

Рух частки по прямолінійній лопаті роторного прискорювача при опорі середовища, пропорційному першій степені швидкості

В.М. Швайко, кандидат фізико-математичних наук

Л.І. Гасюк, кандидат технічних наук

В.О. Гурідова, А.І. Марінець, старші викладачі

Дніпропетровський державний аграрний університет–Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара)

На підставі уточненої моделі отримано аналітичну залежність для визначення відносної швидкості транспортованої частки по довільно орієнтованій прямолінійній лопаті роторного прискорювача при опорі середовища, який пропорційний першій степені швидкості.

Для заготівлі кормів із кукурудзи сучасні кормозбиральні комбайни обладнані роторними лопатевими прискорювачами маси. Ці пристрої надають додаткову кінетичну енергію часткам маси та оптимізують потік маси по силосопроводу.

Практика використання таких пристроїв свідчить про те, що в складних умовах роботи надійність роторних прискорювачів маси різко знижується, що проявляється в забиванні силосопроводу або ж самого роторного прискорювача. Провести обґрунтування кінематичних режимів роботи таких пристроїв на сьогодні можливо тільки з рядом припущень, що вносить значну похибку в отриманий результат.

Рух частки по площині, яка обертається навколо горизонтальної осі, досліджувався багатьма вченими [1–6]. Однак при цьому дослідники не врахували низку принципів моментів, наприклад опору середовища [7, 8].

Наша мета досліджень полягла в теоретичному обґрунтуванні процесу взаємодії частки з лопаттю прискорювача, яке враховує особливості процесу і може бути використано при оптимізації параметрів подібних пристроїв.

Визначення відносної швидкості транспортованого матеріалу по лопаті здійснено з використанням механіко-математичних методів, які базувалися на праці акад. П.М. Василенка [1].

За рівномірного обертання вала ($\omega = const$) роторного прискорювача нами вже отриманий вираз для нормальної реакції N площини лопаті, яка діє на транспортовану частку масою m [8]

$$N = m \cdot [g \cdot \cos(\varphi_0 + \omega \cdot t - \gamma) - \omega^2 \cdot r_{np} + 2 \cdot \omega \cdot \dot{x}], \quad (1)$$

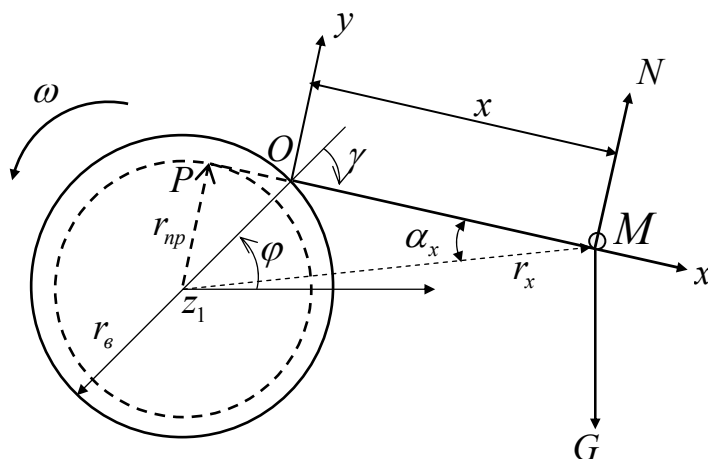
і рівняння відносного руху матеріальної точки вздовж довільно орієнтованої лопаті (кут γ)

$$\begin{aligned}
& \ddot{x} + 2 \cdot f \cdot \omega \cdot \dot{x} + K_v(\dot{x}) - \omega^2 \cdot x = \\
& = -g \cdot [\sin(\varphi_0 + \omega \cdot t - \gamma) + f \times \\
& \times \cos(\varphi_0 + \omega \cdot t - \gamma)] + \omega^2 \cdot (f \cdot r_{np} - l_{OP}),
\end{aligned} \tag{2}$$

де γ – кут, на який відхилена лопать від радіального напрямку, що проходить через точку O (рисунок);

φ – кутова координата, що характеризує положення лопаті у вертикальній площині.

Крапка ($\dot{}$) над змінною означає першу похідну за часом t від відповідної координати; дві крапки ($\ddot{}$) – друга похідна.



Фрагментальна схема сил, діючих на частку при русі по лопаті роторного прискорювача

Припустимо, що опір середовища пропорційний першій степені швидкості, тобто $K_v(\dot{x}) = f_1 \cdot \dot{x} / m$, де $f_1 = const$ – коефіцієнт опору повітря. Знайдемо рішення диференціального рівняння (2). Перетворимо його:

$$\begin{aligned}
& \ddot{x} + \left(2 \cdot f \cdot \omega + \frac{f_1}{m} \right) \cdot \dot{x} - \omega^2 \cdot x = \\
& = -g \cdot [\sin(\varphi_0 + \omega \cdot t - \gamma) + f \times \\
& \times \cos(\varphi_0 + \omega \cdot t - \gamma)] + \omega^2 \cdot (f \cdot r_{np} - l_{OP}).
\end{aligned} \tag{3}$$

На підставі даних, отриманих раніше [9], загальне рішення для останнього диференціального рівняння другого порядку (3) запишемо у вигляді

$$\begin{aligned}
& x(t) = C_1 \cdot e^{\lambda_1 t} + C_2 \cdot e^{\lambda_2 t} + \frac{g}{2 \cdot \omega^2} \times \\
& \times \frac{1}{1 + \left(f + \frac{f_1}{2 \cdot m \cdot \omega} \right)^2} \cdot \left[\left(1 + f^2 + \frac{f \cdot f_1}{2 \cdot m \cdot \omega} \right) \times \right. \\
& \times \sin(\varphi_0 + \omega \cdot t - \gamma) + \left. \left(2 \cdot f + \frac{f_1}{2 \cdot m \cdot \omega} \right) \times \right. \\
& \times \left. \cos(\varphi_0 + \omega \cdot t - \gamma) \right] - f \cdot r_{np} + l_{OP},
\end{aligned} \tag{4}$$

$$\lambda_1 = \omega \cdot \left[-\left(f + \frac{f_1}{2 \cdot m \cdot \omega} \right) + \sqrt{1 + \left(f + \frac{f_1}{2 \cdot m \cdot \omega} \right)^2} \right] > 0$$

$$\lambda_2 = -\omega \cdot \left[\left(f + \frac{f_1}{2 \cdot m \cdot \omega} \right) + \sqrt{1 + \left(f + \frac{f_1}{2 \cdot m \cdot \omega} \right)^2} \right] < 0;$$

де C_1 і C_2 – постійні інтегрування;
 e – основа натуральних логарифмів.

На підставі рівняння (4) знаходимо вираз для відносної швидкості матеріальної точки

$$v_r(t) = \dot{x}(t) = \lambda_1 \cdot C_1 \cdot e^{\lambda_1 t} + \lambda_2 \cdot C_2 \cdot e^{\lambda_2 t} + \frac{g}{2 \cdot \omega^2} \times$$

$$\times \frac{1}{1 + \left(f + \frac{f_1}{2 \cdot m \cdot \omega} \right)^2} \cdot \left[\left(1 - f^2 - \frac{f \cdot f_1}{2 \cdot m \cdot \omega} \right) \cdot \cos \times \right.$$

$$\left. \times (\varphi_0 + \omega \cdot t - \gamma) - \left(2 \cdot f + \frac{f_1}{2 \cdot m \cdot \omega} \right) \cdot \sin(\varphi_0 + \omega \cdot t - \gamma) \right]$$

Із початкових умов, що $x(0) = x_0$, $v_r(0) = (\dot{x}) = 0$, знаходимо постійні C_1 і C_2 :

$$C_1 = -\frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} (x_0 + f \cdot r_{np} - l_{OP}) + \frac{2 \cdot g}{(\lambda_1 - \lambda_2)^3} \times$$

$$\times \left\{ \left[\lambda_2 \cdot \left(1 - f^2 - \frac{f \cdot f_1}{2 \cdot m \cdot \omega} \right) + \omega \cdot \left(2 \cdot f + \frac{f_1}{2 \cdot m \cdot \omega} \right) \right] \times \right.$$

$$\times \sin(\varphi_0 - \gamma) + \left[\lambda_2 \cdot \left(2 \cdot f + \frac{f_1}{2 \cdot m \cdot \omega} \right) - \omega \times \right.$$

$$\left. \times \left(1 - f^2 - \frac{f \cdot f_1}{2 \cdot m \cdot \omega} \right) \right] \cdot \cos(\varphi_0 - \gamma) \left. \right\},$$

$$C_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} (x_0 + f \cdot r_{np} - l_{OP}) - \frac{2 \cdot g}{(\lambda_1 - \lambda_2)^3} \times$$

$$\times \left\{ \left[\lambda_1 \cdot \left(1 - f^2 - \frac{f \cdot f_1}{2 \cdot m \cdot \omega} \right) + \omega \cdot \left(2 \cdot f + \frac{f_1}{2 \cdot m \cdot \omega} \right) \right] \times \right.$$

$$\times \sin(\varphi_0 - \gamma) + \left[\lambda_1 \cdot \left(2 \cdot f + \frac{f_1}{2 \cdot m \cdot \omega} \right) - \omega \times \right.$$

$$\left. \times \left(1 - f^2 - \frac{f \cdot f_1}{2 \cdot m \cdot \omega} \right) \right] \cdot \cos(\varphi_0 - \gamma) \left. \right\}.$$

В окремому випадку при $f_1 = 0$ одержимо результати, які наведено в роботі [8].

У межах уточненої моделі отримані результати дозволяють аналітично описувати кінематику транспортованої частки по довільно орієнтованій прямолінійній лопаті при опорі середовища, який пропорційний першій степені швидкості, і використовувати їх при конструюванні роторного прискорювача.

Бібліографія

1. *Василенко П.М.* Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / *П.М. Василенко.* – К. : Изд-во УАСХН, 1960. – 284 с.
2. *Турбин Б.Г.* К анализу работы швырялки / *Б.Г. Турбин, В.С. Киров* // Записки Ленинград. с.-х. ин-та. – Л. : Сельхозиздат, 1962. – Т. 88. – С. 149-153.
3. *Аванесов Ю.Б.* Обоснование параметров ботвошвыряльного устройства / *Ю.Б. Аванесов, Д.К. Мельник* // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1969. – № 10. – С. 29–31.
4. *Линник Н.К.* Влияние угла наклона и числа лопаток роторных рабочих органов на равномерность распределения органических удобрений / *Н.К. Линник* // Исследования по механизации и электрификации сельского хозяйства. – К. : Урожай, 1968. – С. 295-300.
5. *Лімонт А.С.* До визначення параметрів фрез-метальника для транспортування ґрунту / *А.С. Лімонт* // Вісник сільськогосподарської науки. – 1973. – № 9. – С. 24–31.
6. *Лімонт А.С.* Визначення швидкості частки транспортованого матеріалу по лопаті кидальника / *А.С. Лімонт* // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2007. – № 2. – С. 78–81.
7. *Кобець А.С.* Дослідження взаємодії частки з лопаттю роторного прискорювача / *А.С. Кобець, В.М. Швайко, О.М. Кобець* // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка: [«Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні»]. – Харків, 2009. – Вип. № 76. – С. 252–256.
8. *Швайко В.М.* Вплив орієнтації прямолінійної лопаті роторного прискорювача на кінематику частки, що транспортується / *В.М. Швайко, В.О. Гурідова* // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету – 2009. – № 2. – С. 265–67.
9. *Камке Э.* Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям / *Э. Камке.* – М. : Наука, 1976. – 576 с.