

УДК: 631.361

М. В. Смаль, О. О. Герасимчук, Г. А. Герасимчук, Ю. О. Гуменюк*Луцький національний технічний університет***ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДООБРІЗЧИКА ЗАЛИШКІВ ГИЧКИ ГОЛОВОК
КОРЕНЕПЛОДІВ**

Наведено метод розробки детермінованих математичних моделей, які характеризують зміну приведеної маси копіра дообрізка залишків гички з головок коренеплодів типу «пасивний копир-пасивний ніж» з умови невивалювання та непошкодження коренеплодів від параметрів процесу. На основі аналізу встановлено основні конструктивно-кінематичні параметри робочих органів.

Ключові слова: залишки гички, коренеплоди, копир, приведена маса копіра, параметри.

Рис. 2. Форм. 10. Літ.9.

М. В. Смаль, О. О. Герасимчук, Г. А. Герасимчук, Ю. О. Гуменюк**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДООБРЕЗЧИКА ОСТАТКОВ БОТВЫ
ГОЛОВОК КОРЕНЕПЛОДОВ**

Приведён метод разработки детерминированных математических моделей, которые характеризуют изменение приведенной массы дообрезчика остатков ботвы с головок коренеплодов типа «пассивный копир-пассивный нож» с условия невиваливания и неповреждения коренеплодов от параметров процесса. На основании анализа установлены основные конструктивно-кинематические параметры рабочих органов.

Ключевые слова: остатки ботвы, коренеплоды, копир, приведена масса котира, параметры.

М. Smal, O. Herasimstuk, H. Herasimstuk, Yu. Humenyuk**STUDY PARAMETERS DOOBRIZCHYKA REMNANTS TURNIP ROOT CROPS
HEADS**

The method of development of determined mathematical models describing the change in the equivalent mass of the guiding unit of pruning machine for beet tops from the roots with type "passive guiding unit - passive knife" under condition without dumping and damaging of roots during the process is given. Basing on the analysis the main structural and kinematic parameters of working parts are determined.

Keywords: remains of tops, roots, copier, copier reduced weight parameters.

Постановка проблеми. Подальша інтенсифікація сучасного розвитку сільськогосподарського виробництва можлива на основі механізації всіх виробничих процесів шляхом забезпечення розробки та впровадження сучасних високоефективних технологій збирання продукції сільськогосподарських культур, у тому числі і коренеплодів [1, с. 8-10].

У технологічному процесі виробництва коренеплодів, однією з найбільш трудомістких операцій є збирання гички. Сучасні напрямки розвитку однофазних самохідних бункерних коренезбиральних машин передбачають блочно-модульний принцип їх побудови. Першим етапом однофазної технології збирання коренеплодів є збирання гички двостадійним способом – зрізування основного масиву гички роторним гичкорізом з наступним зрізуванням залишків гички дообрізчиком типу «пасивний копир-пасивний ніж» [3, с. 112-116].

Проблема підвищення технічного рівня гичкозбиральних модулів, основними критеріями оцінки яких є показники якості зрізування гички, залишається особливо актуальною в плані подальшого розвитку коренезбиральної техніки, розвитку і виробництво якої в Україні за останні роки практично припинили.

Тому, розробку та вдосконалення конструктивно-компонувальних схем гичкозбиральних машин та обґрунтування параметрів їх робочих органів необхідно проводити з урахуванням специфічних властивостей даного процесу, що є особливо важливим і актуальним у плані забезпечення необхідних показників якості роботи згідно з агротехнічними вимогами [8, с. 2-18].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результати, які наведені в працях [4, с. 3-15; 5, с. 3-16; 6, с. 3-5, с. 12-17; 7, с. 35-46] цілісно характеризують тільки основні принципи функціонування дообрізчиків залишків гички з головок коренеплодів без критеріального аналізу загальних тенденцій та шляхів підвищення інтенсифікацій процесу збирання гички, або показників якості роботи гичкозбиральних модулів.

Мета дослідження. Метою роботи є підвищення показників технологічного процесу збирання гички коренеплодів шляхом розробки та оптимізації параметрів робочих органів гичкозбиральних машин.

Дані дослідження є подальшим розвитком методології розробки технологічних процесів функціонування робочих органів дообрізчиків залишків гички з головок коренеплодів.

Результати дослідження. За результатами наукових досліджень, які наведено у праці [9, с. 206-212] отримано диференціальні рівняння, які описують рух робочої поверхні копіра по головці коренеплодів з умови їх невивалювання горизонтальною силою та непошкодження нормальною дотичною силою контакту, відповідно:

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_i \frac{|\Delta V_p|}{dt_n} = \left(\sum_{i=1}^{n_k} m_i \sqrt{\left(\frac{dV_k}{dt_n}\right)^2 + g^2} + \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x_c \sin \beta + \sum_{i=1}^{n_R} p_{0_i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2 \cos(\gamma - \varepsilon)} \right) NV_k \sin \varepsilon \leq [P_{c.max}]; \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_i \frac{|\Delta V_\sigma|}{dt_n} S_k = \left(\sum_{i=1}^{n_k} m_i \sqrt{\left(\frac{dV_{kx}}{dt_n}\right)^2 + g^2} + \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x_c \sin \beta + \sum_{i=1}^{n_R} p_{0_i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2 \cos(\gamma - \varepsilon)} \right) \frac{S_k NV_{kx}}{\cos \varepsilon} \leq [\sigma_{n.max}], \quad (2)$$

де $\sum_{i=1}^{n_k} m_i$ – сумарна маса рухомих частин дообрізчика, кг, ($i = 1, 2, \dots, n_k$); t_n – час ударного

контакту з одним коренеплодом, с; $\Delta \vec{V}_p = \vec{V}_{nx} - \vec{V}_k = \vec{V}_k k$; $\Delta \vec{V}_\sigma = \vec{V}_n - \vec{V}_{kx}$; \vec{V}_n , \vec{V}_{kx} – відповідно, вектор швидкості копіра після удару та початкової нормальної швидкості поверхні контакту копіра до удару (м/с), V_k , V_{kx} – відповідно, поступальна горизонтальна та нормальна швидкість робочої поверхні копіра, (м/с), V_{nx} – проекція вектора швидкості V_n на вісь OX ; k – модуль пружності коренеплоду; g – прискорення вільного падіння, м/с²; G – модуль зсуву матеріалу з якого виготовлено пружину, Н/мм²; d_n – діаметр матеріалу з якого виготовлено пружину, мм; D_n – середній діаметр пружини, мм; z – кількість витків пружини, шт.; Δx – абсолютне стиснення пружини, мм; β – кут між регулювальною тягою 10 та нижньою тягою 4, град.; f – коефіцієнт тертя пальця по втулці; p_0 – питомий розподіл тиску на площі контакту, Н/м²; l – довжина втулки, м; r_n – радіус втулки, м; N – кількість коренеплодів на 1 погонному метрі рядка, шт. м; ε – кут між напрямками осі OX та сумарною горизонтальною силою $\sum_{i=1}^n P_{c_i}$, яка діє на головку коренеплоду, або кут установки полозка копіра відносно горизонтальної площини, град.; $[P_{c.max}]$ – максимально допустима горизонтальна сила, Н; $[\sigma_{n.max}]$ – максимально допустимі нормальні напруження, Па; S_k – площа контакту робочої поверхні копіра (торцевих частин полозків копіра) з головою коренеплоду під час удару, м².

Розв'язавши нерівність (1) відносно $\frac{dV_k}{dt_n}$, а нерівність (2) відносно $\frac{dV_{kx}}{dt_n}$, одержано залежності для визначення допустимого дотичного прискорення робочої поверхні копіра дообрізчика з умови невивалювання a_p (м/с²) та непошкодження a_σ (м/с²) коренеплодів, відповідно

$$\frac{dV_k}{dt_n} = a_p \leq \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_k} m_i} \sqrt{\left(\frac{[P_{c.max}]}{NV_k \sin \varepsilon} - \left[\frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x_c \sin \beta - \sum_{i=1}^{n_R} p_{0_i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2 \cos(\gamma - \varepsilon)} \right] \right)^2 - \left(\sum_{i=1}^{n_k} m_i \right)^2 g^2 \sin^2 \varepsilon} \quad ; \quad (3)$$

$$\frac{dV_{kx}}{dt_n} = a_\sigma \leq \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_k} m_i} \sqrt{\left\{ \frac{[\sigma_{n,max}] \cos \varepsilon}{S_k NV_{kx}} - \left[\frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x \sin \beta - \sum_{i=1}^{n_k} p_{0i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos(\gamma - \varepsilon) \right] \right\}^2 - \left(\sum_{i=1}^{n_k} m_i \right)^2 g^2 \cos^2 \varepsilon}, \quad (4)$$

де a_p і a_σ – відповідно, допустиме прискорення робочої поверхні контакту копіра з головкою коренеплоду для умови невивалювання та непошкодження коренеплодів (м/с²).

Таким чином, допустима маса рухомих частин дообрізка головок коренеплодів із умови невивалювання та непошкодження коренеплодів, відповідно, $\sum_{i=1}^{n_k} m_{Pi}$, $\sum_{i=1}^{n_k} m_{\sigma i}$ визначається із залежностей (3) і (4):

- для умови невивалювання коренеплоді з ґрунту

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_{Pi} \leq \frac{\frac{[P_{c,max}]}{NV_k \sin \varepsilon} - \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x \sin \beta - \sum_{i=1}^{n_k} p_{0i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos(\gamma - \varepsilon)}{\sqrt{a_p^2 + g^2}}; \quad (5)$$

- для умови непошкодження коренеплодів

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_{\sigma i} \leq \frac{\frac{[\sigma_{n,max}] \cos \varepsilon}{S_k NV_{kx}} - \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x \sin \beta - \sum_{i=1}^{n_k} p_{0i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos(\gamma - \varepsilon)}{\sqrt{a_\sigma^2 + g^2}}. \quad (6)$$

Якщо прийняти характер руху копіра прямолінійним рівномірним, тоді дотичне прискорення під час рівномірного прямолінійного руху тіла дорівнює нулю, тобто $a_p = 0$, $a_\sigma = 0$.

З врахуванням прийнятого припущення для практичного застосування рівнянь (5), (6) визначаємо допустиму масу рухомих частин дообрізка для умови невивалювання та непошкодження коренеплодів з умови $V_k = const$

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_{Pi} \leq \frac{\frac{[P_{c,max}]}{NV_k \sin \varepsilon} - \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x \sin \beta - \sum_{i=1}^{n_k} p_{0i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos(\gamma - \varepsilon)}{g}; \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_{\sigma i} \leq \frac{\frac{[\sigma_{n,max}] \cos \varepsilon}{S_k NV_{kx}} - \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x \sin \beta - \sum_{i=1}^{n_k} p_{0i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos(\gamma - \varepsilon)}{g}. \quad (8)$$

Встановлено, що кут $\gamma' = \pi/2 - (\beta + \varepsilon)$.

Тоді, кут $\gamma = \pi/2 - [\pi/2 - (\beta + \varepsilon)] = \beta + \varepsilon$. Підставивши значення кута γ в рівняння (7), (8) та прийнявши конструктивно, що кут $\varepsilon = \varphi_k$, а $V_{kx} = V_k \cos \varepsilon$, при цьому $V_k = V_M$, одержано кінцеві залежності для визначення допустимої та приведені до центра мас копіра маси рухомих частин дообрізка залишків гички на головках коренеплодів для умови їх невивалювання та непошкодження для випадку $V_M = const$:

- для умови невивалювання коренеплодів з ґрунту

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_{Pi} \leq \frac{1}{g} \left\{ \frac{[P_{c,max}]}{NV_k \sin \varphi_k} - \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x \sin \beta - \sum_{i=1}^{n_k} p_{0i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos \beta \right\}; \quad (9)$$

- для умови непошкодження коренеплодів

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_{\sigma i} \leq \frac{1}{g} \left\{ \frac{[\sigma_{n,max}]}{S_k NV_k} - \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x \sin \beta - \sum_{i=1}^{n_k} p_{0i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos \beta \right\}. \quad (10)$$

Встановлено, що середнє значення прикладеної до вершини головки коренеплоду горизонтальної сили, за якої починається значне порушення зв'язків коренеплодів з ґрунтом залежно від параметрів і умов насаджень коренеплодів знаходиться у межах $[P_{c,max}] = 140...300$ (Н) [1], а прикладена нормальна сила до вершини головки коренеплоду опору входження полозка копіра на глибину 3...5 (мм) досягає значення $[P_{n,max}] = [\sigma_{n,max}] / S_k = 300...400$ (Н) [3, с. 85,

с. 88].

При початкових умовах $N = 5$ шт., $\varphi_k = \pi/3$ (град), $\frac{Gd_n^4}{8D_n^3z} = c = 70$ кг/м, $\Delta x = 0,1$ м,

$\beta = \pi/4$ град згідно з формулами (9), (10) побудовано залежність допустимої та приведеної до центра мас копіра маси рухомих частин дообрізчика $\sum_{i=1}^{n_k} m_i$ для умови невивалювання коренеплодів від швидкості руху ГМ V_M і допустимої горизонтальної сили $[P_{c.max}]$ та умови непошкодження коренеплодів від швидкості руху ГМ V_M і допустимої нормальної сили $[P_{n.max}]$, відповідно, як функції $\sum_{i=1}^{n_k} m_{Pi} = f_P(V_M; [P_{c.max}])$ та $\sum_{i=1}^{n_k} m_{\sigma i} = f_\sigma(V_M; [P_{n.max}])$, яку наведено на рис. 1. На рис. 2. наведено залежність зміни допустимої та приведеної до центра мас копіра маси рухомих частин дообрізчика $\sum_{i=1}^{n_k} m_i$ для умови невивалювання та непошкодження коренеплодів від швидкості руху ГМ V_M , тобто $\sum_{i=1}^{n_k} m_i = f_V(V_M)$ при постійних значеннях інших складових залежностей (9), (10).

Аналіз наведених залежностей (рис. 1) підтверджує логічність характеру зміни $\sum_{i=1}^{n_k} m_i$ відносно динамічності процесу контактної взаємодії робочих поверхонь копіра дообрізчика залишків гички з головок коренеплодів – зі збільшенням поступальної швидкості руху ГМ V_M допустима та приведена до центра мас копіра маса рухомих частин дообрізчика $\sum_{i=1}^{n_k} m_i$ для умови невивалювання коренеплодів з ґрунту та їх непошкодження зменшується у межах, відповідно, від 8,5 до 4 (кг) та від 10,2 до 6,0 (кг), а зі збільшенням допустимої горизонтальної $[P_{c.max}]$ та нормальної $[P_{n.max}]$ сили збільшується у відповідному зворотному напрямку, тобто зміна $\sum_{i=1}^{n_k} m_i$ залежно від V_M і $[P_{c.max}]$, $[P_{n.max}]$ має зворотний і прямий характер.

Ідентичність даних висновків і положень цілком адекватно підтверджується характером зміни залежностей, які регламентують допустиму та приведену до центра мас копіра масу рухомих частин дообрізчика $\sum_{i=1}^{n_k} m_i$ для умови невивалювання коренеплодів з ґрунту та їх непошкодження, що наведено на рис. 2а.

Залежно від збільшення кута φ_k встановлення копіра відносно горизонтальної площини, або кута β встановлення пружини паралелограмної підвіски у межах від 15 до 90 град (рис. 2б)

допустима та приведена до центра мас копіра маса рухомих частин дообрізчика $\sum_{i=1}^{n_k} m_i$ залишків гички з головок коренеплодів для умови невивалювання коренеплодів з ґрунту та їх непошкодження зменшується від 10 до 3,5 (кг).

Згідно з дослідженнями [3, с. 132] мінімальна маса апаратів для зрізування залишків гички з головок коренеплодів обмежується конструктивними міркуваннями в межах 6...8 (кг) виходячи з умови задовільного (без галоупування) копіювання головок коренеплодів полозками копіра.

Тоді, з врахуванням встановлених вище вимог і згідно з рис. 1, рис. 2 можна констатувати, що за допустимої горизонтальної і нормальної сили, відповідно, $[P_{c.max}] = 220$ Н і $[P_{n.max}] = 350$ Н параметри робочих органів дообрізчика залишків гички з головок коренеплодів повинні бути:

- поступальна швидкість руху ГМ повинна знаходитися в межах $1,6 \leq V_M \leq 1,9$ (м/с);
- кут встановлення копіра відносно горизонтальної площини повинен бути у межах $20 \leq \varphi_k \leq 35$ (град);
- кут встановлення пружини між тягами 3, 4 паралелограмної підвіски відносно горизонтальної площини повинен бути у межах $45 \leq \beta \leq 60$ (град).

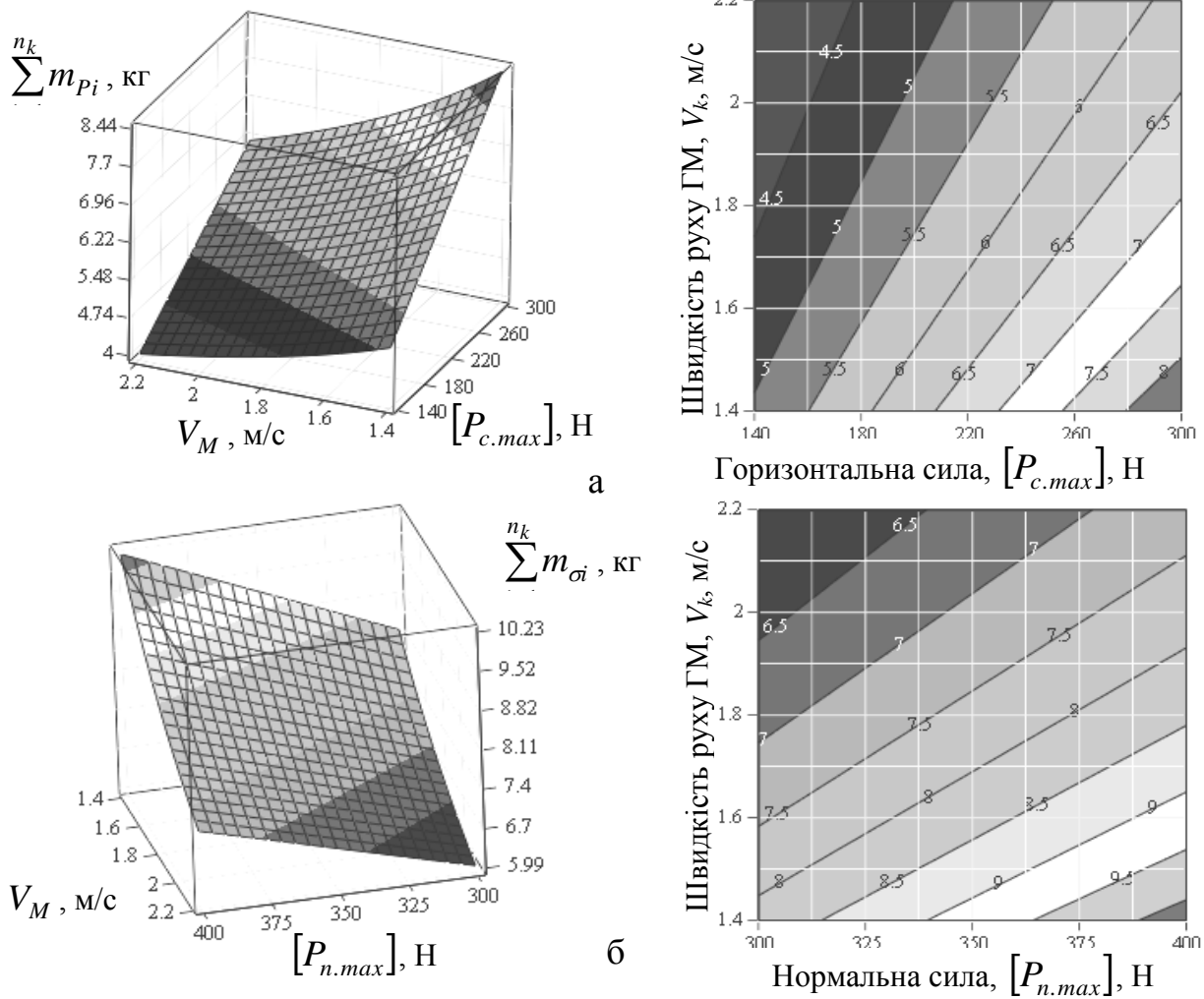


Рис. 1. Залежність допустимої та приведенної до центра мас копіра маси рухомих частин дообрізчика: а – для умови невивалювання коренеплодів від швидкості руху ГМ V_M і допустимої горизонтальної сили $[P_{c.max}]$ як функціонал $\sum_{i=1}^{n_k} m_{Pi} = f_P(V_M; [P_{c.max}])$; б – для умови непошкодження коренеплодів від швидкості руху ГМ V_M і допустимої нормальної сили $[P_{n.max}]$ як функціонал $\sum_{i=1}^{n_k} m_{oi} = f_\sigma(V_M; [P_{n.max}])$

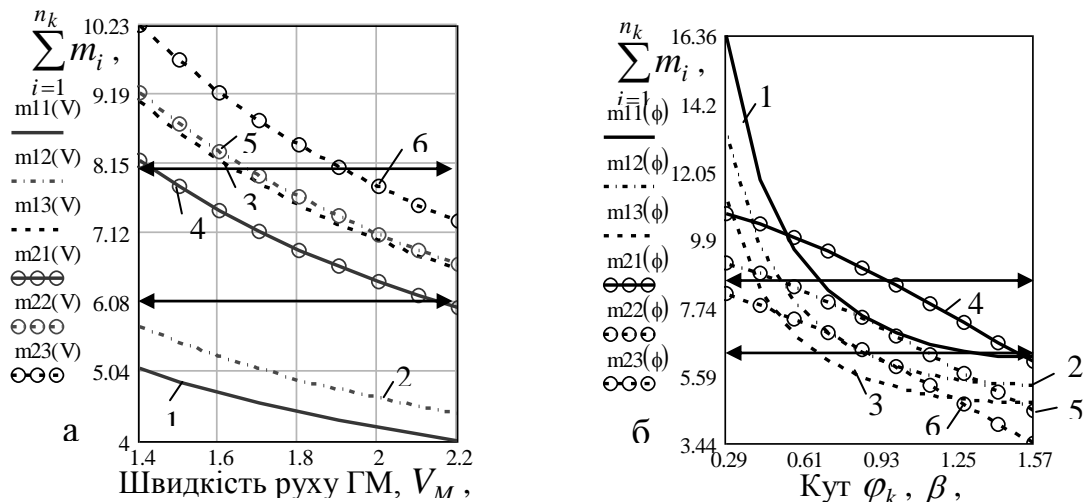


Рис. 2. Залежність допустимої та приведенної до центра мас копіра маси $\sum_{i=1}^{n_k} m_i$

рухомих частин дообрізчика для умови невивалювання та непошкодження коренеплодів: а – від швидкості руху ГМ V_M : 1, 2, 3 – відповідно, $[P_{c.max}] = 140, 170, 300$ (Н); 4, 5, 6 – відповідно $[P_{n.max}] = 300, 350, 400$ (Н); б – 1, 2, 3 – від кута φ_k , відповідно, $[P_{c.max}] = 140, 170, 300$ (Н); 4, 5, 6 – від кута β , відповідно $[P_{n.max}] = 300, 350, 400$ (Н)

Висновки. Проведені теоретичні дослідження залежностей основних параметрів дообрізчика головок коренеплодів можуть бути використанні в процесі його розробки і оптимізації конструктивно-технологічних показників.

1. Адамчук В.В. Про розробку і створення в Україні сільськогосподарських машин сучасного рівня / В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, В.В. Іванишин // Зб. наук. праць Вінницького націон. аграрн. ун-ту. Серія: Технічні науки. – Вінниця : ВНАУ, 2012. – Вип. 11. – Т. 2 (66). – С. 8–14.
2. Модульно-блочные уборочно-транспортные машины нового поколения / Л. Погорельый, С. Коваль, В. Шуринов [и др.] // Техніка АПК. – 1999. – № 1. – С. 6.
3. Свеклоуборочные машины. Конструирование и расчет [Погорельый Л.В., Татьяна Н.В., Брей В.В. и др.]; под ред. Л.В. Погорелого. – К.: Техніка, 1983. – 168 с.
4. Хелемендик Н.М. Исследование технологического процесса и рабочих органов для уборки сахарной свеклы в условиях Западной степи УССР : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.11 "Механизация сельскохозяйственного производства" / Н.М. Хелемендик. – Воронеж, 1968. – 18 с.
5. Погорельый Л.В. Исследование и разработка технологического процесса отделения ботвы от корней сахарной свеклы : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.11 "Механизация сельскохозяйственного производства" / Л.В. Погорельый. – К., 1964. – 24 с.
6. Татьяна Н.В. Исследование и усовершенствование аппарата для срезания ботвы с корней сахарной свеклы до их выкопки : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.11 "Механизация сельскохозяйственного производства" / Н.В. Татьяна. – Х., 1967. – 28 с.
7. Булгаков В.М. Теория свеклоуборочных машин : Монография / В.М. Булгаков, М.И. Черновол, Н.А. Свирень. – Кировоград : "КОД", 2009. – 256 с.
8. ДСТУ 2258-93. Машини бурякозбиральні. Загальні технічні умови. Київ.: Держстандарт України, 1993. – 18 с.
9. Смаль М.В. Математичні моделі процесу копіювання головок коренеплодів копіром пасивного дообрізчика залишків гички / М.В. Смаль, О.О. Герасимчук, В.М. Барановський // Зб. наук. праць Вінницького націон. аграрн. ун-ту. Серія: Технічні науки. – Вінниця : ВНАУ, 2012. – Вип. 11. – Т. 1 (65). – С. 206–212.

Стаття прийнята до друку 25.03.2015.