

УДК 621.8

О.Р. Рогатинська, канд. техн. наук, доц, Т.М. Пелешок, канд. техн. наук, Ю.С. Никеруй, М.В. Грубенюк

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

МОДЕЛЬ ПОШАРОВОГО РУХУ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ НАСИПНОГО ВАНТАЖУ ГВИНТОВИМ КОНВЕЄРОМ

O.R. Rogatynska, Ph.D, Assoc. Prof., T.V. Peleshok, Ph.D., Yu.S. Nykeruy, M.V. Hrubenyuk

MODEL OF LAYERED MOVEMENT DURING BULK CARGO TRANSPORTATION BY SCREW CONVEYOR

При транспортуванні сипких вантажів гвинтовим конвеєром (ГК) важливо оцінити вплив нерухомого кожуха та обертового гвинтового органу на перерозподіл швидкостей вантажу по січенню потоку. Для цього розглянемо модель руху вантажу з рівномірними шарами в умовах пошарового руху вантажу, рис., які не змінюють свого радіального розміщення, а окремі шари взаємодіють один із другим, як окремі об'єкти.

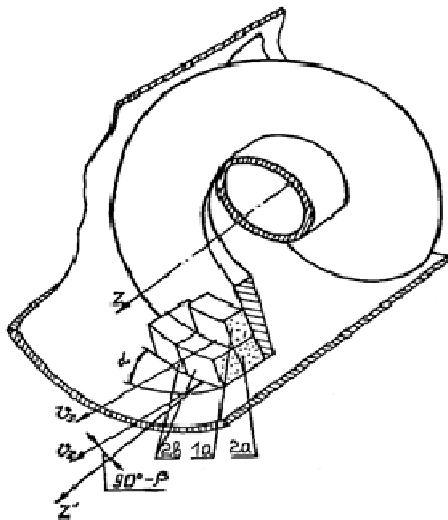


Рисунок 1. Розрахункова схема для пошарового руху вантажу при транспортуванні ГК.

Розглянемо рівномірний рух вантажу, що транспортується ГК з діаметром та кроком гвинта D та T , кутом підйому гвинта α при якому кінематичні та динамічні параметри рівномірно розподілені по шару. Такі елементи шарів наділені властивостями матеріальної частинки, що дає змогу використати відомі підходи. Поверхню спіралі позначатимемо індексом s , а кожуха - k . Коефіцієнти тертя вантажу до поверхонь кожуха та гвинта позначатимемо μ_k та μ_s , а коефіцієнт внутрішнього тертя матеріалу - f . Використовуючи принцип Даламбера напишемо рівняння динаміки найбільш наближеного до валу елемента шару $1a$ масою m_1 , що контактує із спіраллю.

Оскільки границі шарів матеріалу розміщені паралельно до поверхонь спіралі та кожуха, то вектори нормальних складових взаємодії між шарами \bar{N}_{ia} направлені так же як і відповідні реакції спіралі N_s та кожуха, N_k а складові від тертя \bar{F}_{ia} - аналогічно F_s та F_k і визначаються взаємним переміщенням шарів. Вектори $\bar{R}_{ia} = \bar{N}_{ia} + \bar{F}_{ia}$ від взаємодії сусідніх шарів направлені протилежно. Відповідно, в циліндричній системі координат $O\rho\theta z$ сила взаємодії i -го шару із сусіднім шаром чи з поверхнею спіралі або кожуха матиме складові $\bar{R}_{ia} = \alpha_{\rho i a j} R_{ia} \bar{e}_\rho + \alpha_{\theta i a j} R_{ia} \bar{e}_\theta + \alpha_{z i a j} R_{ia} \bar{e}_z$.

Рух шару $1a$ по поверхні спіралі s та шару $2a$ описували системою рівнянь:

$$\begin{aligned} \alpha_{\rho 1 a s} N_{1 a k} - m_{1 a} a_{\rho 1 a} - m_{1 a} g_{\rho} &= 0; \\ \alpha_{\theta 1 a 2} N_{1 a 2} + \alpha_{\theta 1 a k} N_{1 a k} - m_{1 a} a_{\theta 1 a} - m_{1 a} g_{\theta} &= 0; \\ \alpha_{z 1 a 2} N_{1 a 2} + \alpha_{z 1 a k} N_{1 a k} - m_{1 a} a_{z 1 a} - m_{1 a} g_z &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

де $a_{\rho 1a}, a_{\rho 1a}, a_{\rho 1a}$ - складові прискорення шару.
Тут $\alpha_{iaj} = \alpha_{1a2} = \{\alpha_{\rho 1a2}; \alpha_{\theta 1a2}; \alpha_{z1a2}\} = \{0; \sin \alpha_a + f \cos \alpha_a; \cos \alpha_a - f \sin \alpha_a\}$;
 $\alpha_{1as} = \{\alpha_{\rho 1as}; \alpha_{\theta 1ak}; \alpha_{z1as}\} = \{0; \sin \alpha + \mu_s \cos \alpha_1; \cos \alpha_1 - \mu_s \sin \alpha_1\}$;

Рух шару 2a по поверхні спіралі s та по шарам 1a та 3a (для тришарової моделі), із врахуванням дії шару 2b, що знаходиться над ним опишеться відповідно:

$$\begin{aligned} \alpha_{\rho 2ak} N_{2as} + \alpha_{\rho 2ab} N_{2ab} - m_{2a} a_{\rho 2a} - m_{2a} g_{\rho} &= 0; \\ \alpha_{\theta 2a1} N_{2a1} + \alpha_{\theta 2a3} N_{2a3} + \alpha_{\theta 2ak} N_{2ak} + \alpha_{\theta 2ab} N_{2ab} - m_{2a} a_{\theta 2a} - m_{2a} g_{\theta} &= 0; \\ \alpha_{z2a1} N_{2a1} + \alpha_{z2a3} N_{2a3} + \alpha_{z2ak} N_{2ak} + \alpha_{z2ab} N_{2ab} - m_{2a} a_{z2a} - m_{2a} g_z &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Рух шару 2b по поверхнях шару 2a та шару 3b, відповідно

$$\begin{aligned} \alpha_{\rho 2ba} N_{2ba} - m_{2b} a_{\rho 2b} - m_{2b} g_{\rho} &= 0; \\ \alpha_{\theta 2b3} N_{2b3} + \alpha_{\theta 2ba} N_{2ba} - m_{2b} a_{\theta 2b} - m_{2b} g_{\theta} &= 0; \\ \alpha_{z2b3} N_{2b3} + \alpha_{z2ba} N_{2ba} - m_{2b} a_{z2b} - m_{2b} g_z &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Аналогічні рівняння склалися для руху шарів, 3b, 3c по поверхнях кожуху k та сусідніх шарів, а для шару 3a також по поверхні спіралі s. Направляючі косинуси сили взаємодії шарів з кожухом: $\alpha_{1ak} = \{\alpha_{\rho 1ak}; \alpha_{\theta 1ak}; \alpha_{z1ak}\} = \{1; -\mu_2 \cos \beta_1; -\mu_2 \sin \beta_1\}$.

Просумувавши складові рівнянь кожного із шарів, отримали сумісне рівняння руху потоку:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^3 \alpha_{\rho iak} N_{iak} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=a}^i m_{ij} \rho_{ij} \ddot{\theta}_{ij}^2 - mg_{\rho} &= 0; \\ \sum_{j=a}^c \alpha_{\theta 1js} N_{1js} + \sum_{i=1}^3 \alpha_{\theta iak} N_{iak} - \sum_{i=1}^3 \sum_{j=a}^i m_{ij} \rho_{ij} \ddot{\theta}_{ij} &= 0; \\ \sum_{j=a}^c \alpha_{z1js} N_{1js} + \sum_{i=1}^3 \alpha_{ziak} N_{iak} - \sum_{i=1}^3 \sum_{j=a}^i m_{ij} c_{ij} \ddot{\theta}_{ij} - mg_z &= 0; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{де } N_s = \sum_{j=a}^c N_{1js}; N_k = \sum_{i=1}^3 N_{iak}; \alpha_{\rho s} = 0; \alpha_{zs} = \frac{\sum_{j=a}^c [N_{1js} \cos(\alpha_j + \varphi_s)]}{\sqrt{1 + \mu_s^2 \sum_{j=a}^c N_{1js}}}; \alpha_{\rho k} = 1;$$

$$\alpha_{\theta k} = \frac{\sum_{i=1}^3 (-\mu_k N_{iak} \cos \beta_{ia})}{\sum_{i=1}^3 N_{ias}}; \alpha_{zk} = \frac{\sum_{i=1}^3 (-\mu_k N_{iak} \sin \beta_{ia})}{\sum_{i=1}^3 N_{ias}}.$$

Аналіз системи (4) показує, що модель пошарового руху можна привести до моделі одного шару з приведеними параметрами, який контактує безпосередньо з гвинтом та кожухом. Для випадку швидкохідного вертикального конвеєра, потік якого характеризується постійною кутовою швидкістю кожної частинки (відсутністю переміщень між шарами): $a_{\theta} = 0$; $a_z = 0$; $g_{\rho} = 0$; g_{θ} ; $g_z = g \sin \gamma$; $a_{\rho s} = \rho_c \omega_{\Pi}^2$, де

$$\rho_c = \left(\sum_{i=1}^3 \sum_{j=a}^i m_{ij} \rho_{ij} \right) / m.$$

Приведена модель дозволяє виявити особливості руху потоку вантажу при транспортуванні його ГК та використовувати відомі залежності, виведені для випадку транспортування матеріальної частинки, із введенням поправочних коефіцієнтів, які обчислюються аналітично.