



Механізація, електрифікація

УДК 633.63:631.35
© 2012

*В.М. Булгаков,
академік НААН*

А.М. Борис

*Національний
університет біоресурсів
і природокористування
України*

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ГИЧКОВІДОКРЕМЛЮВАЛЬНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ

*Представлено результати математичного
моделювання коливань лопатей нового копірно-
роторного гичковідокремлювального робочого
органу. При цьому аналітично визначено період і
кругову частоту коливань лопаті.*

Однією з найбільш трудомістких та енергомістких операцій у сільськогосподарському виробництві є збирання цукрових буряків. Враховуючи те, що Україна належить до високорозвинених бурякозбиральних країн Європи та світу, а цукор є одним зі стратегічних продуктів харчування, вітчизняному сільськогосподарському машинобудуванню необхідно налагодити випуск бурякозбиральних машин, функціональні та експлуатаційні показники яких мають відповідати рівню кращих світових аналогів.

Підвищення якісних показників процесу збирання цукрових буряків є комплексною науково-технічною проблемою, розв'язання якої має базуватися на пошуку нових конструктивних рішень робочих органів та компоновальних схем машин, глибокому теоретичному обґрунтуванні їхніх конструктивних і технологічних параметрів, експериментальному підтвердженні проведених теоретичних досліджень, кінцевою метою яких є аналіз та синтез оптимальних їхніх параметрів [7].

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 має спільні для всіх робочих органів проблеми, які пов'язані з копіюванням головок коренеплодів, розташованих на різній висоті виступання над рівнем поверхні ґрунту, з різними їх відхиленнями від осрової лінії рядка, з наявністю на головках сухої і полеглої гички тощо [3].

Постановка проблеми. Найпоширенішим способом відокремлення гички цукрового буря-

ка є копірний зріз. Відомі гичкозрізувальні апарати активного типу забезпечують якісний зріз гички за поступальних швидкостей не більше 1,5 м/с. Коренезбиральні машини, які викопують після цього коренеплоди буряку з ґрунту, можуть працювати за робочих швидкостей 2–2,5 м/с. Така неузгодженість за робочими швидкостями створює технологічну несумісність гичкозрізувальних і викопувальних робочих органів гичко- та коренезбиральних машин. Розв'язати цю проблему можна, створивши новий високоефективний і високопродуктивний копірний гичковідокремлювальний апарат.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Дослідженню технологічного процесу і робочих органів для відокремлення гички присвячено роботи Погорілого Л.В., Булгакова В.М., Тат'янка М.В., Мартиненка В.Я., Зуєва М.М., Хелемєндика М.М., Топоровського С.А., Березового М.Г., Гурченка О.П., Бориса М.М., Сипливця О.О. та ін. Проте ці дослідження переважно орієнтовані на традиційні технології та гичковідокремлювальні апарати.

Нами було проведено теоретичне дослід-



Рис. 1. Дослідний зразок нового копірно-роторного гичковідокремлювального робочого органу

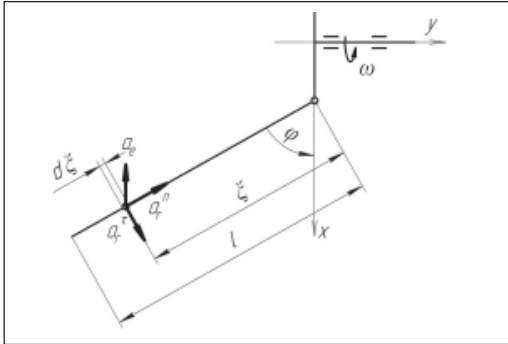


Рис. 2. Еквівалентна схема гичковідокремлювального робочого органу

дження комбінованого способу відокремлення гички та обґрунтовано раціональний діапазон копінного зрізу [4]. Встановлено, що копінним зрізом доцільно зрізати головки коренеплодів, які виступають над рівнем поверхні ґрунту в середньому на 30–60 мм. Головки коренеплодів цукрових буряків, висота виступання яких менша за 30 мм і більша за 60 мм, необхідно зрізати безкопінним зрізом. Така технологія зрізу гички практично реалізована у більшості бурякозбиральних комбайнів іноземних фірм. Проводиться безкопінний зріз роторним гичкорізом основної маси гички та головок коренеплодів, що високо виступають над рівнем ґрунту. Також пасивним дообрізником виконується безкопінний зріз головок коренеплодів, висота виступання яких не перевищує початкового вертикального зазору. Коренеплоди із середньою висотою виступання головок дообрізуються пасивним копінним дообрізником зі зворотною вертикальною поправкою. Враховуючи ці дослідження, нами було запропоновано конструкцію нового копінно-роторного гичковідокремлювального робочого органу (рис. 1) [1, 2, 5].

За попереднього безкопінного зрізу коренеплодів і гички з високим виступанням над рівнем ґрунту цей робочий орган виконує безкопінний зріз коренеплодів з низьким виступанням і копінний зріз коренеплодів середнього діапазону висот виступання. За максимальної висоти виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту до 80 мм можливо проводити зріз гички без попереднього безкопінного зрізу коренеплодів з високим виступанням.

Процес взаємодії копінно-роторного гичковідокремлювального робочого органу з головками коренеплодів має циклічний характер. Тому важливою умовою працездатності робочого органу є відновлення кожного копінно-ріжучою лопаттю свого початкового положення перед наступною взаємодією з коренеплодом.

Постановка завдання. Для обґрунтування

раціональних параметрів цього робочого органу необхідно визначити залежність періоду і кругової частоти коливань копінно-ріжучої лопаті від її конструктивно-технологічних параметрів.

Результати досліджень. Розглядаючи копінно-роторний гичковідокремлювальний робочий орган, що складається із валу, на якому жорстко закріплена маточина у вигляді диска, і приєднану до нього за допомогою циліндричного шарніра пряму копінно-ріжучу лопать, складемо еквівалентну схему (рис. 2). Введемо праві прямокутні системи координат: OXYZ — інерціальна система координат, пов'язана з геометричним центром маточини, і OXY — рухома система координат, що жорстко пов'язана з валом ротора. Осі OY і OY сумістимо з віссю обертання ротора, вісь OX — з повздовжньою віссю лопаті у невідхиленому стані (кут відхилення лопаті $\varphi=0$). Ротор обертається навколо своєї осі з кутовою швидкістю $\omega=\text{const}$. Шарнірне закріплення лопаті дає змогу 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 для вирахування зумовленої ним сили інерції.

Вектор абсолютного прискорення елемента лопаті $d\xi$ дорівнюватиме [6]:

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

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

Після визначення компонентів абсолютного прискорення елемента лопаті отримано їхні складові, що були спроектовані на осі x та y і мають такий вигляд:

$$a_x = -r_0 \omega^2 - \xi \cos \varphi \omega^2 - \ddot{\varphi}^2 \xi \cos \varphi + \ddot{\varphi} \xi \sin \varphi, \quad (2)$$

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

Знаючи компоненти вектора a , знайдемо компоненти елементарної сили інерції. У проекціях на осі x та y матимемо:

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

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

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

Для складання рівняння руху лопаті визначимо моменти сил інерції відносно шарніра. У цьому разі досліджується маховий рух лопаті у площині OXY. До рівняння рівноваги увійдуть

моменти сил інерції F_x^j і F_y^j , що діють у цій площині. Складений вираз елементарного моменту сил інерції, що діють у площині OXY, після інтегрування в межах від 0 до l , матиме вигляд:

$$M = \int_0^l \left[-\gamma s \left(a_x \sin \varphi + a_y \cos \varphi \right) \right] \xi d\xi. \quad (6)$$

Оскільки момент реакції шарніра дорівнює нулю, то рівняння рівноваги буде виведено за умови, коли $M=0$.

Тому прирівняємо значення моменту до нуля і скоротимо на $1/3 \gamma s l^3$:

$$\ddot{\varphi} - \cos \varphi \sin \varphi \omega^2 - \frac{3}{2} \frac{r_0}{l} \omega^2 \sin \varphi = 0. \quad (7)$$

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

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

$$\varphi = \left[\arccos \left(\frac{b-h}{l} \right) - \arccos \left(\frac{b}{l} \right) \right] + \varphi_0 \cos \left(\sqrt{\omega^2 + \frac{2\omega(V_r - \omega l \cos \varphi_{\max})}{3l}} t \right). \quad (8)$$

Кругова частота коливань k дорівнюватиме:

$$k = \sqrt{\omega^2 + \frac{2\omega(V_r - \omega l \cos \varphi_{\max})}{3l}}. \quad (9)$$

Період коливань визначимо за такою формулою:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega^2 + \frac{2\omega(V_r - \omega l \cos \varphi_{\max})}{3l}}}. \quad (10)$$

Отже, аналітично визначено основні параметри, що характеризують технологічний процес роботи нового копінно-роторного гичковідокремлювального робочого органу. Підстановки конкретних значень у вирази (9–10) дасть можливість оптимізувати їх значення для різного конструктивного виконання копінно-роторного гичковідокремлювального робочого органу.

Висновки

Розроблено конструкцію нового копінно-роторного гичковідокремлювального робочого органу, який дає змогу істотно підвищити якість зрізу гички (залишків гички) з головок коренеплодів цукрового буряку.

Отримано нелінійне диференціальне рівняння махових коливань лопаті. За його чисельного вирішення можна визначати конструктивно-технологічні параметри робочого

органу залежно від необхідного часу для відновлення початкового положення лопаті.

У першому наближенні для малих кутів відхилення лопаті знайдено аналітичний розв'язок диференціального рівняння, що дасть змогу попередньо промодельовати вплив конструктивно-технологічних параметрів гичковідокремлювального робочого органу на частоту та період коливань лопаті.

Бібліографія

1. Борис А.М. Моделювання технологічного процесу видалення гички комбінованим способом/ Вісн. аграр. науки. — 2011. — № 7. — С. 66–68.
2. Борис А.М. Обґрунтування раціонального діапазону копінного зрізу гички цукрових буряків/ Борис А.М.: 36. наук. статей Луцького НТУ. — Луцьк, 2011. — № 21(1). — С. 26–30.
3. Булгаков В.М. Бурякозбиральні машини. — К.: Аграр. наука, 2011. — 352 с.
4. Булгаков В.М. Теорія робочого процесу видалення гички з коренеплодів цукрових буряків/ В.М. Булгаков, А.М. Борис//Наук. вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. — К., 2011. — Вип. 166. — Ч. 1. — 350 с.
5. Булгаков В.М. Методика та засоби лабораторних досліджень процесу відокремлення гички експериментальними робочими органами/Булгаков В.М., Борис А.М.//Вісн. Харків. НТУ сіль. госп-ва ім. Петра Василенка. — 2011. — Вип. 107. — Т. 1. — С. 175–188.
6. Гуляев В.И. Колебания систем твердых и деформируемых тел при сложном движении/В.И. Гуляев, П.П. Лизунов. — К.: Вища шк., 1989. — 197 с.
7. Погорелый Л.В., Татьяна Н.В. Свеклоуборочные машины: История, конструкция, прогноз. — К.: Феникс, 2004. — 232 с.