separation of the remnants of the hyphae are substantiated.

Key words: root crop, root head, bud, branch separation, working element, mathematical model of copyless cut.