

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ НОВОГО ГИЧКОВІДОКРЕМЛЮВАЛЬНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ

Булгаков В.М., д.т.н., акад. НААН, Борис А.М., інж.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Представлені результати математичного моделювання періодичного обертового руху копірно-зрізуючих лопатей нового копірно-роторного гичковідокремлювального робочого органу. Аналітично визначено період і кругову частоту вказаного руху лопаті.

Ключові слова: *коренеплід, цукровий буряк, головка, гичка, лопать, копірно-роторний гичковідокремлювальний орган.*

Проблема. Збирання цукрових буряків є однією з найбільш трудомістких та енергомістких операцій сучасного сільськогосподарського виробництва. 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].

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 ж машини, які викопують після цього коренеплоди буряку з ґрунту, можуть працювати при робочих швидкостях 2...2,5 м/с. Така незгодженість за робочими швидкостями створює технологічну несумісність

гичкозрізувальних і викопуючих робочих органів гичко- та коренезбиральних машин. Вирішення цієї проблеми можливе шляхом створення нового високоефективного і високопродуктивного копінного гичковідокремлювального апарата.

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

Нами було проведено теоретичне дослідження комбінованого способу відокремлення гички та обґрунтовано раціональний діапазон копінного зрізу [3]. Встановлено, що копінним 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 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 дообрізчиком виконується безкопінний зріз головок коренеплодів, висота виступання яких не перевищує початкового вертикального зазору. Коренеплоди із середньою висотою виступання головок дообрізуються пасивним копінним дообрізчиком із зворотною вертикальною поправкою. Враховуючи дані дослідження, а також проведені конструкційні напрацювання нами запропонована конструкція нового копінно-роторного гичковідокремлювального робочого органу, який утворений несучим диском 1, встановлених на ньому на шарнірах 2 робочих елементів, що складаються з жорстко зв'язаних між собою копінної частини 3, упорів 4 та ріжучої частини 5. Між сусідніми робочими елементами, таким чином, існує кінематичний зв'язок за допомогою упорів 4. Так, за напрямом обертання кожний наступний робочий елемент опирається на упор попереднього елемента (рис. 1) [4–6].

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.

Обертання ротора відокремлювача гички здійснюється в поперечному напрямі до умовної осьової лінії рядка. При наїзді на коренеплід робочий елемент відхиляється і за допомогою упорів з певною закономірністю починають відхилятися наступні елементи. Після проходження копінною частиною головки коренеплоду, система робочих елементів орієнтується на необхідну висоту зрізу і порційно, кожним робочим елементом, видаляється частина головки ко-

ренеплоду з гичкою. Попередньо були обґрунтовані основні конструкційно-технологічні параметри: кут нахилу робочого елемента до горизонту $\beta = 40^\circ$; довжина робочого елемента $l_e = 0,155$ м; радіус осі підвісу робочих елементів – $r_0 = 0,2$ м; початковий кут відхилення робочого елемента від площини обертання – $\varphi = 50^\circ$; діаметр ротора – $D = 600$ мм; при частоті обертання ротора $n = 500-700$ хв⁻¹ швидкість різання – не менше $V = 12$ м/с.

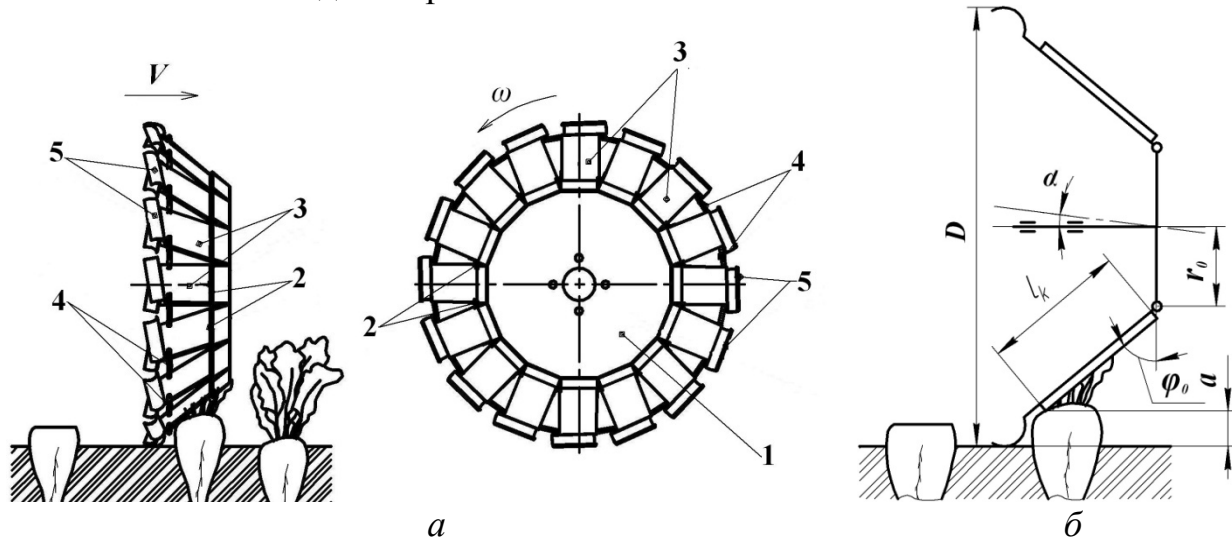


Рис. 1. Конструкційна (а) та кінематична (б) схемікопірно-роторного відокремлювача гички

Таким чином, процес взаємодії копірно-роторного гичковідокремлювального 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.

Мета дослідження. Аналітичне обґрунтування залежностей періоду та кругової частоти обертального руху копірно-ріжучої лопаті від її конструкційно-технологічних параметрів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Складемо, перш за все, еквівалентну схему, розглядаючи копірно-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 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 поперечною 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.

Вектор абсолютного прискорення елемента лопаті $d\xi$ буде дорівнювати [7]:

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

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

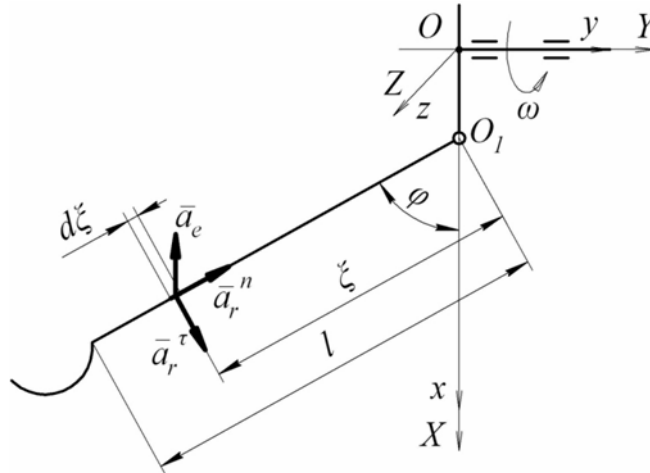


Рис. 2. Еквівалентна схема робочого елемента (копірно-ріжуча лопать) нового гичковідокремлювального робочого органу

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 проєкціях 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 діє 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:

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

$$= \gamma s \left(\frac{l^2}{2} r_o \omega^2 \sin \varphi + \frac{l^3 \omega^2}{3} \cos \varphi \sin \varphi - \frac{l^3}{3} \ddot{\varphi} \right). \quad (8)$$

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

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

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

Таким чином, отримано нелінійне диференціальне рівняння обертового руху лопаті навколо осі підвісу, яке фактично 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'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 обертового руху k буде дорівнювати:

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

Період обертового руху 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 гичковідокремлювального робочого органу. Підстановка конкретних значень у вирази (11-12) дасть можливість оптимізувати їх значення для різного конструкційного виконання копінно-роторного гичковідокремлювального робочого органу.

Висновки:

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

2. Отримано нелінійне диференціальне рівняння обертового руху лопаті. При його чисельному розв'язуванні визначаються конструкційно-технологічні параметри робочого органу в залежності від необхідного часу відновлення по-

чаткового положення лопаті.

3. В першому наближенні для малих кутів відхилення лопаті, знайдений аналітичний розв'язок диференціального рівняння, що дасть змогу попередньо промоделювати вплив конструкційно-технологічних параметрів нового гичковідокремлювального робочого органу на частоту та період обертового руху його копірно-ріжучої лопаті.

Список використаних джерел:

1. Погорельый 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. Борис А.М. Моделювання технологічного процесу видалення гички комбінованим способом / Борис А.М. // Вісник аграрної науки. – 2011, № 7. – С. 66-68.
5. 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.
6. 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.
7. Гуляев В.И. Колебания систем твердых и деформируемых тел при сложном движении / В.И. Гуляев, П.П. Лизунов. – К.: Вища школа, 1989. – 197 с.

Аннотация

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ НОВОГО БОТВОСРЕЗАЮЩЕГО РАБОЧЕГО ОРГАНА

Булгаков В.М., Борис А.М.

Представлены результаты математического моделирования периодического поворотного движения копирно-режущих лопастей нового копирноторного ботвосрезающего рабочего органа. Аналитически определены период и круговая частота указанного движения лопасти.