УДК 631.374

В.М. Швайко, доц., канд. фіз.-мат. наук, С.С. Тищенко, доц., канд. техн. наук
Дніпропетровській державний аграрний університет

Моделювання руху частинки по прямолінійній лопаті роторного прискорювача

На підставі моделі отримана аналітична залежність для визначення відносної швидкості частинки, що транспортується по довільно орієнтованій прямолінійній лопаті роторного прискорювача при опорі середовища, який пропорційний першій ступені швидкості.

роторний прискорювач, рух частинки, опір середовища

Постановка проблеми: Для заготівлі кормів сучасні кормозбиральні комбайни обладнуються 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.

Проведення обґрунтування кінематичних режимів роботи таких пристроїв на сьогодні можливо тільки з поглибленим вивченням процесу руху частинки з урахуванням багатьох факторів, що дає можливість отримати кінцевий результат, тобто кінематичні параметри частинки перед зходом з лопаті.

Аналіз досліджень і публікацій: Рух частинки по площині, яка обертається навколо горизонтальної осі, досліджувався багатьма вченими [1–6], що дало можливість отримати ряд кінематичних параметрів. Однак при цьому не враховано ряд принципових моментів, наприклад опору середовища [7–8].

Мета досліджень полягає в теоретичному обґрунтуванні вивченні процесу взаємодії частки з лопаттю прискорювача під час руху по лопаті, яке враховує опір середовища і може бути використано при оптимізації параметрів або режимів роботи подібних пристроїв.

Об'єкт та методика досліджень. Визначення відносної швидкості транспортованого матеріалу, а саме, частинки по лопаті здійснено з використанням механіко-математичних методів [1].

При рівномірному обертанні валу ($\omega = const$) роторного прискорювача в роботі [8] був отриманий вираз для нормальної реакції N площини лопаті, яка діє на частинку масою m, що транспортується

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

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

$$\begin{gathered} \ddot{x} + 2 \cdot f \cdot \omega \cdot \dot{x} + K_v(\dot{x}) - \omega^2 \cdot x = \\ = -g \cdot [\sin(\varphi_0 + \omega \cdot t - \gamma) + f \cdot \cos(\varphi_0 + \omega \cdot t - \gamma) + \omega^2 \cdot (f \cdot r_{np} - l_{OP}). \end{gathered} \quad (2)$$

Тут і надалі використовуються позначення, прийняті в роботах [7–8]. Схема сил, прикладених до частинки наведена на рисунку 1. Крапка (·) над змінною означає першу похідну за часом t від відповідної координати; дві крапки ($\cdot\cdot$) – друга похідна.

Знайдемо рішення останнього диференціального рівняння в припущенні, що опір середовища пропорційний першому ступені швидкості, тобто $K_v(\dot{x}) = f_1 \cdot \dot{x} / m$, де $f_1 = const$ - коефіцієнт опору повітря.

У нашому випадку, рівняння (2) перетвориться до вигляду

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

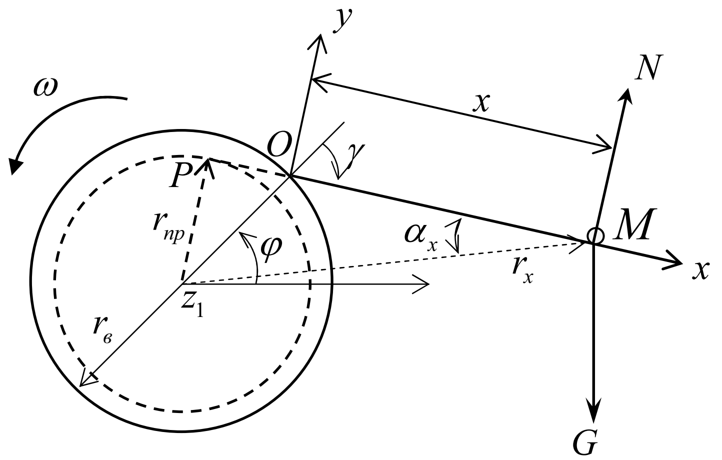

Рисунок 1 - Схема сил, діючих на частинку при русі по лопаті роторного прискорювача

На підставі [9], отримуємо загальне рішення для останнього диференціального рівняння другого порядку у вигляді

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

де $\lambda_1 = \omega \cdot [-(f + \dfrac{f_1}{2 \cdot m \cdot \omega}) + \sqrt{1 + (f + \dfrac{f_1}{2 \cdot m \cdot \omega})^2}\,] > 0$ і

$\lambda_2 = -\omega \cdot [(f + \dfrac{f_1}{2 \cdot m \cdot \omega}) + \sqrt{1 + (f + \dfrac{f_1}{2 \cdot m \cdot \omega})^2}\,] < 0$

C_1 і C_2 – постійні інтегрування;

e – основа натуральних логарифмів.

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

$$\begin{aligned} v_r(t) = \dot{x}(t) = \lambda_1 \cdot C_1 \cdot e^{\lambda_1 \cdot t} + \lambda_2 \cdot C_2 \cdot e^{\lambda_2 \cdot t} + \frac{g}{2 \cdot \omega} \cdot \frac{1}{1 + (f + \dfrac{f_1}{2 \cdot m \cdot \omega})^2} \cdot \\ \cdot [(1 - f^2 - \frac{f \cdot f_1}{2 \cdot m \cdot \omega}) \cdot \cos(\varphi_0 + \omega \cdot t - \gamma) - (2 \cdot f + \frac{f_1}{2 \cdot m \cdot \omega} \cdot \sin(\varphi_0 + \omega \cdot t - \gamma)]. \end{aligned}$$

Із початкових умов

$$x(0) = x_0\,, \qquad v_r(0) = \dot{x}(0) = 0$$

знаходимо постійні C_1 и C_2:

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

$$\cdot\{[\lambda_2\cdot(1 - f^2 - \frac{f\cdot f_1}{2\cdot m\cdot\omega}) + \omega\cdot(2\cdot f + \frac{f_1}{2\cdot m\cdot\omega})]\cdot\sin(\varphi_0-\gamma) +$$

$$+[\lambda_2\cdot(2\cdot f + \frac{f_1}{2\cdot m\cdot\omega}) - \omega\cdot(1 - f^2 - \frac{f\cdot f_1}{2\cdot m\cdot\omega})]\cdot\cos(\varphi_0-\gamma)\},$$

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

$$\cdot\{[\lambda_1\cdot(1 - f^2 - \frac{f\cdot f_1}{2\cdot m\cdot\omega}) + \omega\cdot(2\cdot f + \frac{f_1}{2\cdot m\cdot\omega})]\cdot\sin(\varphi_0-\gamma) +$$

$$+[\lambda_1\cdot(2\cdot f + \frac{f_1}{2\cdot m\cdot\omega}) - \omega\cdot(1 - f^2 - \frac{f\cdot f_1}{2\cdot m\cdot\omega})]\cdot\cos(\varphi_0-\gamma)\}.$$

В окремому випадку, при $f_1 = 0$, приходимо до результатів, які отримані в роботі [8]. На рисунку 2 представлені результати моделювання руху частинки по лопаті. Як видно із рисунка, відносна швидкість частинки має максимум при значенні часу 0,15 с. Таким чином, можно встановити таку довжину лопаті, при якій швидкість сходу частинки буде максимальною.

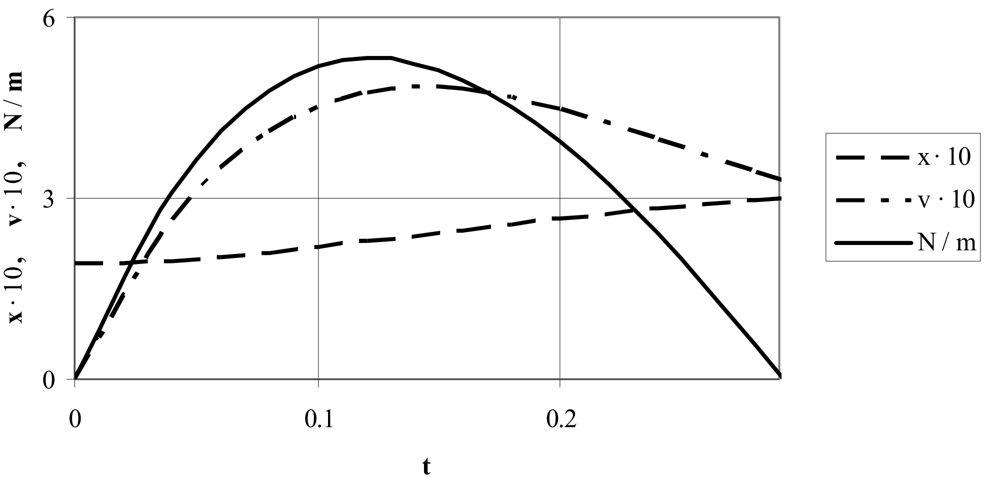

Рисунок 2 - Залежність відносного переміщення частинки x, відносної швидкості v_r і нормальної реакції N від часу t при таких вижідних даних: ω = 4.712 с$^{-1}$ (45 об./хв.), f = 0.57, f_1 = 0, $r_в$ = 0.4 м, $\gamma = 90°$, x_0 = 0.1905 м, φ_0 = 65°

Висновки. В рамках моделі отримані результати дозволяють аналітично описувати кінематику частинки, що рухається по довільно орієнтованій прямолінійної лопаті, при опорі середовища, який пропорційний першій ступені швидкості і використовувати їх при конструюванні та обґрунтування режимів роботи роторного прискорювача.

Список літератури

7. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / Василенко П.М. – К.: Изд-во УАСХН, 1960. – 284 с.
8. К анализу работы швырялки / Б.Г. Турбин, В.С. Киров // Записки Ленинград. с.-х. инс-та. – Л.: Сельхозиздат, 1962. – Т. 88. – С. 149 – 153.
9. Обоснование параметров ботвошвыряльного устройства / Ю.Б. Аванесов, Д.К. Мельник // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1969. – № 10. – С. 29 – 31.
10. 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.
11. До визначення параметрів фрез-метальника для транспортування ґрунту / А.С. Лімонт // Вісник сільськогосподарської науки. – 1973. – № 9. – С. 24 – 31.
12. Визначення швидкості частки транспортованого матеріалу по лопаті кидальника / А.С. Лімонт // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2007. – № 2. – С. 78 – 81.
13. Кобець А.С., Швайко В.М., доц., Кобець О.М. Дослідження взаємодії частки з лопаттю роторного прискорювача // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка: «Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні». – Харків, 2009. – Випуск № 76. – С. 252 - 256.
14. Швайко В.М., Гурідова В.О. Вплив орієнтації прямолінійної лопаті роторного прискорювача на кінематику частки, що транспортується // Вісник ДДАУ: "Сучасні проблеми землеробської механіки" – Дніпропетровськ, 2009. – Випуск № 2-09. – С. 265 - 267.
15. Э. Камке Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – Издательство «Наука» Главная редакция физико-математической литературы. – М., 1976. - 576 с.

В.Швайко, С. Тищенко

Движение частицы по прямолинейной лопасти роторного ускорителя

На основании уточненной модели получена аналитическая зависимость для определения относительной скорости транспортируемой частицы по произвольно ориентированной прямолинейной лопасти роторного ускорителя при сопротивлении среды, пропорциональной скорости первой степени.

V. Shvasko, S. Tischenko

Motion of particle on rectilineal blade of rotor accelerating

On the basis of the specified model analytical dependence is got for determination of relative speed of the transported particle on the arbitrarily oriented rectilineal blade of the rotor accelerating at resistance of environment, proportional speed of the first degree.

Одержано 14.09.11