

УДК 631.356.02

Булгаков В.М., д.т.н., акад. НААН,
(Національний університет біоресурсів
і природокористування України)

Борис А.М., к.т.н.,
(Національний науковий центр
“Інститут механізації та електрифікації
сільського господарства” НААН України)

Лукач В.С., к.п.н.,
Василюк В.І., к.т.н.,
(Відокремлений підрозділ “Ніжинський
агротехнічний інститут” Національного
університету біоресурсів і
природокористування України)

НОВА КОНСТРУКЦІЯ ТА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ

Розроблена нова конструкція гичко різального робочого органу, яка дозволяє виконувати копіювання головок коренеплодів цукрових буряків і одночасно зрізати з них гичку. Представлені результати математичного моделювання коливань лопатей нового копірно-роторного гичкозбирального робочого органу. На підставі чисельного моделювання аналітично визначено період і кругову частоту коливань гичкорізальної лопаті.

Ключові слова: цукровий буряк, коренеплід, гичка, лопать ротора, копірно-роторний орган, математична модель, диференціальне рівняння.

Вступ. Збирання цукрових буряків є однією з найбільш трудомістких та енергомістких операцій у сільськогосподарському виробництві. Враховуючи те, що Україна належить до високорозвинених бурякосіючих країн Європи та світу і цукор є одним із стратегічних продуктів харчування, вітчизняному сільськогосподарському машинобудуванню необхідно налагодити випуск бурякозбиральних машин, функціональні та експлуатаційні показники яких повинні відповідати рівню кращих 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 та синтезу оптимальних їх параметрів [1].

Однією з головних і 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 із запропонованих гичкорізальних апаратів цих машин мають загальні для всіх робочих органів проблеми, які пов'язані з копіюванням головок коренеплодів, розташованих на різній висоті виступання над рівнем поверхні ґрунту, різних їх відхилень від осьової лінії рядка, наявності на головках сухої і полеглої гички тощо [2].

Постановка проблеми. Найбільш розповсюдженим способом відокремлення гички цукрового буряку 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 буряку 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 гичко- та коренезбиральних машин. Вирішення цієї проблеми можливе шляхом створення нового вискоефективного і високопродуктивного копірного гичковідокремлювального апарата.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженню технологічного процесу і робочих органів для відокремлення гички присвячені роботи Погорілого Л.В., Булгакова В.М., Татьяна М.В., Мартиненка В.Я., Зуєва М.М., Хелемендика М.М., Топоровського С.А., Синього С.В., Гурченка О.П., Бориса М.М., Сипливця О.О. та ін. Проте дані дослідження у переважній більшості орієнтовані на традиційні технології та гичкозбиральні апарати.

Нами було проведено теоретичне дослідження комбінованого способу відокремлення гички та обґрунтовано раціональний діапазон копірного зрізу [3]. Встановлено, що копірним зрізом доцільно зрізати головки коренеплодів, що виступають над рівнем поверхні ґрунту в середньому на 30...60 мм. Головки

коренеплодів цукрових буряків, висота виступання яких менша за 30 мм і більша 60 мм, необхідно зрізати безкопирним зрізом. Така технологія зрізу гички практично реалізована у більшості бурякозбиральних комбайнів іноземних фірм. Проводиться безкопирний зріз роторним гичкорізом основної маси гички та головок коренеплодів, що високо виступають над рівнем ґрунту. Також пасивним дообрізчиком виконується безкопирний зріз головок коренеплодів, висота виступання яких не перевищує початкового вертикального зазору. Коренеплоди із середньою висотою виступання головок дообрізаються пасивним копирним дообрізчиком із зворотною вертикальною поправкою. Враховуючи дані дослідження, нами запропонована конструкція нового копирно-роторного гичкозбирального робочого органу (рис. 1) [4–6].

При попередньому безкопирному зрізі високовиступаючих коренеплодів і гички, даний робочий орган виконує безкопирний зріз низьковиступаючих коренеплодів і копирний зріз коренеплодів середнього діапазону висот виступання. При максимальній висоті виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту до 80 мм можливо проводити зріз гички без попереднього безкопирного зрізу високовиступаючих коренеплодів.



Рис. 1. Дослідний зразок нового копирно-роторного гичкозбирального робочого органу.

Процес взаємодії копирно-роторного гичкозбирального робочого органу з головками коренеплодів носить циклічний характер. Тому, важливою умовою

працездатності робочого органу є відновлення кожною копірно-ріжучою лопаттю свого початкового положення перед наступною взаємодією з коренеплодом.

Постановка завдання. Для обґрунтування раціональних параметрів даного робочого органу необхідно визначити залежність періоду і кругової частоти коливань копірно-ріжучої лопаті від її конструктивно-технологічних параметрів.

Основний матеріал дослідження. Використовуючи методику академіка П.М. Василенка складемо, перш за все, розрахункову схему, розглядаючи копірно-роторний гичкозбиарльний робочий орган, який складається із валу, на якому жорстко закріплена маточина у вигляді диска і приєднану до нього за допомогою циліндричного шарніра пряму копірно-ріжучу 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 повздовжньою 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 ній елементарний елемент $d\xi$ і визначимо прискорення, з яким він рухається. Це в подальшому дасть підстави підрахувати обумовлену ним силу інерції.

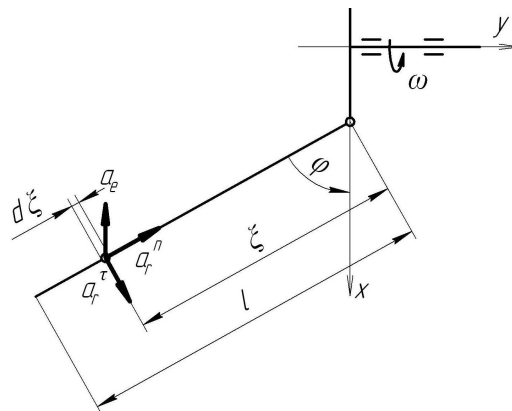


Рис. 2. Розрахункова схема нового гичкозбиарльного робочого органу

Вектор абсолютного прискорення елемента лопаті $d\xi$ буде дорівнювати [8]:

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

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

Після визначення компонентів абсолютного прискорення елемента лопаті отримані їх складові, які були спроектовані на осі x і y і які мають такий вигляд:

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

$$a_y = \dot{\varphi}^2 \xi \sin \varphi + \ddot{\varphi} \xi \cos \varphi. \quad (3)$$

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

$$dF_x^j = -\gamma s a_x d\xi, \quad (4)$$

$$dF_y^j = -\gamma s a_y d\xi, \quad (5)$$

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. Елементарний момент сил інерції, що діють в площині Oxy , буде дорівнювати:

$$dM = -\gamma s (a_x \sin \varphi + a_y \cos \varphi) \xi d\xi. \quad (6)$$

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

$$M = \int_0^l [-\gamma s (a_x \sin \varphi + a_y \cos \varphi)] \xi d\xi, \quad (7)$$

або, після перетворень:

$$\begin{aligned} M &= -\gamma s \left(-\frac{\xi^2}{2} r_o \omega^2 \sin \varphi - \frac{\xi^3}{3} \cos \varphi \sin \varphi \omega^2 + \frac{\xi^3}{3} \ddot{\varphi} \right) \Big|_0^l = \\ &= \gamma s \left(\frac{l^2}{2} r_o \omega^2 \sin \varphi + \frac{l^3 \omega^2}{3} \cos \varphi \sin \varphi - \frac{l^3}{3} \ddot{\varphi} \right). \end{aligned} \quad (8)$$

Складемо рівняння рівноваги моментів сил відносно шарніра. Оскільки момент реакції шарніра дорівнює нулю, то рівняння рівноваги буде за умови, коли $M = 0$.

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

$$\ddot{\varphi} - \cos \varphi \sin \varphi \omega^2 - \frac{3}{2} \frac{r_o}{l} \omega^2 \sin \varphi = 0. \quad (9)$$

Таким чином, отримано нелінійне диференціальне рівняння руху лопаті навколо осі підвісу, яке і є математичною моделлю нового гичкозбирального робочого органу.

При малих кутах відхилення лопаті $\varphi \leq 10^\circ$ можна прийняти $\sin \varphi = \varphi$, а $\cos \varphi = 1$. Після розв'язування рівняння (9) отримаємо значення кута φ :

$$\varphi = \left[\arccos \left(\frac{b-h}{l} \right) - \arccos \left(\frac{b}{l} \right) \right] + \varphi_o \cos \left(\sqrt{\omega^2 + \frac{2\omega(V_r - \omega l \cos \varphi_{max})}{3l}} t \right). \quad (10)$$

Кругова частота коливань k буде дорівнювати:

$$k = \sqrt{\omega^2 + \frac{2\omega(V_r - \omega l \cos \varphi_{max})}{3l}}. \quad (11)$$

Період коливань визначимо за такою формулою:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega^2 + \frac{2\omega(V_r - \omega l \cos \varphi_{max})}{3l}}}. \quad (12)$$

Таким чином, аналітично визначені основні параметри, що характеризують технологічний процес роботи нового копінно-роторного гичкозбирального робочого органу. Підстановка конкретних значень у вирази (11-12) дасть можливість оптимізувати їх значення для різного конструктивного виконання робочого органу.

Висновки:

1. Розроблена конструкція нового копінно-роторного гичкозбирального 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, знайдений аналітичний розв'язок диференціального рівняння, що дасть змогу попередньо промодельовати вплив конструктивно-технологічних параметрів гичковідокремлювального робочого органу на частоту та період коливань лопаті.

Список літератури:

1. Погорелый Л.В., Татьяна Н.В., Свеклоуборочные машины: История, конструкция, прогноз. – К.: Феникс, 2004. – 232 с.

2. Булгаков В.М. Бурякозбиральні машини. – К.: Аграрна наука, 2011. – 352 с.

3. 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.

4. Патент на винахід 98916, Україна, МПК А 01D 23/02. Очисник головок коренеплодів від залишків гички / В.М. Булгаков, А.М. Борис. – № u201113784; Заявл. 23.11.2011; Опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12.

5. Борис А.М. Моделювання технологічного процесу видалення гички комбінованим способом / Борис А.М. // Вісник аграрної науки. – 2011, № 7. – С. 66-68.

6. Борис А.М. Обґрунтування раціонального діапазону копінного зрізу гички цукрових буряків / Борис А.М. / Збірник наукових статей Луцького національного технічного університету. – Луцьк, 2011, № 21(1). – С. 26-30.

7. Булгаков В.М. Методика та засоби лабораторних досліджень процесу відокремлення гички експериментальними робочими органами / Булгаков В.М., Борис А.М. / Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – 2011, Вип. 107, т. 1. – С. 175-188.

8. 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 математического моделирования колебаний лопастей копирно-роторного ботвосрезающего аппарата. Определены аналитически период и круговая частота колебаний лопасти.

Ключевые слова: *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.

Keywords: *root crop, head of root crop, beet tops, blade of rotor, template-controlled-rotor.*