Технология, изготовление, износ, композиционный материал, измельчитель.

The paper discusses the results of laboratory and production tests of wear resistance of corn crusher hammers manufacture of powder composite materials.

Technology, manufacture, wear, composite material, fodder shredder.

УДК 631.361.022

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНУ РУХУ ПОРЦІЇ ХЛІБНОЇ МАСИ

В.С. Ловейкін, доктор технічних наук
А.П. Ляшко, аспірант*

Представлені дослідження руху порції хлібної маси в зазорі молотильний барабан-підбарабання. Було встановлено рівняння руху порції хлібної маси, а також побудовано графік залежності зміни кутової швидкості порції хлібної маси від кута повороту молотильного барабана зернозбирального комбайна.

Молотильний барабан, підбарабання, порція хлібної маси, рівняння руху.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день ефективність всіх робіт, пов’язаних зі збиранням зернових культур залежить від зернозбирального комбайна – основної збиральної машини. Головною частиною кожного зернозбирального комбайна є молотильно-сепаруючий пристрій, від дієздатності якого залежить ефективність роботи машини. Під час руху хлібної маси в зазорі молотильно-сепаруючого пристрою, на неї діють різні сили від яких залежить якість обмолоту.

Тому в даній роботі в основу теоретичних досліджень покладено вирішення задач пов’язаних зі знаходженням рівняння руху порції хлібної маси в зазорі молотильний барабан-підбарабання.

Аналіз останніх досліджень. Рух хлібної маси між молотильним барабаном та підбарабанням було досліджено багатьма авторами [1–5]. Авторами було встановлено, що хлібна маса піддається дії: нормальної сили стискування, сили тертя, що виникає у зоні

***Науковий керівник – доктор технічних наук В.С. Ловейкін**

© В.С. Ловейкін, А.П. Ляшко, 2015

контакту між бичем та порцією хлібної маси і спрямованої по дотичній до барабана у бік його обертання; сили тертя, яка виникає у зоні контакту між порцією хлібної маси та планкою деки, спрямованої у бік, протилежний руху хлібної маси.

У роботі [3] вказано, що вимолот зерна в молотильному апараті відбувається вперш за все внаслідок ударів бичами по колосках і частково протягуванням їх між елементами барабана та деки. А також автори припускають, що хлібна маса рухається в молотильному зазорі з постійною середньою швидкістю і відповідною товщиною. Таким чином, сили які визначальні для проходження процесу обмолоту та сепарації у часі залишаються постійними.

Метою досліджень є визначення рівняння руху порції хлібної маси та залежності зміни кутової швидкості хлібної маси від кута повороту молотильного барабана.

Результати досліджень. Розглянемо рух порції хлібної маси, що припадає на одне било в підбарабанні (рис. 1). Для визначення закону руху порції хлібної маси використаємо такі припущення:

1. Розглядається порція хлібної маси, яка припадає на один бич, що знаходиться над підбарабанням.

2. Оскільки зазор δ між барабаном та підбарабанням є незначним, в порівнянні з радіусом барабана R, то в динамічних розрахунках ним знехтуємо і будемо вважати, що всі сили, які прикладені до хлібної маси, прикладені по колу виступу бичів.

На і-ту (i=0,…,n) порцію хлібної маси в молотильному проміжку діють сили: нормальна сила стиску $N_б$ била зі сторони молотильного барабана; рушійна сила (сила тертя між билом барабана і порцією хлібної маси), яка направлена по дотичній до кола виступів бичів в бік обертання барабана $f_б \cdot N_б$; нормальна сила стиску зі сторони підбарабання $\overline{N}_n$, яка направлена протилежно силі $N_б$; сила тертя між порцією хлібної маси і планкою деки в підбарабання, яка спрямована по дотичній до криволінійної форми деки в бік, протилежний руху хлібної маси $f_n \cdot N_n$; сила тяжіння порції хлібної маси mg; відцентрова сила, що діє на порцію хлібної маси в процесі її обертання.

Кінетична енергія порції хлібної маси, що припадає на одне било в під барабанні:

$$T = \frac{1}{2} \cdot m(\varphi) \cdot V_c^2 = \frac{1}{2} \cdot m(\varphi) \cdot R^2 \cdot \omega^2, \qquad (1)$$

де: $m(\varphi)$ – маса порції хлібної маси, що припадає на одне било в під барабанні, яка є змінною величино, що залежить від координати повороту центра мас хлібної маси φ; V_c – лінійна швидкість руху центра мас порції хлібної маси, що припадає на одне било; R – радіус молотильного барабана по колу виступів бил; ω – кутова швидкість пово-

роту центра мас порції хлібної маси, що припадає на одне було відносно осі обертання О.

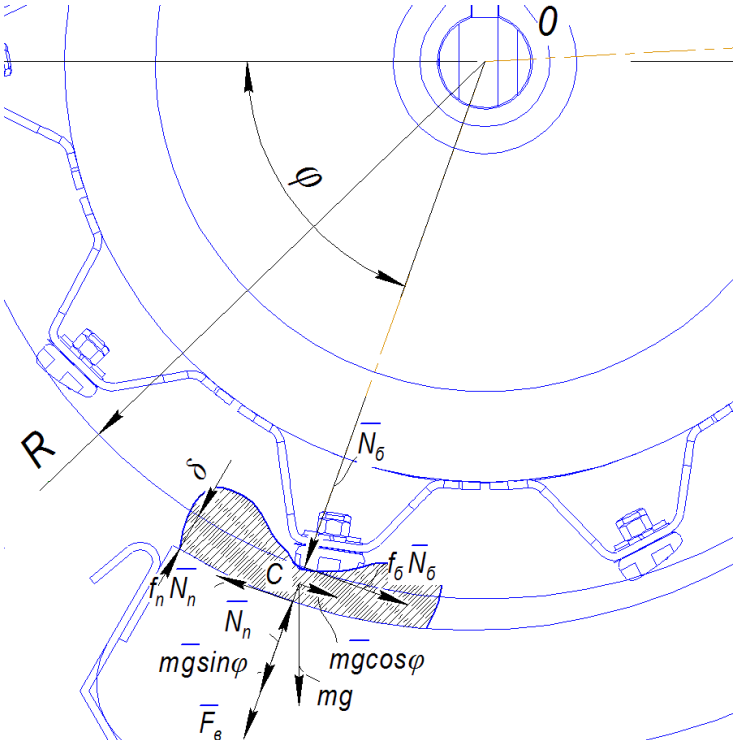

Рис. 1. Схема сил, що діють на порцію хлібної маси.

Рівняння руху порції хлібної маси:

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = \sum_{i=1}^{n} M_{oi}\,, \tag{2}$$

де M_{oi} – момент і-ої (i=1,2,…,n) сили відносно осі обертання, що діє на порцію хлібної маси; n – кількість сил.

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = m(\varphi)\cdot R^2 \cdot \frac{d\omega}{d\varphi} + \frac{1}{2}\cdot\frac{dm(\varphi)}{d\varphi}\cdot R^2\cdot\omega^2\,; \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^{n} M_{oi} = f_б\cdot N_б\cdot R - f_n\cdot N_n\cdot R + m(\varphi)\cdot g\cdot R\cdot\cos(\varphi)\,. \tag{4}$$

Після підстановки залежностей (3) і (4) в рівняння (2) отримаємо:

$$m(\varphi)\cdot R^2\cdot\frac{d\omega}{d\varphi} + \frac{1}{2}\cdot\frac{dm(\varphi)}{d\varphi}\cdot R^2\cdot\omega^2 = f_б\cdot N_б\cdot R - f_n\cdot N_n\cdot R + m(\varphi)\cdot g\cdot R\cdot\cos(\varphi)\,. \tag{5}$$

Для визначення реакції підбарабання на хлібну масу N_n спроектуємо усі сили, що діють на хлібну масу на нормаль, що з'єднує центр обертання О з центром мас порції хлібної маси С. в результаті чого будемо мати:

$$F_в + m(\varphi)\cdot g\cdot\sin(\varphi) + N_б - N_n = 0\,. \tag{6}$$

Відцентрова сила, що діє на порцію хлібної маси визначається залежністю:

$$F_в = \frac{m(\varphi)\cdot v^2}{R} = m(\varphi)\cdot\omega^2\cdot R\,. \qquad (7)$$

Підставимо вираз (7) в рівняння (6), в результаті чого отримаємо:

$$m(\varphi)\cdot\omega^2\cdot R + m(\varphi)\cdot g\cdot\sin(\varphi) + N_б - N_п = 0\,. \qquad (8)$$

З отриманого рівняння знаходимо:

$$N_п = m(\varphi)\cdot\omega^2\cdot R + m(\varphi)\cdot g\cdot\sin(\varphi) + N_б = 0i\,. \qquad (9)$$

Підставивши вираз (9) в рівняння (5), отримаємо:

$$m(\varphi)\cdot R^2\cdot\frac{d\omega}{d\varphi} + \frac{1}{2}\cdot\frac{dm(\varphi)}{d\varphi}\cdot R^2\cdot\omega^2 = \qquad .(10)$$
$$f_б\cdot N_б\cdot R - f_п\cdot\left[m(\varphi)\cdot\omega^2\cdot R + m(\varphi)\cdot g\cdot\sin(\varphi) + N_б\right]\cdot R + m(\varphi)\cdot g\cdot R\cdot\cos(\varphi)$$

З протягуванням порції хлібної маси в проміжку молотильний барабан-підбарабання вміст зернової частини в хлібні масі зменшуватиметься. На початку руху порція матиме масу:

$$m_0 = \rho\cdot l\cdot h_0\cdot\Delta\alpha\cdot R\,, \qquad (11)$$

Де: ρ – густина хлібної маси; l – довжина бича (барабана); h_0 – товщина потоку хлібної маси на вході в молотильний апарат; R – радіус молотильного барабана.

Враховуючи рівняння (11) отримаємо залежність зміни маси порції хлібної маси:

$$m[\varphi] = \frac{m_0}{K_c + K_з}\cdot\left[K_c + K_з\cdot e^{-a\cdot(\varphi-\varphi_0)}\right] \qquad (12)$$

де $К_с$, $К_з$ – коефіцієнти, що враховують вміст відповідно соломи та зернової частини в хлібній масі; а – коефіцієнт просівної здатності підбарабання (визначається експериментально).

Продиференціювавши рівняння (12) отримаємо:

$$\frac{dm[\varphi]}{d\varphi} = -\frac{m_0\cdot K_з\cdot a}{K_c + K_з}\cdot e^{-a\cdot(\varphi-\varphi_0)} \qquad (13)$$

Величина нормальної реакції хлібної маси на бич може бути визначена такою залежністю:

$$N_б = c\cdot b\cdot l\left(h_0 - \delta_п - (\delta_0 - \delta_п)\cdot\left(\frac{\varphi_п - \varphi}{\varphi_п - \varphi_0}\right)^2\right) \qquad (14)$$

Враховуючи (12)–(14), а також зробивши деякі перетворення і скорочення отримаємо рівняння руху хлібної маси, що припадає на один бич:

$$\frac{m_0}{K_c + K_з}\cdot\left[K_c + K_з\cdot e^{-a\cdot(\varphi-\varphi_0)}\right]\cdot\left[R\cdot\frac{d\omega}{d\varphi} + f_п\cdot\omega^2\cdot R + g\cdot\left(f_п\cdot\sin(\varphi) - \cdot\cos(\varphi)\right)\right] +$$
$$+\left(f_п - f_б\right)\cdot c\cdot b\cdot l\left(h_0 - \delta_п - (\delta_0 - \delta_п)\cdot\left(\frac{\varphi_п - \varphi}{\varphi_п - \varphi_0}\right)^2\right) + \frac{1}{2}\cdot\left(-\frac{m_0\cdot K_з\cdot a}{K_c + K_з}\cdot e^{-a\cdot(\varphi-\varphi_0)}\right)\cdot R\cdot\omega^2 = 0 \qquad (15)$$

Рівняння (15) являє собою нелінійне диференціальне рівняння першого порядку, тому для його розв'язку використаємо чисельний метод проф. Г.Г. Баранова [1].

Згідно з цим методом рівняння (10) представимо у виді:

$$2\cdot m(\varphi)\cdot d\omega+\omega\cdot dm(\varphi)=$$
$$=\frac{2}{\omega\cdot R}\cdot\left\{N_б\cdot(f_б-f_n)-m(\varphi)\cdot\left[g\cdot(f_n\cdot\sin(\varphi)-\cdot\cos(\varphi))\,f_n\cdot\omega^2\cdot R\right]\right\}d\varphi \quad (16)$$

Виходячи з умови відсутності сингулярності особливих точок та розривів, замінивши в рівнянні (11): $d\varphi=\Delta\varphi$ – крок інтегрування; $dm(\varphi)\approx m_{i+1}-m_i$; $d\omega=\omega_{i+1}-\omega_i$; $\Delta\varphi=\varphi_{i+1}-\varphi_i$ отримаємо:

$$2\cdot m_i\cdot(\omega_{i+1}-\omega_i)+\omega_i\cdot(m_{i+1}-m_i)=$$
$$=\frac{2}{\omega_i\cdot R}\cdot\left\{N_{бi}\cdot(f_б-f_n)-m_i\cdot\left[g\cdot(f_n\cdot\sin(\varphi)-\cos(\varphi))+f_n\cdot\omega_i^2\cdot R\right]\right\}\Delta\varphi_i \quad (17)$$

де: φ_i, ω_i, m_i, $N_{бi}$ – відповідно кутова координата, кутова швидкість, маса порції хлібної маси та нормальний тиск на неї зі сторони барабана в положенні і (i=0,1,…,n); n – кількість точок розрахунку; φ_{i+1}, ω_{i+1}, m_{i+1} – відповідно кутова координата, кутова швидкість і маса порції хлібної маси в положенні і+1.

Розв'язавши рівняння (17) відносно ω_{i+1} отримаємо функцію зміни кутової швидкості в кожному наступному положенні при похо-дженні всієї ділянки підбарабання:

$$\omega_{i+1}=\frac{1}{2}\cdot\omega_i\cdot\left(3-\frac{m_{i+1}}{m_i}\right)+\frac{1}{m_i\cdot\omega_i\cdot R}\times \quad (18)$$
$$\left\{N_{бi}\cdot(f_б-f_n)-m_i\cdot\left[g\cdot(f_n\cdot\sin(\varphi)-\cos(\varphi))+f_n\cdot\omega_i^2\cdot R\right]\right\}\Delta\varphi$$

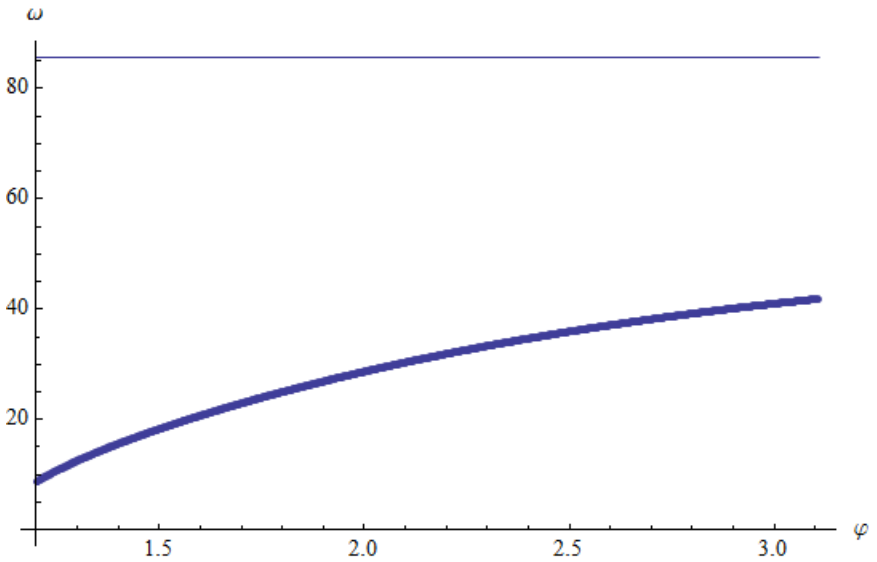

Рис. 2. Графік залежності кутової швидкості порції хлібної маси (культура – пшениця) від кута повороту барабана.

За допомогою даного методу, а також пакету Mathematica розв'язуємо рівняння (15) та будуємо графік залежності кутової швидкості порції хлібної маси відносно кута повороту барабана (рис. 2).

Висновок. Отримане рівняння руху порції хлібної маси в молотильному зазорі зернозбирального комбайна. На основі даного рівняння було побудовано графік залежності зміни кутової швидкості порції хлібної маси від кута повороту молотильного барабана. Проаналізувавши даний графік, встановлено, що кутова швидкість порції хлібної маси є величиною змінною і збільшується з проходженням порції в молотильному зазорі від початку входження і до виходу.

Список літератури

1. *Агроболевский И.И.* Теория механизмов и машин / *И.И. Артоболеский*. – М.: Наука, 1975. – 640 с.

2. Богус Ш.Н. Движение обмолачиваемой массы в МСУ / *Ш.Н. Богус, Е.И. Клещ, А.Е. Слюсаревский* // IV Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум». www.imperiaprazdnika.com.ua/conference.

3. *Сисолін П.В.* Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування / *П.В. Сисолін*, *Т.І. Рибак*, *В.М. Сало* ; за ред. *М.І. Черновола*. – К.: Урожай, 2002. – Кн. 2: Машини для рільництва. – С. 83–173.

4. *Войтюк Д.Г.* Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку / / С.С. Яцун, М.Я. Довжик ; за ред. *Д.Г. Войтюка*. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. – С. 345–358.

5. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку / *Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков* та ін. ; за ред. *Д.Г. Войтюка*. – К. Вища освіта, 2005. – 464 с.

Представлены исследования движения порции хлебной массы в зазоре молотильный барабан-подбарабанья. Было установлено уравнения движения порции хлебной массы, а также построен график зависимости изменения угловой скорости порции хлебной массы от угла поворота молотильного барабана зерноуборочного комбайна.

Молотильный барабан, подбарабанья, порция хлебной массы, уравнения движения.

The research of grain mass's motion in concave gap is conducted. Motion's equation of grain portion was established. Also dependency's graph of change grain portion's angular velocity was plot.

Threshing drum, concave, grain portion, motion's equation.