

УДК 621.8

О.Р.Дмитрів, канд. техн. наук, доц., Л.Р. Рогатинська; П.О. Леськів; М.В. Грубенюк  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗВ'ЯЗНИХ ЧАСТИНОК ГВИНТОВИМ КОНВЕЄРОМ

O.R. Dmytriv, Ph.D., Assoc. Prof; L.R. Rogatynska; P.O. Les'kiv; M.V.Grubenyuk  
MODEL OF TRANSPORTATION OF BOUND PARTICLES  
BY SCREW CONVEYOR

При транспортуванні сипких вантажів гвинтовим конвеєром (ГК) важливо оцінити перерозподіл швидкостей вантажу по довжині потоку.

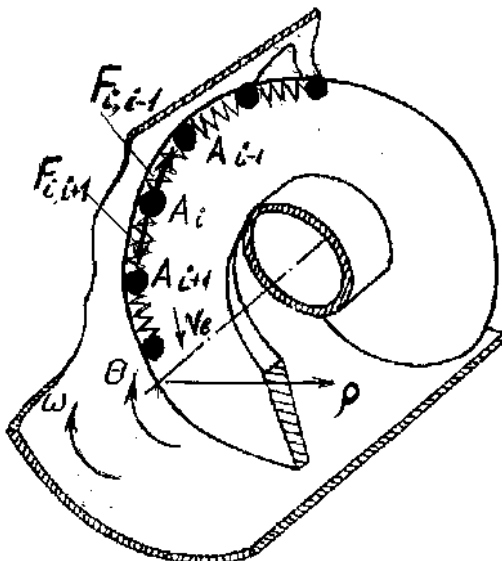


Рис. Розрахункова схема розміщення зв'язних частинок в ГК.

Розглянемо ряд частинок, розміщених по гвинтовій лінії, на які накладено в'язі зі сторони поверхні гвинта  $S$  та кожуха  $k$ . Виділимо  $n$  частинок масою  $m_i$ , на які діють сили реакції поверхонь спіралі шнека  $\bar{N}_{S_i}$  та кожуха  $\bar{N}_{k_i}$  сили тяжіння  $\bar{G}_i$ . Абсолютне прискорення частинок позначимо  $\bar{a}_i$ , а коефіцієнти тертя відповідно  $\mu_{S_i}$  та кожуха  $\mu_{k_i}$ . Рівняння руху  $i$ -ої частинки порівняно із рівняннями руху відокремленої частинки буде включати сили взаємодії між попередньою  $F_{i,i-1}$  та наступною  $F_{i,i+1}$  частинками (рис.), що напрямлені по дотичній до гвинтової лінії, а отже проєктуються тільки на осі  $Oz$ , та  $O\theta$  циліндричної системи координат  $O\rho\theta$ .

$$\alpha_{\rho k_i} N_{k_i} + G_{\rho-i} - m_i a_{\rho i} = 0;$$

$$\alpha_{\theta s_i} N_{s_i} + \alpha_{\theta k_i} N_{k_i} + \alpha_{\theta i,i-1} F_{i,i-1} + \alpha_{\theta i,i+1} F_{i,i+1} + G_{\theta-i} - m_i a_{\theta i} = 0;$$

$$\alpha_{z s_i} N_{s_i} + \alpha_{z k_i} N_{k_i} + \alpha_{z i,i-1} F_{i,i-1} + \alpha_{z i,i+1} F_{i,i+1} + G_{z-i} - m_i a_{z i} = 0.$$

Врахувавши циклічну повторюваність витків і стаціонарність процесу та те, що  $\alpha_{ei,i-1} = \alpha_{ei,i+1}$  сумуванням  $n$  рівнянь систем (1) за відповідними осями, отримуємо

$$-\sum_{i=1}^n N_{k_i} + G_{i\rho} + \sum_{i=1}^n m_i \rho_i \dot{\theta}_i^2 = 0;$$

$$(\sin \alpha + \mu_s \cos \alpha) \sum_{i=1}^n N_{s_i} - \mu_k \sum_{i=1}^n N_{k_i} \cos \beta_i + G_{i\theta} - \sum_{i=1}^n m_i \rho_i \ddot{\theta}_i = 0;$$

$$(\cos \alpha + \mu_s \sin \alpha) \sum_{i=1}^n N_{s_i} - \mu_k \sum_{i=1}^n N_{k_i} \sin \beta_i + G_{iz} + \sum_{i=1}^n m_i c_i \ddot{\theta}_i = 0.$$

У випадку, коли зв'язки між частинками є абсолютно жорсткими, їх кутові швидкості  $\dot{\theta}_i$  та кути нахилу траєкторій  $\beta$  будуть однаковими і диференціальне рівняння руху виділеного елемента  $m_i$  при куті нахилу конвеєра  $\gamma$  буде:

$$\ddot{\theta} + \mu_2 \dot{\theta}^2 \frac{\cos \alpha \cos(\alpha + \varphi_1 + \beta)}{\cos \varphi_1} = \frac{g \sin \gamma \sin(\alpha + \varphi_1)}{\sqrt{\rho^2 + c^2} \cos \varphi_1}. \quad (3)$$

При зміщенні частинок одна відносно іншої  $\dot{\theta} \neq const$  система прийме вид:

$$\begin{aligned} -N_{ki} - \cos \alpha \sin(\Delta\theta/2)(F_{i,i-1} + F_{i,i+1}) + G_{\rho i} + m\rho\dot{\theta}_i^2 &= 0; \\ (\sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha)N_{si} - \mu_2 \cos \beta \cdot N_{ki} + \cos \alpha (F_{i,i-1} - F_{i,i+1}) + G_{\theta i} - m\rho\ddot{\theta}_i &= 0; \\ (\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha)N_{si} - \mu_2 \sin \beta \cdot N_{ki} - \sin \alpha (F_{i,i-1} - F_{i,i+1}) + G_{zi} + mc\ddot{\theta}_i &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Виключення реакцій приводить до диференціального рівняння відносно  $\theta$ .

$$\begin{aligned} \ddot{\theta}_i + \frac{\Delta F_i}{m_i \sqrt{\rho^2 + c^2}} + \mu_2 \left( \dot{\theta}_i^2 - \frac{F_i \Delta \theta_i}{m_i \sqrt{\rho^2 + c^2}} \right) \frac{\cos \alpha \cos(\alpha + \varphi_1 + \beta_i)}{\cos \varphi_1} &= \\ = \frac{g[\mu_2 \sin \theta \cos \gamma \cos(\alpha + \varphi_1 + \beta) + \cos \theta \cos \gamma \cos(\alpha + \varphi_1) + \sin \gamma \sin(\alpha + \varphi_1)]}{\sqrt{\rho^2 + c^2} \cos \varphi_1}, \end{aligned} \quad (5)$$

де приріст сили взаємодії  $\Delta F = F_{i,i+1} - F_{i,i-1}$  а усереднений кут між сусідніми частинкам  $\Delta \theta_i = (\Delta \theta_{i,i+1} + \Delta \theta_{i,i-1})/2$ .

Зміну кутової швидкості  $i$ -ої частинки від впливу зовнішніх сил приймали:

$$\dot{\theta}_i = \dot{\theta}_c [1 + (\Delta \dot{\theta}_m / \dot{\theta}_c) \sin \gamma \cos(\dot{\theta}_c t + \theta_{0i})], \quad (6)$$

де  $\dot{\theta}_c$  та  $\Delta \dot{\theta}_m$  - середня кутова швидкість обертання частинок відносно осі ГК та максимально-можливе її відхилення,  $\Delta \dot{\theta}_m = \dot{\theta}_{\max} - \dot{\theta}_c$ ;  $\theta_{01} = 0$ .

Для великої кількості  $n$  частинок в ланцюгу та малих значень  $\Delta \theta$  буде:

$$\Delta \theta_i = (2\pi/n)[1 + (\Delta \dot{\theta}_m / \dot{\theta}_c) \sin \gamma \cos(\dot{\theta}_c t)].$$

Відповідно закон зміни віддалі між частинками буде:

$$l_{12} = \Delta \theta(t) \sqrt{\rho^2 + c^2} = (2\pi/n) \sqrt{\rho^2 + c^2} [1 + (\Delta \dot{\theta}_m / \dot{\theta}_c) \sin \gamma \cos(\dot{\theta}_c t)]. \quad (7)$$

У випадку, коли сила  $F_i$  пропорційна  $\varepsilon_i = \delta l_i / l_c$

$$F_i = C_F \varepsilon_i = C_F \varepsilon_{\max} \sin \gamma \cos(\dot{\theta}_c t + \varphi_{oi}) = C_F (\dot{\theta}_i / \dot{\theta}_c - 1), \quad (8)$$

та  $\Delta F = \Delta t C_F \ddot{\theta}_i / \dot{\theta}_c = C_F \ddot{\theta}_i \Delta \theta_c / \dot{\theta}_c^2$ .

Для усталеного руху та, відповідно, стаціонарного процесу транспортування:

$$\frac{\Delta F}{\sqrt{\rho^2 + c^2}} = \frac{2\pi C_F \ddot{\theta}_i \Delta \theta_c}{\Delta \theta_c \dot{\theta}_c^2 \sqrt{\rho^2 + c^2}} = \frac{2\pi C_F \ddot{\theta}_i}{\dot{\theta}_c^2 \sqrt{\rho^2 + c^2}} = C_\theta^w.$$

Тоді для рівняння руху  $s$ -ої частинки одиничної маси прийме вид

$$\begin{aligned} \ddot{\theta}_i (1 + C_\theta^w) + \mu_2 \dot{\theta}_i^2 \left[ 1 - C_\theta^w \left( 1 - \frac{\dot{\theta}_c}{\dot{\theta}_i} \right) \right] \frac{\cos \alpha \cos(\alpha + \varphi_1 + \beta_i)}{\cos \varphi_1} &= \\ = \frac{g[\mu_2 \sin \theta \cos \gamma \cos(\alpha + \varphi_1 + \beta) + \cos \theta \cos \gamma \cos(\alpha + \varphi_1) + \sin \gamma \sin(\alpha + \varphi_1)]}{\sqrt{\rho^2 + c^2} \cos \varphi_1}, \end{aligned} \quad (9)$$

Дослідження рівняння та закономірностей руху зв'язних частинок проводили числовими методами. Із рівняння руху (9), із врахуванням  $1 \gg C_i \Delta \theta_i / \dot{\theta}$ , впливає, що рух ланцюгово-зв'язаних частинок аналогічний руху відокремленої частинки і для випадку пружного зв'язку за моделлю Гука збільшення жорсткості зв'язку еквівалентно зменшенню розрахункового прискорення земного тяжіння. При цьому  $g_{ekv} = g/(1 + C_\theta^w)$ , де  $C_\theta^w$  - константа, що пропорційна жорсткості зв'язку.