

І.О. Ніщенко, П.С. Коруняк, В.М. Боровець*
Львівський національний аграрний університет,
кафедра машинобудування,
*Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра механіки та автоматизації машинобудування

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ РУХУ МАТЕРІАЛЬНОЇ ЧАСТИНКИ У ВЕРТИКАЛЬНОМУ ШНЕКОВОМУ ДОЗАТОРІ

© Ніщенко І.О., Коруняк П.С., Боровець В.М., 2012

У статті розглянуто прикладні проблеми розробки, розрахунку шнекових дозаторів з вертикальним розташуванням робочого органу. Одержано диференціальні рівняння відносного руху матеріальної точки по поверхні шнека, які дають змогу за допомогою числових методів дослідити рух із заданими параметрами шнека та закону його обертального руху.

In the article deals with practical issues of design, calculation screw feeder with vertical working body. Try the differential equations of the relative motion of a point on the surface of the screw, which allows numerical methods to investigate the movement of the screw with the settings and the law of its rotational motion.

Вступ. З сучасним рівнем розвитку промисловості виникає питання про створення автоматичного обладнання високої продуктивності для упакування продуктів, яке б задовольняло нові вимоги до технологічного процесу і пакувальних матеріалів, було енергоощадним і компактним. Щодо цього істотне значення має вибір як структури організації виробництва, так і обладнання, яке забезпечує необхідні обсяги реалізації продукції.

Для дозування сипких матеріалів найбільшого поширення одержали об'ємні і вагові дозатори. Об'ємні дозатори шнекового типу порівняно із ваговими мають нижчу точність дозування, яка залежить від швидкості дозування і характеристик пакувального продукту. Тому для забезпечення високої точності під час об'ємного дозування необхідно забезпечити сталу швидкість заповнення мірника та сталу інтенсивність потоку. Об'ємні дозатори доцільно використовувати для пакування недорогих продуктів в широких межах доз.

Перевагою шнекових дозаторів є можливість регулювання дози декількома параметрами: швидкістю обертання шнека, його геометричними параметрами, способом відсікання дозованого матеріалу. Завдяки відносній дешевизні, за достатньо високої точності дозування, простоти конструкції цих пристроїв вони широко застосовуються в пакувальних машинах.

Постановка проблеми. Шнекові дозатори можуть здійснювати як безперервне, так і періодичне дозування, а також забезпечувати ущільнення продукції, що підлягає процесу дозування. Поряд з цим точність дозування звичайними шнековими дозаторами здебільшого невелика через змінні властивості дозувального продукту, нерівномірність заповнення продукцією витків шнека, похибки кута повороту шнека, що періодично обертається, тощо.

У зв'язку з цим є проблема удосконалення і оптимізації структурних, динамічних та конструктивних схем дозаторів, методики їх розрахунку, конструювання та налагодження.

Метою цієї роботи є вивчення закону руху матеріальної частинки на поверхні лопаті в процесі обертання шнека.

Аналіз останніх досліджень. Глибокому вивченню руху, як матеріальної частинки, так і сипкої продукції загалом, в транспортувальних горизонтальних і похилих шнеках присвячені роботи Ю.Д. Відінеєва, А.М. Григор'єв, Р.Л. Зенкова та ін. [1–4]. Але результати досліджень транспортувальних шнеків не можна повністю перенести на шнекові дозатори, оскільки у цьому разі не враховані перехідні процеси руху шнека та напрямок переміщення дозувального продукту, а саме: згори донизу. Тому, спочатку розглянемо рух матеріальної частинки у шнековому дозаторі у певному напрямку.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо рух матеріальної точки M по лопаті шнека (рис. 1), який здійснює обертальний рух з кутовою швидкістю $\omega_{nep} = q(t)$ і кутовим прискоренням

$\varepsilon = \frac{d\omega_{nep}}{dt}$. Рух точки зручно розглядати у циліндричній системі координат ρ, φ, z . Введемо

одичні вектори $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$, які напрямлені відповідно у радіальному і поперечному напрямках та паралельно до осі OZ . Точка здійснює складний рух. Внаслідок поперечного обертального руху точка рухається разом з лопаттю та, крім цього, вона рухається стосовно лопаті. Оскільки точка не відривається від поверхні лопаті, то під час відносного руху маємо рівність

$$z = z_0 - h\varphi, \quad (1)$$

де φ – зміна кута φ у відносному русі; $h = \frac{H}{2\pi}$ – параметри шнека; H – крок гвинта шнека.

Тоді

$$\frac{dz}{dt} = -h\omega_{\text{від}}; \quad \frac{d^2z}{dt^2} = -h\frac{d\omega_{\text{від}}}{dt}, \quad (2)$$

де $\omega_{\text{від}} = \frac{d\varphi}{dt}$, $\varphi = \int_0^t \omega_{\text{від}} dt$.

Як відомо, абсолютну швидкість \vec{V}_a точки можна подати у вигляді геометричної суми

$$\vec{V}_a = \vec{V}_{nep} + \vec{V}_{\text{від}}, \quad (3)$$

де $\vec{V}_{nep} = \omega\rho\vec{j}$.

$$\vec{V}_{\text{від}} = V_\rho\vec{i} + V_\varphi\vec{j} + V_z\vec{k}, \quad (4)$$

де $V_\rho = \frac{d\rho}{dt}$, $V_\varphi = \omega_{\text{від}}\rho$, $V_z = \frac{dz}{dt} = -h\omega_{\text{від}}$.

Тоді модуль відносної швидкості

$$V_{\text{від}} = \sqrt{\left(\frac{d\rho}{dt}\right)^2 + (p^2 + h^2)\omega_{\text{від}}^2}. \quad (5)$$

Абсолютне прискорення дорівнює геометричній сумі переносного і відносного прискорень та прискорення Кориоліса

$$\vec{a} = \vec{a}_{nep} + \vec{a}_{\text{від}} + \vec{a}_{\text{кор}}, \quad (6)$$

де $\vec{a}_{nep} = \vec{a}_{nep}^n + \vec{a}_{nep}^\tau = -\omega_{nep}^2\rho\vec{i} + \rho\varepsilon\vec{j}$.

$$\vec{a}_{\text{від}} = \left(\frac{d^2\rho}{dt^2} - \omega_{\text{від}}^2\rho\right)\vec{i} + \left(p\frac{d\omega_{\text{від}}}{dt} + 2\omega_{\text{від}}\frac{d\rho}{dt}\right)\vec{j} - h\frac{d\omega_{\text{від}}}{dt}\vec{k}; \quad (7)$$

$$\vec{a}_{nep} = 2\vec{\omega} \times \vec{V}_{\text{від}} = -2\omega\omega_{\text{від}}p\vec{i} + 2\omega_{nep}\frac{d\rho}{dt}\vec{j}.$$

Під час руху матеріальної точки на неї діють такі сили (див. рисунок): сила ваги $G = -m g \vec{k}$, нормальна реакція \vec{N} , яка перпендикулярна до радіального напрямку і утворює кут α з вертикаллю, тому

$$\vec{N} = N \sin \alpha \vec{j} + N \cos \alpha \vec{k},$$

де $\alpha = \arctg\left(\frac{h}{R}\right)$ – це кут нахилу гвинтової лінії.

$$\text{Сила тертя } \vec{T}, \quad |\vec{T}| = N f_1,$$

де f_1 – кут тертя ковзання тіла об лопать.

Сила тертя завжди напрямлена протилежно до вектора відносної швидкості, а тому

$$\vec{T} = -N f_1 \frac{\vec{V}_{\text{від}}}{V_{\text{від}}} = -\frac{N f_1}{V_{\text{від}}} (V_p \vec{i} + \omega_{\text{від}} \rho \vec{j} - h \omega_{\text{від}} \vec{k}).$$

Згідно з принципом Даламбера, під час руху точки у довільний момент часу має місце векторна рівність

$$\vec{N} + \vec{G} + \vec{T} + \vec{F}_{\text{ін}} = 0, \quad (8)$$

де сила інерції $\vec{F}_{\text{ін}}$ обчислюється за формулою

$$\vec{F}_{\text{ін}} = -m \vec{a} = -m (\vec{a}_{\text{неп}} + \vec{a}_{\text{від}} + \vec{a}_{\text{кор}}). \quad (9)$$

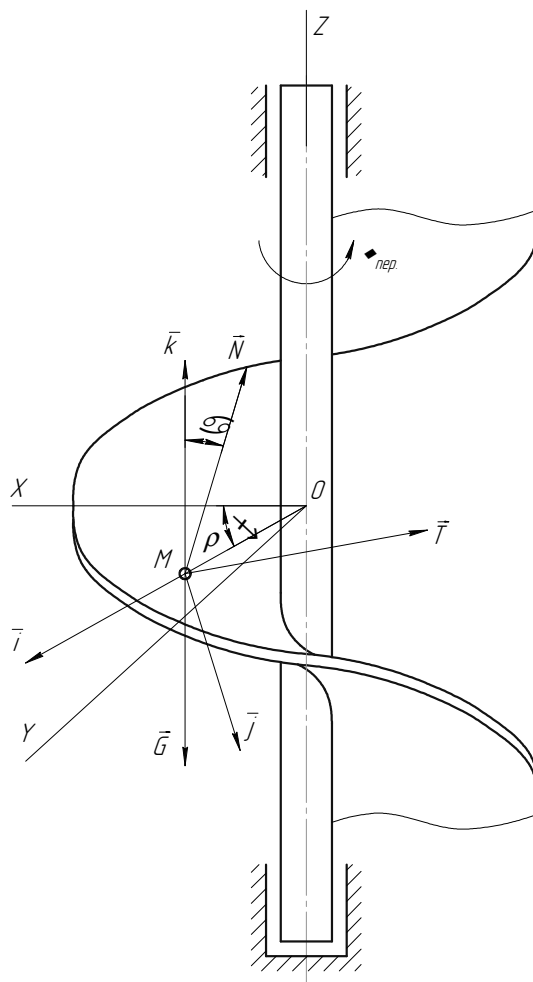
Підставивши у (8) наведені вище вирази для сил і прискорень, а потім спроектувавши на осі циліндричної системи координат, одержуємо три рівняння

$$\begin{cases} -N f_1 \frac{V_\rho}{V_{\text{від}}} + m \omega_{\text{неп}}^2 \rho + m \omega_{\text{від}}^2 \rho + 2 \omega \omega_{\text{від}} \rho - m \frac{d^2 \rho}{dt^2} = 0 \\ N \sin \alpha - N f_1 \frac{\omega_{\text{від}} \rho}{V_{\text{від}}} - m \rho \varepsilon - 2 m \omega_{\text{від}} \frac{d\rho}{dt} - 2 m \omega_{\text{неп}} \frac{d\rho}{dt} - m \rho \frac{d\omega_{\text{від}}}{dt} = 0. \\ N \cos \alpha + N f_1 \frac{h \omega_{\text{від}}}{V_{\text{від}}} - m g + m h \frac{d\omega_{\text{від}}}{dt} = 0 \end{cases} \quad (10)$$

Розв'язуючи цю систему диференціальних рівнянь, можна знайти змінні параметри руху матеріальної точки функції $\omega_{\text{від}}(t)$, $\rho(t)$, а також динамічні навантаження, що діють на неї.

Висновки. Одержані диференціальні рівняння відносного руху матеріальної точки по поверхні шнека дають змогу за допомогою числових методів дослідити робочий процес дозування сипких матеріалів за заданих параметрів шнека та закону його обертального руху.

1. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры. – М.: Промстройиздат, 1973. – 302 с. 2. Зенков Р.Л. и др. Машины непрерывного транспорта: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности “Подъемно-транспортные машины и оборудование” / Р.Л. Зенков, И.И. Ивашков, Л.Н. Колобов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с. 3. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. – М.: Колос, 1975. – 496 с. 4. Видинеев Ю.Д. Дозаторы непрерывного действия. – М.: Энергия, 1978. – 182 с.



Розрахункова схема руху матеріальної точки масою m по лопаті шнека