

УДК 631.356.22

© М.В. Смаль; О.О. Герасимчук, к.т.н.
Луцький національний технічний університет
В.М. Барановський, к.т.н.
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ГОЛОВОК КОРЕНЕПЛОДІВ ПАСИВНИМ НОЖЕМ ДООБРІЗЧИКА

Наведено результати теоретичних досліджень процесу видалення залишків гички дообрізчиком типу «пасивний копір-пасивний ніж». Побудовано детерміновану математичну модель, яка характеризує взаємозв'язок зміни сили різання головок коренеплодів пасивним ножем залежно від параметрів процесу.

РІЗАННЯ, ГОЛОВКИ, КОРЕНЕПЛОД, НІЖ, ГИЧКА

Постановка проблеми. З часу розробки та застосування перших технічних засобів для механізованого збирання цукрових буряків у світовій практиці накопичено великий досвід у сфері створення відповідних робочих органів і машин, у тому числі для збирання гички. Фізико-механічні властивості гички та коренеплодів цукрових буряків, їх розміщення відносно поверхні ґрунту в значній мірі впливають на умови роботи гичкозбиральних машин і, відповідно, регламентують особливості конструкції їх робочих органів [1].

Враховуючи специфічні механіко-технологічні властивості зв'язку гички з коренеплодами, можна зробити висновок, що технологічний процес збирання гички доцільно здійснювати комбінованим (двостадійним) способом, який включає в собі зрізування основного масиву гички з наступним видаленням залишків гички на головках коренеплодів дообрізчиком типу «пасивний копір-пасивний ніж» за принципом різання з ковзанням леза ножа вдовж головки коренеплодів [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні дослідження процесу зрізування гички цукрових буряків [3-5 та ін.] присвячені в основному дослідженню загальних принципів процесу дообрізування головок коренеплодів способом рублення, розробки різних технічних засобів реалізації даних положень і методик обґрунтування їх конструктивно-кінематичних параметрів. Відсутність теоретичних узагальнень процесу різання з проковзуванням леза ножа

вздовж головки коренеплодів зумовило проведення даних досліджень.

Мета дослідження. Метою даних досліджень є подальше удосконалення методології обґрунтування параметрів робочих органів для відокремлення залишків гички від коренеплодів, що дозволить підвищити показників якості зрізування головок коренеплодів шляхом удосконалення конструкції та вибору раціональних параметрів і режимів роботи дообрізчика.

Результати дослідження. На основі проведеного аналізу літературних джерел і враховуючи нову конструкцію розробленого пасивного ножа дообрізчика головок коренеплодів від залишків гички розглянемо процес різання лезом, яке в більшості випадків застосовується в гичкозбиральних, кормозбиральних, зернозбиральних та інших сільськогосподарських машинах.

Дообрізувач головок коренеплодів (рис. 1) виконаний у вигляді паралелограмної шарнірної підвіски, на стояку якої послідовно змонтовано пасивний гребінчастий копір і ніж, несучий лезо ріжучої кромки. Ніж виконаний у вигляді двоплечевого важеля, який встановлений шарнірно на вертикальному пальці, жорстко закріпленому на стояку. Ніж, а тобто і лезо ріжучої кромки жорстко зв'язане з гребінчастим копіром, завдяки стояку. Робочий хід леза ріжучої кромки ножа в горизонтальній площині обмежений упором, закріпленим на стояку і регульовальною пружиною, один кінець якої закріплений на плечі двоплечевого важеля, а другий – на стояку.

Технологічний процес взаємодії леза (рис. 1) ножа дообрізчика головкою коренеплодів від залишків гички наступний. Гребінчастий копір найжджає на головку коренеплодів, копіює головки коренеплодів і за допомогою паралелограмної шарнірної підвіски передає це переміщення гребінчастого копіра ножу. Ніж, рухаючись поступально напрямку руху гичкозбиральної машини, лезом ріжучої кромки обрізує головку коренеплодів на заданій висоті зрізу.

Розглянемо аналітично процес обрізування головки коренеплоду від залишків гички, при цьому вважаємо, що основна частина гички з головок коренеплодів попередньо зрізана робочими органами гичкозбиральної машини, тобто змодельовано коренеплід як нерухоме тверде тіло, що умовно закріплене в ґрунті, головка якого являє собою півсферу діаметром D_k .

Для проведення дослідження різання підпружиненим ножем головки коренеплодів складено еквівалентну схему процесу взаємодії леза ножа з поверхнею головки коренеплодів, яку наведено на рис. 2.

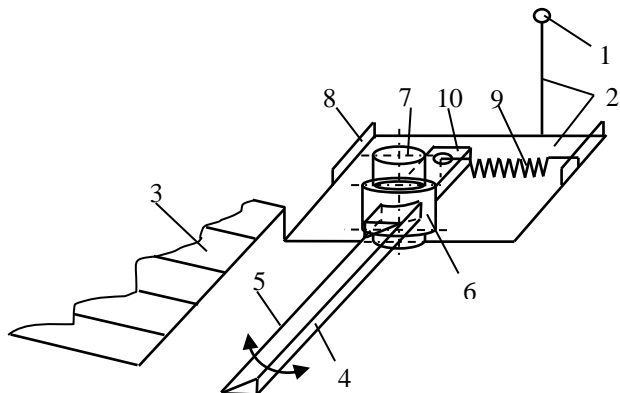


Рис. 1 – Конструктивна схема дообрізки головок коренеплодів:
 1 – паралелограмна підвіска; 2 – стояк; 3 – гребінчастий копір; 4 – ніж; 5 – лезо ножа; 6 – двоплечевий важіль;
 7 – палець; 8 – упор; 9 – регульовальна пружина; 10 – плече

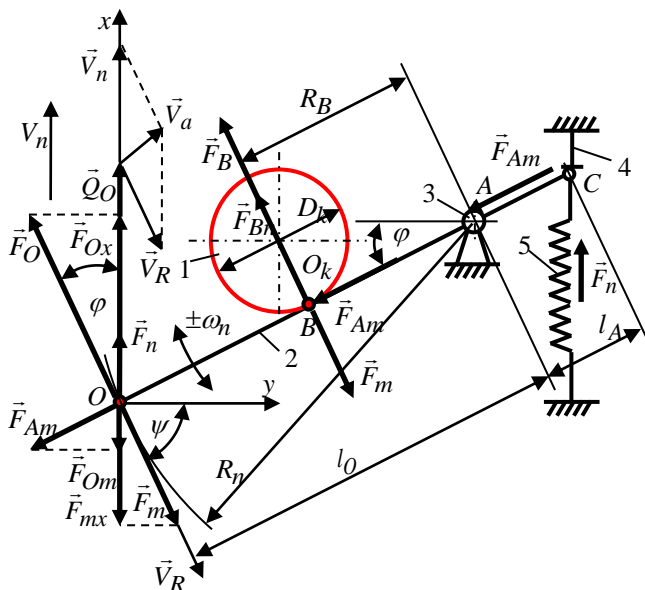


Рис. 2 – Схема процесу різання лезом підпружиненого ножа:
 1 – головка коренеплоду; 2 – лезо ножа; 3 – шарнір;
 4 – упор; 5 – регульовальна пружина

У процесі поступального руху гичкозбиральної машини зі швидкістю V_n , лезо ножа зрізує головку коренеплодів, при цьому під час різання головки лезо ножа відхиляється на вертикальному пальці шарніра до упора, виконуючи різання методом ковзання. Після зрізування головки коренеплодів ніж завдяки регулювальній пружині повертається в початкове положення.

Під час дослідження процесу зрізування головок цукрових буряків важливо врахувати основні пріоритетні фактори, які впливають на величину зусилля різання та основні показники якості обрізування головок коренеплодів. При цьому необхідно акцентувати, що:

- процес різання головок коренеплодів відбувається за рахунок одночасної дії поступального переміщення ножа та зусилля, яке виникає внаслідок дії пружини;

- процес різання головок коренеплодів лезом плоского підпружиненого ножа відбувається з одночасним поворотом і проковзуванням леза ножа вздовж поверхні зрізу головки коренеплодів.

При різанні коренеплодів, лезо плоского підпружиненого ножа здійснює два види руху, тобто поступальний, зі швидкістю V_n , яка дорівнює швидкості руху гичкозбиральної машини та обертовий, повертаючись на кут ϕ з кутовою швидкістю обертання $\pm\omega_n$, яка залежить від сумарного зусилля, що діє в зоні різання.

Зі сферичною поверхнею головки коренеплоду зв'яжемо нерухому систему декартових координат xOy , де початок відліку системи координат xOy розміщено у точці O початкового моменту контакту леза ножа радіусом R_n з головкою коренеплоду в точці B ; вісь Ox направимо вздовж, або паралельно поступальному напрямку руху леза ножа; вісь Oy – перпендикулярно до осі Ox .

За проміжок часу t точка O леза ножа одночасно переміщується в горизонтальному напрямку вздовж осі Ox з точки O відліку нерухомих координат xOy у точку B та повертається на кут ϕ , тобто зміна положення леза ножа відбувається в одній горизонтальній площині xOy . Розглянемо сили, які виникають в точках контакту процесу різання лезом ножа головки коренеплоду, при цьому вважаємо, що лезо ножа рухається тільки в поздовжньо-горизонтальній площині рівномірно та прямолінійно. У точці контакту B на поверхню головки коренеплоду діють наступні сили: сила тяжіння F_g ножа масою m_n ; сила тертя ковзання F_m леза ножа по поверхні зрізу

головки коренеплоду, яка напрямлена проти напрямку відносного руху леза ножа; сила різання F_B ріжучої кромки леза ножа за допомогою якої відбувається процес обрізування головки, яка радіальна поверхні зрізування головки коренеплоду та перпендикулярна лінії напрямку ріжучої кромки леза ножа та сила розтягнення пружини F_{Bn} , вектор якої направлений вздовж напрямку руху ножа. У точці A обертання ножа у вертикальному пальці прикладений вектор сили тертя \vec{F}_{Am} поворотної пари «палець-втулка» шарніра, напрямком якого протилежний напрямку обертання шарніра, що перешкоджає вільному повертання леза ножа.

Для встановлення закону руху точки O , або складання диференціального рівняння руху леза ножа в основних (узагальнених) координатах скористаємося рівнянням Лагранжа II роду. Тому що точка O володіє двома ступенями свободи, рівняння Лагранжа II роду приймає вигляд [6]

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T_n}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T_n}{\partial q_i} = Q_o, \quad (1)$$

де T_n – кінетична енергія ножа, Дж; q_i , \dot{q}_i , Q_o – відповідно, узагальнена координата точки, швидкість переміщення точки, узагальнена сумарна сила, яка діє на точку.

Тому, що узагальнена сумарна сила Q_o , яка діє на точку O співпадає з напрямком осі Ox , або з напрямком переміщення леза ножа зі швидкістю V_n , тоді координата x визначає положення леза ножа в довільний момент часу t , яку приймаємо за узагальнену координату, тобто $q = x$.

Кінетична енергія T_n ножа складається з суми кінетичної енергії поступального руху леза ножа T_V за ходом гичкозбиральної машини та кінетичної енергії підпружиненого ножа T_{R_n} від його кута повороту F_o , тобто

$$T_n = T_V + T_{R_n}. \quad (2)$$

Кінетичної енергії абсолютного руху ножа T_V дорівнює [7]

$$T_V = \frac{m_n V_a^2}{2} = \frac{m_n}{2} \left(\frac{dx_o}{dt} \right)^2 = \frac{S_n R_n \rho_n}{2} \left(\frac{dx_o}{dt} \right)^2, \quad (3)$$

де m_n – маса ножа, кг; V_a – абсолютна лінійна швидкість переміщення

леза ножа, м/с; x_o – абсолютне переміщення ножа, м; S_n – площа поперечного перерізу ножа, м²; R_n – довжина ножа, або радіус обертання ножа, м; ρ_n – питома маса матеріалу ножа, кг/м³.

Кінетична енергія ножа T_{R_n} від його кута повороту ϕ визначається за формулою [6]

$$T_{R_n} = \frac{I_n \omega_n^2}{2} = \frac{I_n}{2} \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2, \quad (4)$$

де I_n – момент інерції плоского ножа відносно осі повороту, кг м²; ω_n – кутова швидкість обертання ножа, рад/с; ϕ – кут повороту ножа, град;

Момент інерції ножа I_n відносно осі повороту F_{ox} , який виконано у формі прямокутної пластини визначається [6]

$$I_n = \frac{m_n R_n^2}{3} = \frac{S_n R_n^3 \rho_n}{3}, \quad (5)$$

або підставивши (5) в (4) одержимо

$$T_r = \frac{S_n R_n^3 \rho_n}{6} \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2. \quad (6)$$

Тоді, враховуючи (3) і (6), загальний вигляд рівняння (2), яке характеризує визначення кінетичної енергії абсолютного руху ножа T_n буде

$$T_n = \frac{S_n R_n \rho_n}{2} \left(\frac{dx_o}{dt} \right)^2 + \frac{S_n R_n^3 \rho_n}{6} \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2 = \frac{S_n R_n \rho_n}{2} \left[\left(\frac{dx_o}{dt} \right)^2 + \frac{R_n^2}{3} \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2 \right]. \quad (7)$$

Під час одночасного поступального руху ножа за ходом гичкозбиральної машини та обертання ножа на кут повороту ϕ абсолютна лінійна швидкість V_a точки O згідно з теоремою косинусів за ходом машини дорівнює [7]

$$V_a = \frac{dx_o}{dt} = \sqrt{V_n^2 - 2V_n V_R \cos\left(\frac{\pi}{2} + \psi\right) + V_R^2}, \quad (8)$$

де V_n – поступальна швидкість руху ножа, м/с; V_R – дотична швидкість переміщення ножа відносно кута повороту ϕ , м/с; $\psi = \pi/2 - \phi$ – кут між напрямками вектора дотичної швидкості \vec{V}_R та осі Oy . град.

Згідно з відомими положеннями [7] складові швидкостей (8)

будуть

$$V_n = \frac{dx}{dt}; \quad V_R = \omega_n R_n = R_n \frac{d\phi}{dt}, \quad (9)$$

де x – переміщення ножа вздовж осі Ox , м.

Підставивши (9) у (8) та враховуючи, що $\cos(\pi/2 + \psi) = -\cos\phi$ маємо

$$\begin{aligned} \frac{dx_o}{dt} &= \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + 2R_n \frac{dx}{dt} \frac{d\phi}{dt} \cos\phi + R_n^2 \left(\frac{d\phi}{dt}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + R_n \frac{d\phi}{dt} \left(2 \frac{dx}{dt} \cos\phi + R_n \frac{d\phi}{dt}\right)}. \end{aligned} \quad (10)$$

Тоді залежність, яка характеризує зміну кінетичної енергії ножа після підстановки (10) в (7) після спрощення матиме вигляд

$$T_n = S_n R_n \rho_n \left[\frac{1}{2} \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + R_n \frac{d\phi}{dt} \left(\frac{dx}{dt} \cos\phi + \frac{2R_n}{3} \frac{d\phi}{dt}\right) \right]. \quad (11)$$

Для визначення узагальненої сили Q_o за незалежною координатою x надамо системі можливе переміщення δ_x та визначимо сумарну елементарну роботу діючих сил приведених у точку O на заданому переміщенні.

Сумарна елементарна робота ножа $\sum_{i=1}^n \delta A$ (Дж) на заданому переміщенні δ_x вздовж осі Ox складається з сумарної елементарної роботи чотирьох діючих сил: сили різання F_{Ox} (Н) головки коренеплоду лезом ножа; сили тертя \vec{F}_{mx} (Н) леза ножа по поверхні зрізу головки коренеплоду; сили розтягнення пружини F_n (Н), яка виникає під час повороту ножа на кут ϕ ; сили тертя F_{Om} (Н) поворотної пари «палець-втулка» шарніра, які приведені в точку O

$$\sum_{i=1}^4 \delta A = \delta_x (F_{Ox} - F_{mx} + F_n - F_{Om}), \quad (12)$$

де δ_x – можливе переміщення ножа відносно осі Ox , м.

Тоді згідно з рівнянням (12) та рис. 2 маємо

$$Q_o = \frac{\delta Q_o}{\delta x} = (F_o - F_m) \cos\phi + F_n - F_{Am} \sin\phi, \quad (13)$$

де δQ_o – елементарна узагальнена сила, яка прикладена в точці O , Н.

Сила тертя F_m ножа по поверхні зрізу головки коренеплоду визначається за формулою

$$F_m = f_B N_B = f_B m_n g = f_B S_n R_n \rho_n g, \quad (14)$$

де f_B – коефіцієнт тертя тіла ножа по поверхні зрізу головки коренеплоду.

Силу різання F_O головки коренеплоду лезом ножа визначимо з рівності $F_O R_n = F_B R_B$, правомірність запису якої випливає з подібності прямокутних трикутників, попарними катетами яких є вектори сили \vec{F}_O , \vec{F}_B та довжини R_n , R_B , тобто

$$F_O = \frac{F_B R_B}{R_n}, \quad (15)$$

де F_B – сила різання головки коренеплоду ріжучої кромки леза ножа у точці контакту B , Дж; R_B – відстань від точки A повороту ножа до точки B його контакту з головкою коренеплоду, м.

Сила розтягнення циліндричної гвинтової пружини F_n згідно з [8] у даному випадку визначається за законом Гука

$$F_n = -c(x + \Delta) = -\frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z}(x + \Delta), \quad (16)$$

де c – коефіцієнт пружності матеріалу пружини, кг/с²; x – переміщення пружини, мм; Δ – статичне видовження пружини, мм; 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.

У загальному векторне значення сумарної сили тертя F_m поворотної пари «палець-втулка» шарніра повороту ножа згідно з [9] визначається за формулою

$$\vec{F}_{Am} = \vec{F}'_{Am} + \vec{F}'_{An}, \text{ або } F_{Am} = \sqrt{(F'_{Am})^2 + (F'_{An})^2}, \quad (17)$$

де $F'_{Am} = f F'_{An} = 2f_A p_0 l R_A$ – сила тертя поворотної пари «палець-втулка» шарніра повороту ножа (Н); f' – зведений коефіцієнт тертя пальця по втулці; $F'_{An} = 0,5\pi p_0 l R_A$ – сила нормального тиску, Н; f_A – коефіцієнт тертя пальця по втулці; p_0 – питомий розподіл тиску на площі контакту, Н/м²; l – довжина втулки, м; R_A – радіус втулки, м;

Якщо знехтувати силою нормального тиску F'_n , яка несуттєво

впливає на процес повороту ножа, тоді сили тертя F_m поворотної пари «палець-втулка» шарніра повороту ножа визнається за формулою

$$F_{Am} = 2f_A p_o l R_A. \quad (18)$$

Таким чином, підставивши значення складових сил з рівнянь (14), (15), (16) і (17) у формулу (12), а потім у (13) одержимо залежності для визначення сумарної елементарної роботи ножа $\sum_{i=1}^4 \delta A$

та узагальненої сили Q_O за незалежною координатою x

$$\sum_{l=1}^4 \delta A = \delta_x \left(\frac{F_B R_B}{R_n} \cos \phi - f_B S_n R_n \rho_n g + \frac{G d_n^4}{8 D_n^3 z} (x + \Delta) - 2 f_A p_o l R_A \sin \phi \right); \quad (19)$$

$$Q_O = \frac{F_B R_B}{R_n} \cos \phi - f_B S_n R_n \rho_n g + \frac{G d_n^4}{8 D_n^3 z} (x + \Delta) - 2 f_A p_o l R_A \sin \phi. \quad (20)$$

Для подальшого аналізу розглянемо положення рівноваги системи. У положенні рівноваги системи, враховуючи (13), (15), (16) маємо

$$F_{Ox} = -c \Delta, \text{ або } \frac{F_B R_B}{R_n} \cos \phi = -c \Delta = -\frac{G d_n^4}{8 D_n^3 z} \Delta. \quad (21)$$

Тоді залежність (19) можна записати у наступному кінцевому вигляді

$$\sum_{i=1}^4 \delta A = \left(-2 f_A p_o l R_A \sin \phi - f_B S_n R_n \rho_n g - \frac{G d_n^4}{8 D_n^3 z} x \right) \delta_x, \quad (22)$$

а узагальнена результуюча сила Q_O , враховуючи (20), (22) буде

$$Q_O = -2 f_A p_o l R_A \sin \phi - f_B S_n R_n \rho_n g - \frac{G d_n^4}{8 D_n^3 z} x. \quad (23)$$

Складемо рівняння Лагранжа II роду.

У загальному вигляді для узагальненої координати x складові вирази мають вигляд

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} = m_n \dot{x}; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) = m_n \ddot{x}. \quad (24)$$

а якщо врахувати, що $\partial T / \partial x = 0$, тоді

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial T}{\partial x} = m \ddot{x}. \quad (25)$$

Для складання рівняння Лагранжа II роду в залежності (11),

яка характеризує зміну кінетичної енергії ножа T_n проведемо заміну виразу кутової швидкості повороту леза ножа $\frac{d\phi}{dt} = \omega_n$ через лінійну швидкість точки O леза ножа, яка під час його повороту на кут ϕ за ходом машини дорівнює

$$\frac{dx}{dt} = \omega_n R_n \cos \phi = \frac{d\phi}{dt} R_n \cos \phi, \text{ або } \frac{d\phi}{dt} = \frac{dx}{dt} \frac{1}{R_n \cos \phi}. \quad (26)$$

Тоді підставивши з (26) значення $\frac{d\phi}{dt}$ у вираз (11) одержимо рівняння для визначення зміни кінетичної енергії ножа T_n

$$T_n = S_n R_n \rho_n \left[\left(\frac{dx}{dt} \right)^2 \left(\frac{3}{2} + \frac{2}{3 \cos^2 \phi} \right) \right]. \quad (27)$$

У нашому випадку, враховуючи (2.27) та згідно з (2.24) складові вирази рівняння Лагранжа II роду мають вигляд

$$\frac{\partial T_n}{\partial \frac{dx}{dt}} = S_n R_n \rho_n \left[\frac{dx}{dt} \left(3 + \frac{4}{3 \cos^2 \phi} \right) \right]; \quad (28)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T_n}{\partial \frac{dx}{dt}} \right) = S_n R_n \rho_n \left[\frac{d^2 x}{dt^2} \left(3 + \frac{4}{3 \cos^2 \phi} \right) \right]; \quad \frac{\partial T_n}{\partial x} = 0. \quad (29)$$

Тоді враховуючи (27), (23), (29) та згідно з (1) можемо записати

$$\begin{aligned} S_n R_n \rho_n \left[\frac{d^2 x}{dt^2} \left(3 + \frac{4}{3 \cos^2 \phi} \right) \right] = \\ = -f_B S_n R_n \rho_n g - \frac{G d_n^4}{8 D_n^3 z} x - 2 f_A p_o l R_A \sin \phi \end{aligned} \quad (30)$$

або після перетворення (30) одержимо

$$\begin{aligned} \frac{d^2 x}{dt^2} = - \frac{3 \cos^2 \phi}{S_n R_n \rho_n (9 \cos^2 \phi + 4)} \times \\ \times \left[\frac{G d_n^4}{8 D_n^3 z} x + f_B S_n R_n \rho_n g + 2 f_A p_o l R_A \sin \phi \right]. \end{aligned} \quad (31)$$

Одержана залежність у вигляді диференціального рівняння

(31) є розрахунковою математичною детермінованою моделлю, яка характеризує процес різання головок коренеплодів лезом ножа дообрізчика.

Висновки. Наведена детермінована математична модель процесу різання головок коренеплодів є рівнянням руху леза ножа дообрізчика залишків гички на головках коренеплодів і може бути використана в процесі розробки та обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів і режимів роботи гичкозбиральних машин.

Література

1. Погорелый Л.В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз / Л.В. Погорелый, М.В. Татьяна. – К. : Феникс, 2004. – 232 с.
2. Мишин М.А. Анализ конструкций режущих аппаратов к свеклоуборочным машинам / М.А. Мишин, И.П. Бабко, Э.Б. Борщевская // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1992. – № 4. – С. 21 – 24.
3. Мартиненко В.Я. Гичкозбиральні машини / Мартиненко В.Я. – Тернопіль : ТОВ “Поліграфіст”, 1997. – 108 с.
4. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Резник Н.Е. – М. : Машиностроение, 1975. – 305 с.
5. Татьяна Н.В. Исследование и усовершенствование аппарата для срезания ботвы с корней сахарной свеклы : автореф. дисс. на соискание научн. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.11 “Механизация сельскохозяйственного производства” / Н.В. Татьяна – Харьков, 1967. – 28 с.
6. Айзерман А.А. Классическая механика / А.А. Айзерман. – Главн ред. физ.-мат. лит.– М. : «Наука». – 1974. – 368 с.
7. Добронравов В.В. Курс теоретической механики : [учебник для вузов, 3-е изд., перераб.] / В.В. Добронравов, Н.Н. Никитин, А.Л. Дворников. – М. : Высшая школа, 1974. – 528 с.
8. Яблонский А.А. Курс теоретической механики : [учебник для вузов, часть 2, 4-е изд.] / Яблонский А.А.. – М. : Высшая школа, 1971. – 347 с.
9. Бутенин Н.В. Курс теоретической механики : [учебник, том II. : Динамика, 3-е изд., исправл.] / Н.В. Бутенин, Я.Л. Лунц, Д.Р. Меркин. – М. : Наука, 1985. – 496 с.

Рецензент д.т.н., проф. О.А.Науменко.