

УДК: 62-1/-9

ДИНАМІКА МОЛОТКА РОТОРА ЕКСТРАКТОРА ПЕРГИ У ПОЛІ ВІДЦЕНТРОВИХ СИЛ

Бєлих О.В., Аспірант

Державний Біотехнологічний Університет

Запропоновано новий варіант ротора, з шарнірно закріпленими на ньому молотками та змінним діаметром механічного впливу на сировину.

Така конструкція забезпечує мінімальну руйнацію пергових гранул при екстракції з бджолиних стільників і дає можливість максимального відокремлення від воскових стільників.

Отримано рівняння, що характеризує відносний рух молотка ротора в полі відцентрових сил залежно від прикладеного моменту удару.

Бджільництво є однією з найдавніших галузей сільського господарства. Нині бджільництво має добру підтримку з боку держави, та завдяки роботі вчених та бджолярів продовжує розвиток [1, 2]. З'являється все більше механізованого та вдосконаленого обладнання [3, 4].

Перга – це квітковий пилок рослин, зібраний бджолами, перероблений, покладений та законсервований в осередках бджолиних стільників. Бджоли використовують її для вирощування розпліду [5, 6]. Перга широко використовується в народній медицині для лікування багатьох захворювань людей, а також у медичній, вітамінній та косметичній промисловості.

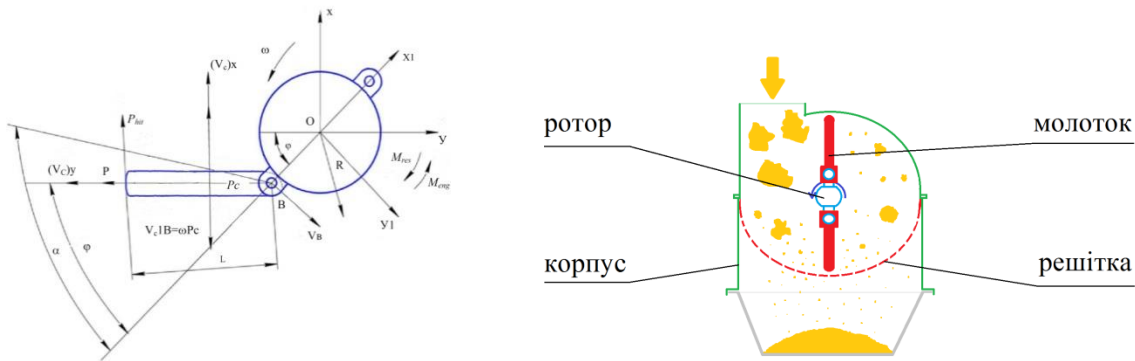
На сьогоднішній день найкращою для виробництва перги в промислових масштабах є технологія, що включає наступні операції: осушення пергових стільників від залишків меду за допомогою бджіл, сушіння, відділення воскопергової маси від рамки, охолодження, екстракція перги з бджолиних стільників - подрібнення та поділ на гранули перги та воскову сировину, пневмосепарування[7].

При невеликій кількості бджолосімей в основному використовуються малоефективні засоби отримання перги, що потребують значних витрат часу та енергії. Незважаючи на велику кількість наукових праць та досліджень, питання подрібнення пергових стільників, екстракції перги та отримання гранул вищої якості залишається актуальним та потребує більш детального вивчення.

Мета досліджень: підвищення ефективності процесу екстракції перги з бджолиних стільників шляхом розробки та застосування відцентрового способу та пристрою.

Нами запропоновано новий варіант ротора, шарнірно закріпленими на ньому молотками та змінним діаметром механічного впливу на сировину. Така конструкція забезпечує мінімальну руйнацію пергових гранул при витягуванні з бджолиних стільників і дає можливість максимального відокремлення від воскових осередків. Під час роботи екстрактора під дією імпульсного моменту удару молотки ротора відхиляються на різні за величиною кути від радіального положення. Після завершення одного оберта молотки ротора повинні зайняти вихідні радіальні положення. З метою визначення оптимальних параметрів

ротора розглянемо динаміку шарнірно закріплених елементів (молотків ротора) у полі відцентрових сил. Схема ротора представлена на малюнку 1



Мал.1 Схема ротора та екстрактора перги з бджолиних стільників

Для цього складемо диференціальне рівняння руху системи за методом Лагранжа, що складається з ротора та шарнірно закріпленого елемента. Виберемо нерухому систему координат ХОУ, що проходить через центр обертання ротора і рухому систему координат Х1ОУ1, що обертається разом з ротором і проходить через центр обертання ротора та вісь підвісу шарнірно закріпленого елемента.

До системи докладемо постійно діючий момент двигуна M_{eng} та момент опору M_{res} . Шарнірно закріплений елемент під дією сили удару P_{hit} відхилений на кут α , крім того на нього діє сила ваги P . Силою тертя в шарнірі ми нехтуємо тому, що вона, по-перше, є величиною дуже малою в порівнянні з відцентровою і, по-друге, під час роботи удар об бджолиний стіл молотком проводиться щоразу після того, як ротор здійснить один оборот і дію цієї сили за цей час несуттєво вплине на коливання молотка.

За узагальнені координати системи приймали кути відхилення φ і α , де φ – кут відхилення молотка ротора від вертикалі, а α – кут відхилення ротора молотка від рівноважного положення. Тоді Лагранжеві диференціальні рівняння руху, яким мають задовольняти узагальнені координати як функції часу, можуть бути записані у загальному вигляді

$$\frac{d(\partial T)}{dt(\partial \varphi)} - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_1$$

$$\frac{d(\partial T)}{dt(\partial \alpha)} - \frac{\partial T}{\partial \alpha} = Q_2$$

де T – кінетична енергія системи;

Q_1 і Q_2 – узагальнені сили;

φ і α – узагальнені координати.

Кінетичну енергію системи T обчислювали, представивши цю кінетичну енергію як функцію кутів повороту та їх похідних. Кінетична енергія системи дорівнює:

$$T = T_1 + T_2, \tag{1}$$

где T_1 – кінетична енергія ротора; T_2 – кінетична енергія молотка ротора.
Кінетичну енергію T_1 ротора визначали за формулою:

$$T_1 = I \frac{\omega^2}{2}, \quad (2)$$

де I – момент інерції ротора;

ω – кутова швидкість ротора.

Молоток ротора бере участь у плоскопаралельному русі, тому кінетична енергія його може бути визначена за теоремою Кеніга [8]:

$$T_2 = \frac{1}{2} m V_c^2 + \frac{1}{2} I_c \omega_r^2 \quad (3)$$

де V_c – швидкість (абсолютна) центру тяжіння молотка ротора;

ω_r – кутова швидкість молотка ротора по відношенню до осей, що рухаються поступально.

Переносна швидкість \bar{V}_B дорівнює:

$$\bar{V}_B = \omega R, \quad (4)$$

де ω – углова швидкість обертання ротора; R – відстань від центру обертання ротора до осі підвісу ротора молотка. А відносна швидкість \bar{V}_{c1B} будет равна:

$$\bar{V}_{c1B} = \omega r_c \quad (5)$$

$$\text{Тоді: } \bar{V}_c = \bar{V}_B + \bar{V}_{c1B} + \bar{V}_r \quad (6)$$

Подставив знайдені значення в (6), спроекуємо векторну рівність (9) на нерухомі осі XOY , отримаємо:

$$(v_c)_x = -\omega R \cos\varphi - \omega r_c \cos(\alpha - \varphi) - \dot{\alpha} r_c \cos(\alpha - \varphi), \quad (7)$$

$$(v_c)_y = -\omega R \sin\varphi - \omega r_c \sin(\alpha - \varphi) - \dot{\alpha} r_c \sin(\alpha - \varphi), \quad (8)$$

$$V_c^2 = (V_c)_x^2 + (V_c)_y^2, \quad (9)$$

Підставивши значення в рівність $(V_c)_x^2$ и $(V_c)_y^2$ (11) і здійснивши відповідні перетворення, знайшли:

$$V_c^2 = \omega^2 R^2 + \omega^2 r_c^2 + \dot{\alpha}^2 r_c^2 + [\cos\varphi \cos(\alpha - \varphi) - \sin\varphi \sin(\alpha - \varphi)] \cdot [2\omega^2 R r_c - 2\omega \dot{\alpha} R r_c] - 2\omega \dot{\alpha} r_c^2 \quad (10)$$

Вираз $\cos\varphi \cos(\alpha - \varphi) - \sin\varphi \sin(\alpha - \varphi)$ являє собою розкладений косинус різниці двох кутів $\cos[(\varphi + \alpha) - \varphi] = \cos\alpha$.

Таким чином, остаточно вираз (10) набуде вигляду:

$$V_c^2 = \omega^2 R^2 + \omega^2 r_c^2 + \dot{\alpha}^2 r_c^2 + 2\omega^2 R r_c \cos\alpha - 2\omega \dot{\alpha} R r_c \cos\alpha - 2\omega \dot{\alpha} r_c^2 \quad (11)$$

Тоді кінетична енергія системи буде виражена як:

$$T = \frac{1}{2} m \dot{\varphi}^2 R^2 + \frac{1}{2} m \dot{\varphi}^2 r_c^2 + \frac{1}{2} m \dot{\alpha}^2 r_c^2 + m \dot{\varphi}^2 r_c \cos\alpha - m \dot{\varphi} \dot{\alpha} R r_c \cos\alpha - m \dot{\varphi} \dot{\alpha} r_c^2 + \frac{1}{2} I_c (\dot{\varphi} \pm \dot{\alpha})^2 + \frac{1}{2} I \dot{\varphi}^2, \quad (12)$$

Перейдемо до обчислення складових рівняння (малюнок 1):

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = m \dot{\varphi} R^2 + m \dot{\varphi} r_c^2 + 2m \dot{\varphi} R r_c \cos\alpha - m \dot{\alpha} r_c \cos\alpha - m \dot{\alpha} r_c^2 + I_c (\dot{\varphi} \pm \dot{\alpha}) + I \dot{\varphi} \quad (13)$$

$$\frac{d(\partial T)}{dt(\partial \varphi)} = m R^2 \ddot{\varphi} + m r_c^2 \ddot{\varphi} + 2m R r_c \cos\alpha \dot{\varphi} - 2m R r_c \dot{\varphi} \dot{\alpha} \sin\alpha - m \ddot{\alpha} R r_c \cos\alpha + m R r_c \dot{\alpha}^2 \sin\alpha - m \ddot{\alpha} r_c^2 + I_c (\ddot{\varphi} \pm \ddot{\alpha}) + I \ddot{\varphi}, \quad (14)$$

Здобули два диференціальних рівняння другого порядку, які повністю характеризують рух системи: ротор – молоток [9, 10].

Кутову швидкість обертання ротора прийняли постійну, т.е. $\omega = \text{const}$ отримали:

$$(B + C \cos\alpha) \ddot{\alpha} + (\dot{\alpha} - 2\omega) C \dot{\alpha} \sin\alpha = M_{eng} - M_{res} - P_{PR} \sin\varphi - P_{hit} R \cos\alpha, \quad (15)$$

$$B\ddot{\alpha} + C\omega^2 \sin\alpha = P_p \sin(\varphi - \alpha) + P_{hit} L \quad (16)$$

рівняння (16) повністю характеризує відносний рух молотка ротора у полі відцентрових сил залежно від прикладеного моменту удару.

Таким чином, остаточне рівняння руху молотка ротора набуло вигляду:

$$I_B \ddot{\alpha} + m R_p c \omega^2 \sin\alpha - P_{hit} L = 0 \quad (17)$$

Аналіз рівняння (17) показує, що коливання молотка ротора залежать від відцентрової сили, що діє на молоток, параметрів молотка m , L (маси та довжини), кутової швидкості обертання ротора ω та сили удару P_{hit} .

Список літератури:

1. Шабля В. П., Сиромятников Ю. М. Відновлення напрямку бджільництва в Харківському національному технічному університеті сільського господарства ім. Петра Василенка. – 2021.
2. Сиромятников Ю. М., Шабля В. П., Медведєва Ю. В. Вплив акарицидів на масу бджолиних маток. – 2021.
3. Сиромятников Ю. М., Кучер В. О. Продуктивність бджолиних сімей у вуликах з пінополіуретану. – 2021.
4. Сиромятников Ю. М., Белих О. В. Система моніторингу міського бджільництва. – 2023.
5. Шабля В. П. Конструктивні та технологічні проблеми уловлювачів для бродячих роїв. – 2021.
6. Семенов В. В., Семенов В. І., Сиромятников Ю. М. Дозувально-змішувальний пристрій для приготування кормових сумішей // XI-ї Науково-технічної конференції «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» 3-22 жовтня 2022 року. – 2022. – С. 87.
7. Brovarskyi V. et al. Development and Testing of the Technology of Production of the Beebread // Agrobiodiversity for improving nutrition, health and life quality. – 2017. – №. 1.
8. Bowen M., Weilacher F. Definable König theorems // Proceedings of the American Mathematical Society. – 2023. – Т. 151. – №. 11. – С. 4991-4996.
9. Sayed H., El-Sayed T. A. Nonlinear dynamics and bifurcation analysis of journal bearings based on second order stiffness and damping coefficients // International Journal of Non-Linear Mechanics. – 2022. – Т. 142. – С. 103972.
10. Li Y. et al. Dynamic modeling and stability analysis of a rotor-bearing system with bolted-disk joint // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2021. – Т. 158. – С. 107778.