

9. Михальченков А.М. Новые способы упрочнения плужных лемехов. / Михальченков А.М., Тюрева А.А., Михальченкова М.А. – М.: Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – №12. – С. 39–40.
10. Рабинович А.Ш. Повышение износостойкости лемехов / А.Ш. Рабинович // Сельхозмашина. – 1957. – №11. – С. 39.
11. Особенности дуговой точечной сварки плавящимся электродом / [Терещенко В.И., Шаровольский А.Н., Сидоренко К.А., Трошин В.А.]. – К.: Автоматическая сварка. – 1983. – №9. – С. 51–53.

С целью увеличения сроков службы и повышения работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих орудий предлагается локальное упрочнение их режущих элементов.

Локальное упрочнение, лезвие лемеха плуга, экспонента, упрочнение наплавкой, почвообрабатывающие орудия.

With the purpose of increase of terms of service and increase of capacity of workings organs of tillage implement local work-hardening of their cuttings elements is offered.

Local work-hardening, blade of ploughshare of plough, eksponenta, work-hardening naplavkoy, tillage implement.

УДК 633.63:631.35

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НОВОГО ГИЧКОВІДОКРЕМЛЮВАЛЬНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ

***В.М. Булгаков, доктор технічних наук, академік НААН України
А.М. Борис, інженер***

Представлені результати теоретичного дослідження коливань лопатей нового копінно-роторного гичковідокремлювального робочого органу. При цьому визначено період і кругову частоту коливань лопаті.

Цукровий буряк, коренеплід, головка коренеплоду, гичка, лопать ротора, копінно-роторний орган.

Вступ. Однією з найбільш трудомістких та енергомістких операцій у сільськогосподарському виробництві є збирання цукрових буряків. Враховуючи те, що Україна належить до високорозвинутих бурякосіючих країн Європи і світу і цукор є одним із стратегічних продуктів харчування, вітчизняному сільськогосподарському машинобудуванню необхідно налагодити випуск бурякозбиральних

© В.М. Булгаков, А.М. Борис, 2012

машин, функціональні та експлуатаційні показники яких повинні відповідати рівню найкращих світових аналогів.

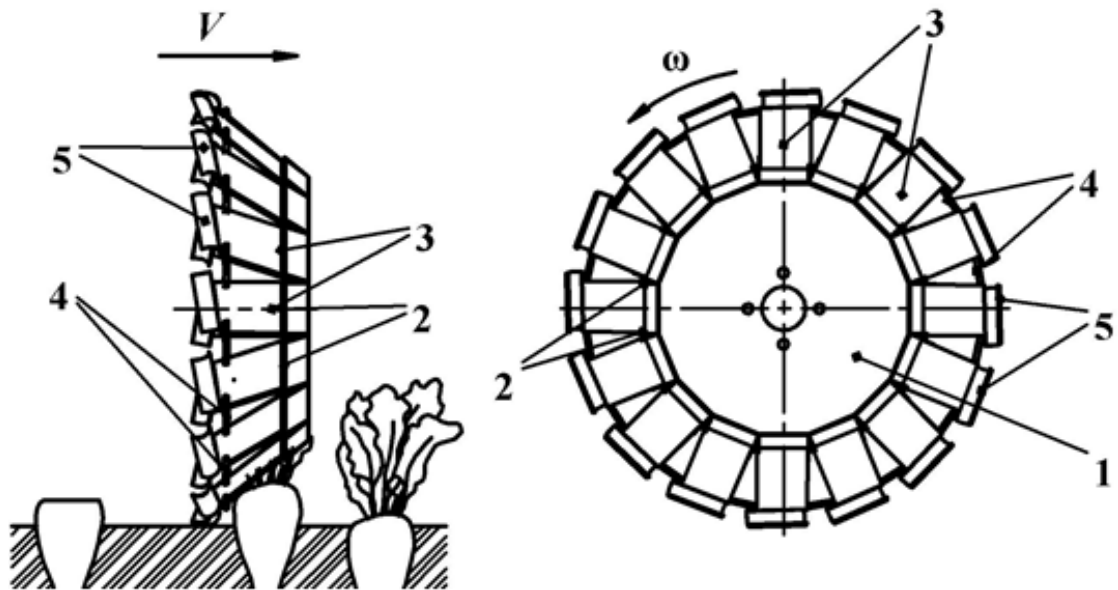
Підвищення якісних показників процесу збирання цукрових буряків є комплексною науково-технічною проблемою, вирішення якої повинно базуватись на пошуку нових конструктивних рішень робочих органів та компоновальних схем машин, ґрунтовному теоретичному обґрунтуванні їх конструктивних та технологічних параметрів, експериментальному підтвердженні проведених теоретичних досліджень з кінцевою метою аналізу і синтезу оптимальних їх параметрів.

Однією з головних та відповідальних операцій у технологічному процесі збирання цукрових буряків є видалення гички з головок коренеплодів на корені. Останнім часом широкого розповсюдження у світі набули гичкозбиральні машини з ротаційними різальними апаратами. Однак більшість з запропонованих гичкорізальних апаратів цих машин мають загальні для усіх робочих органів проблеми, які пов'язані з копіюванням головок коренеплодів, розташованих на різній висоті виступання над рівнем поверхні ґрунту, різних їх відхилень від осрової лінії рядка, наявності на головках сухої і полеглої гички тощо.

Постановка проблеми. Найбільш розповсюдженим способом відокремлення гички є копірний зріз. Відомі гичкозрізувальні апарати активного типу забезпечують якісний зріз гички при поступальних швидкостях не більше 1,5 м/с. Коренезбиральні машини, які викопують після цього коренеплоди з ґрунту, можуть працювати при робочих швидкостях 2...2.5 м/с. Така неузгодженість за робочими швидкостями створює технологічну несумісність гичкозрізувальних і викопуючих робочих органів коренезбиральних машин. Рішення цієї проблеми можливе шляхом створення нового вискоелективного і високопродуктивного копірного гичковідокремлювального апарата.

Аналіз останніх досліджень. Нами було проведено теоретичне дослідження комбінованого способу відокремлення гички і обґрунтовано раціональний діапазон копірного зрізу [1]. Встановлено, що копірним зрізом доцільно зрізати головки коренеплодів, що виступають 30...60 мм над рівнем поверхні ґрунту. Головки коренеплодів цукрових буряків, висота виступання яких менша 30 мм і більша 60 мм, необхідно зрізати безкопірним зрізом. Така технологія зрізу гички практично реалізована у більшості бурякозбиральних комбайнів іноземних фірм. Проводиться безкопірний зріз роторним гичкорізом основної маси гички та головок коренеплодів, що високо виступають над рівнем ґрунту. Також пасивним дообрізчиком виконується безкопірний зріз головок коренеплодів, висота виступання яких не перевищує початкового вертикального зазору. Коренеплоди із середньою висотою виступання головок дообрізуються пасивним копірним дообрізчиком із зворотною вертикальною поправкою. Враховуючи дані

дослідження, нами запропонована конструкція нового копірно-роторного гичковідокремлювального робочого органа (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Дослідний зразок нового копірно-роторного гичковідокремлювального робочого органа: а) конструктивна схема; б) загальний вигляд: 1 – несучий диск; 2 – циліндричні шарніри; 3 – лопаті; 4 – гнучка в'язь з упорами; 5 – ножі.

Копірно-роторний гичковідокремлювальний робочий орган (рис. 1,а) складається із горизонтального ротора з віссю обертання, що направлена вздовж рядка коренеплодів, на кінці якого закріплений несучий диск 1. На периферії диска 1 у циліндричних шарнірах 2 встановлені шістнадцять капронових лопатей 3, кінці яких зв'язані між собою гнучкою в'яззю 4 зі спеціальними упорами і кожна з них має закріплені ножі 5 дугоподібної форми. Кут відхилення лопатей 3 обмежений і становить $40...50^\circ$ до площини диска 1.

При наїзді на головку коренеплоду кожна лопать 3 відхиляється від площини обертання і за допомогою гнучкої в'язі 4 та спеціального упору відхиляє наступну лопать. Таким чином, взаємодіючи із головкою коренеплоду, лопаті 3 очищають її вершину від гички, яка потім з рештками гички дообрізується ножами 5, що розташовані на кінцях лопатей 3.

При попередньому безкопінному зрізі високовиступаючих коренеплодів і гички, даний робочий орган виконує безкопінний зріз низьковиступаючих коренеплодів і копінний зріз коренеплодів середнього діапазону висот виступання. При максимальній висоті виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту до 80 мм можливо проводити зріз гички без попереднього безкопінного зрізу високовиступаючих коренеплодів (рис. 1 б).

Мета досліджень. Процес взаємодії копінно-роторного гичковідокремлювального робочого органу з головками коренеплодів носить циклічний характер. Тому, важливою умовою працездатності робочого органу є відновлення кожною лопаттю свого початкового положення перед наступною взаємодією з коренеплодом. Для обґрунтування раціональних параметрів даного робочого органу необхідно визначити залежність періоду і кругової частоти коливань лопаті від її конструктивно-технологічних параметрів.

Результати досліджень. Складемо, перш за все еквівалентну схему, розглядаючи копінно-роторний гичковідокремлювальний робочий орган, який складається із валу, на якому жорстко закріплена маточина у вигляді диска і приєднану до нього за допомогою циліндричного шарніра пряму лопать (рис. 2). Введемо праві прямокутні системи координат: $OXYZ$ – інерціальна система координат, пов'язана з геометричним центром маточини, і $Oxyz$ – рухома система координат, що жорстко зв'язана з валом ротора. Осі OY і Oy сумістимо з віссю обертання ротора, вісь Ox – з поздовжньою віссю лопаті у не відхиленому стані (кут відхилення лопаті $\varphi = 0$). Ротор обертається навколо своєї осі з кутовою швидкістю $\omega = \text{const}$. Шарнірне закріплення лопаті дозволяє їй здійснювати маховий рух з площини обертання Oxz .

Для побудови рівняння руху лопаті виділимо на неї елементарний елемент $d\xi$ і визначимо прискорення, з яким він рухається. Це у подальшому дасть підстави підрахувати обумовлену ним силу інерції. Вектор абсолютного прискорення елемента лопаті $d\xi$ буде дорівнювати [2]:

$$\bar{a} = \bar{a}^e + \bar{a}^r + \bar{a}^c, \quad (1)$$

де \bar{a}^e , \bar{a}^r та \bar{a}^c – відповідно вектори переносного, відносного і коріолісового прискорення елемента лопаті $d\xi$.

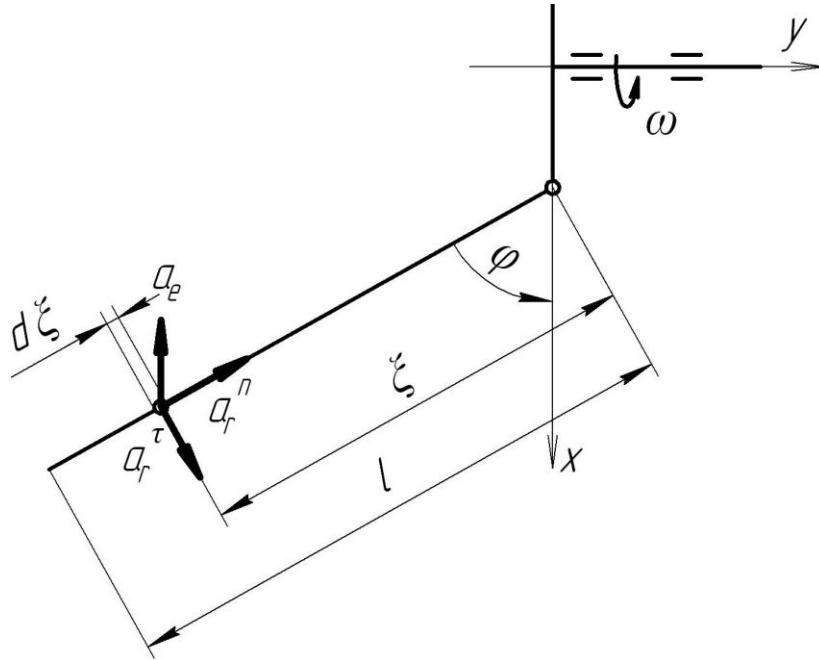


Рис. 2. Еквівалентна схема гичковідокремлювального робочого органу.

Переносне прискорення елемента лопаті визначається за такою формулою:

$$|\bar{a}_e| = (r_o + \xi \cos \varphi) \omega^2, \quad (2)$$

де r_o – відстань від осі шарніра до осі обертання ротора; ξ – поточна координата елемента лопаті $d\xi$; φ – відхилення лопаті від площини обертання.

Знайдемо проекції вектора \bar{a}^e на осі системи координат Oxy , матимемо:

$$a_x^e = -(r_o + \xi \cos \varphi) \omega^2, \quad (3)$$

$$a_y^e = 0. \quad (4)$$

Відносно прискорення лопаті визначимо як векторну суму нормального і тангенціального прискорень:

$$a_r = a_r^n + a_r^\tau, \quad (5)$$

Нехай лопать знаходиться у відхиленому стані і відцентрові сили намагаються встановити її у площину обертання ротора. Очевидно, що в даному випадку лінійна швидкість її буде збільшуватись і кутове прискорення a_r^τ буде додатнім і направлене згідно рисунка. У цій же системі координат визначимо складові вектора \bar{a}^r . Вони будуть дорівнювати:

$$a_{rx}^n = -\dot{\varphi}^2 \xi \cos \varphi, \quad (6)$$

$$a_{ry}^n = \dot{\varphi}^2 \xi \sin \varphi, \quad (7)$$

$$a_{rx}^{\tau} = \dot{\varphi} \xi \sin \varphi, \quad (8)$$

$$a_{ry}^{\tau} = \dot{\varphi} \xi \cos \varphi. \quad (9)$$

Для даного положення лопаті у прийнятій системі координат коріолісове прискорення направлено перпендикулярно площині рисунку, тому будемо вважати, що воно не впливає на маховий рух лопаті навколо осі підвісу.

З урахуванням виразів (1)–(9) визначимо компоненти абсолютного прискорення елемента лопаті.

Спроектуємо складові абсолютного прискорення на осі x і y , матимемо:

$$a_x = -r_o \omega^2 - \xi \cos \varphi \omega^2 - \dot{\varphi}^2 \xi \cos \varphi + \ddot{\varphi} \xi \sin \varphi, \quad (10)$$

$$a_y = \dot{\varphi}^2 \xi \sin \varphi + \ddot{\varphi} \xi \cos \varphi. \quad (11)$$

Знаючи компоненти вектора a , знайдемо компоненти елементарної сили інерції. В проєкціях на вісі x та y :

$$dF_x^j = -\gamma s a_x d\xi, \quad (12)$$

$$dF_y^j = -\gamma s a_y d\xi, \quad (13)$$

де γ , s , – щільність матеріалу і площа поперечного перетину лопаті.

Для складання рівняння руху лопаті визначимо моменти сил інерції відносно шарніра.

У даному випадку досліджується маховий рух лопаті у площині Oxy . До рівняння рівноваги увійдуть моменти сил інерції F_x^j і F_y^j , що діють в цій площині.

Скористаємось звичайним правилом знаків: позитивним будемо вважати момент сил, направлений проти ходу годинникової стрілки. Елементарний момент сил інерції, що діють в площині Oxy , буде дорівнювати:

$$dM = -\gamma s (a_x \sin \varphi + a_y \cos \varphi) \xi d\xi. \quad (14)$$

Інтегруючи елементарний момент в межах від 0 до l , отримаємо момент сил інерції, що діють на лопать, відносно осі шарніра:

$$M = \int_0^l [-\gamma s (a_x \sin \varphi + a_y \cos \varphi)] \xi d\xi. \quad (15)$$

Враховуючи (10) і (11), вираз в круглих дужках, що входить у (15), набуде наступного вигляду:

$$\begin{aligned} a_x \sin \varphi + a_y \cos \varphi = & -r_o \omega^2 \sin \varphi - \xi \cos \varphi \sin \varphi \omega^2 - \\ & - \xi \dot{\varphi}^2 \cos \varphi \sin \varphi + \ddot{\varphi} \xi \sin^2 \varphi + \dot{\varphi}^2 \xi \sin \varphi \cos \varphi + \\ & + \ddot{\varphi} \xi \cos^2 \varphi = -r_o \omega^2 \sin \varphi - \xi \cos \varphi \sin \varphi \omega^2 + \xi \ddot{\varphi}. \end{aligned}$$

Тоді момент сил інерції буде дорівнювати:

$$M = -\gamma s \int_0^l \left[-\xi r_o \omega^2 \sin \varphi - \xi^2 \cos \varphi \sin \varphi \omega^2 + \xi^2 \ddot{\varphi} \right] d\xi, \quad (16)$$

або:

$$\begin{aligned} M &= -\gamma s \left(-\frac{\xi^2}{2} r_o \omega^2 \sin \varphi - \frac{\xi^3}{3} \cos \varphi \sin \varphi \omega^2 + \frac{\xi^3}{3} \ddot{\varphi} \right) \Big|_0^l = \\ &= \gamma s \left(\frac{l^2}{2} r_o \omega^2 \sin \varphi + \frac{l^3 \omega^2}{3} \cos \varphi \sin \varphi - \frac{l^3}{3} \ddot{\varphi} \right). \end{aligned} \quad (17)$$

Складемо рівняння рівноваги моментів сил відносно шарніра. Оскільки момент реакції шарніра відносно шарніра дорівнює нулю, то рівняння рівноваги матиме вигляд:

$$M = 0.$$

Тому прирівняємо останній вираз до нуля і скоротимо на $\frac{1}{3} \gamma s l^3$:

$$\ddot{\varphi} - \cos \varphi \sin \varphi \omega^2 - \frac{3}{2} \frac{r_o}{l} \omega^2 \sin \varphi = 0. \quad (18)$$

Таким чином, отримано нелінійне диференціальне рівняння руху лопаті навколо осі підвісу.

При малих кутах відхилення лопаті $\varphi \leq 10^\circ$ можна прийняти $\sin \varphi = \varphi$, а $\cos \varphi = 1$. У даному випадку рівність (18) набуде вигляду:

$$\ddot{\varphi} - \varphi \omega^2 - \frac{3}{2} \frac{r_o}{l} \omega^2 \varphi = 0.$$

Або

$$\ddot{\varphi} - \left(\omega^2 + \frac{3}{2} \frac{r_o}{l} \omega^2 \right) \varphi = 0.$$

Запишемо дане диференціальне рівняння у вигляді:

$$\ddot{\varphi} - k^2 \varphi = 0, \quad (19)$$

де

$$k^2 = - \left(\omega^2 + \frac{3}{2} \frac{r_o}{l} \omega^2 \right).$$

Диференціальне рівняння (19) є лінійним однорідним рівнянням другого порядку з постійними коефіцієнтами. Його характеристичне рівняння має вигляд:

$$\lambda^2 + k^2 = 0.$$

Коренями характеристичного рівняння є комплексні величини $\lambda_{1,2} = \pm ki$. Відповідно рішення рівняння запишемо у вигляді:

$$\varphi = C_1 \cos kt + C_2 \sin kt.$$

Для визначення сталих інтегрування C_1 і C_2 запишемо:

$$\dot{\varphi} = -C_1 k \sin kt + C_2 k \cos kt.$$

Враховуючи, що лопать вільно рухається після контакту з коренеплодом буряку і підставивши початкові значення:

$$\text{при } t = 0; \quad \varphi = \varphi_{\max} = \arccos\left(\frac{b-h}{l}\right) - \arccos\left(\frac{b}{l}\right) + \varphi_0; \quad \text{і} \quad \dot{\varphi} = 0,$$

де b – відстань від шарніра до поверхні ґрунту; h – максимальна висота виступання головки коренеплоду над рівнем поверхні ґрунту.

Підставивши значення отримаємо:

$$C_1 = \varphi_{\max} = \arccos\left(\frac{b-h}{l}\right) - \arccos\left(\frac{b}{l}\right) + \varphi_0, \quad C_2 = 0, \quad k^2 = -\left(\omega^2 + \frac{2r_0}{3l}\omega^2\right).$$

Значення r_0 визначимо з умови забезпечення достатньої швидкості різання на кінці робочого елемента при заданому режимі ω :

$$r_0 = \frac{V_r}{\omega} - l \cos \varphi_{\max},$$

де V_r – необхідна мінімальна швидкість різання.

Рівняння руху після підстановки значень C_1 і C_2 прийме такий вигляд:

$$\varphi = \left[\arccos\left(\frac{b-h}{l}\right) - \arccos\left(\frac{b}{l}\right) \right] + \varphi_0 \cos\left(\sqrt{\omega^2 + \frac{2\omega(V_r - \omega l \cos \varphi_{\max})}{3l}} t \right).$$

Кругова частота коливань k буде дорівнювати:

$$k = \sqrt{\omega^2 + \frac{2\omega(V_r - \omega l \cos \varphi_{\max})}{3l}}.$$

Період коливань визначимо за такою формулою:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega^2 + \frac{2\omega(V_r - \omega l \cos \varphi_{\max})}{3l}}}.$$

Таким чином, визначені параметри, що характеризують технологічний процес нового копінного-роторного гичковідокремлювального робочого органу.

Висновки

1. Розроблена конструкція нового копінного-роторного гичковідокремлювального робочого органу, який дозволяє суттєво підвищити якість зрізу гички (залишків гички) з головок коренеплодів цукрового буряку.

2. Отримано нелінійне диференціальне рівняння махових коливань лопаті. При його чисельному вирішенні визначаються конструктивно-технологічні параметри робочого органу в залежності від необхідного часу відновлення початкового положення лопаті.

3. В першому наближенні для малих кутів відхилення лопаті, знайдено аналітичне рішення диференціального рівняння, що дасть змогу попередньо промоделювати вплив конструктивно-

технологічних параметрів гичковідокремлювального робочого органу на частоту та період коливань лопаті.

Список літератури

1. Булгаков В.М. Теорія робочого процесу видалення гички з коренеплодів цукрових буряків / В.М. Булгаков, А.М. Борис // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2011. – Вип. 166, ч. 1. – 350 с.
2. Гуляев В.И. Колебания систем твердых и деформируемых тел при сложном движении / В.И. Гуляев, П.П. Лизунов. – К.: Вища школа, 1989. – 197 с.

Приведены результаты теоретических исследований колебаний лопастей копирно-роторного ботвосрезающего аппарата. Определенно период и круговую частоту колебаний лопасти.

Корнеплод, головка корнеплода, ботва, лопасть ротора, копирно-роторный ботвосрезающий аппарат.

The results of theoretical researches of vibrations of blades of template-controlled-rotor are resulted. Certainly period and circular frequency of vibrations of blade.

Root crop, head of root crop, beet tops, blade of rotor, template-controlled-rotor.

УДК 621.752.2

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ НЕЛІНІЙНОЇ ПНЕВМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ВІБРОЗАХИСТУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН ЗІ ЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ ДЕМПФУВАННЯ

**Д.Г. Войтюк, кандидат технічних наук,
член-кореспондент НААН України
Ю.В. Човнюк, Ю.О. Гуменюк, О.П. Гуцол,
кандидати технічних наук**

Наведена методика розрахунку нелінійної пневматичної системи віброзахисту сільськогосподарських машин зі змінною структурою демпфування, яка дозволяє проектувати та конструювати вказані системи, що є ефективним у області низьких частот; прості і доступні до впровадження у сучасному сільськогосподарському машинобудуванні.

Віброзахист, демпфірування, резонатор, підвіска, пневмосистема.

© Д.Г. Войтюк, Ю.В. Човнюк, Ю.О. Гуменюк, О.П. Гуцол, 2012