

МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТУВАННЯ НАСИПНИХ ВАНТАЖІВ БЕЗВАЛЬНИМИ СПІРАЛЬНИМИ ШНЕКАМИ

T. Peleshok Ph.D.; L.Rogatynska; I. Golovach; V. Penionzhko

MODEL OF TRANSPORTATION OF BULK CARGO BY SHAFTLESS SPIRAL SCREWS

За принципом роботи безвальні спіральні шнеки відрізняються від конвеєрів з жорстким робочим органом розподілом швидкостей в потоці та умовами захоплення вантажу при завантаженні та транспортуванні. Зокрема такі шнеки допускають можливість транспортування вантажу по криволінійних траєкторіях і, відповідно, мають збільшені зазори між поверхнями кожуха та спіралі. Разом із наявністю центрального отвору, це призводить до нерівномірності розподілу та напрямку швидкостей частинок в потоці як по ширині спіралі, так і по за нею. Відповідно, пряме використання математичних моделей, які ґрунтуються на законах руху матеріальної частинки, призводитиме до значних похибок.

Метою дослідження є уточнення моделі транспортування сипких вантажів у безвальних спіральних шнеків шляхом розгляду не окремої частинки, а виділеного елементарного об'єму потоку з приведеними кінематичними та динамічними параметрами.

Розглянемо процес транспортування сипкого вантажу для спірального конвеєра діаметром кожуха $D_0 = 2R_0$ із спіраллю у вигляді гвинтової стрічки зовнішнім радіусом R , внутрішнім r та кроком T .

В інерціальній системі координат $Oxyz$ розміщення довільно виділеного елементарного об'єму вантажу ΔV , поданого у вигляді кутового сектора з параметром $\Delta\theta$, з кутовим параметром θ_Δ , визначається приведеними координатами його умовного центру з радіальним параметром ρ_Δ

$$x_\Delta = \rho_\Delta \cos\theta_\Delta; y_\Delta = \rho_\Delta \sin\theta_\Delta; z_\Delta = c(\theta_\Delta - \omega t), \quad (1)$$

де ω - кутова швидкість обертання робочого органу гвинтового конвеєра; c - параметр кроку спіралі, $c = T/(2\pi)$. Згідно даних експерименту $\rho_\Delta = \xi R + (1-\xi)r$, де $\xi \approx 0,8...0,9$.

На робочі поверхні конвеєра зі сторони потоку вантажу діє розподілене по дузі $\Delta\theta$ змінне навантаження, відповідно для спіралі q_c та кожуха q_k :

$$q_c = q_c(\theta) = \int_r^R p_c(\rho, \theta) d\rho = \Delta N_c / \Delta\theta; \quad q_k = q_k(\theta) = \int_z^{z+T} p_k(R_0, \theta) dz = \Delta N_k / \Delta\theta, \quad (2)$$

$$\text{де } \Delta N_c = \iint_{\Delta S_c} p_c d\rho d\theta, \quad \Delta N_k = \iint_{\Delta S_k} p_k dz d\theta \quad \text{та} \quad \Delta F_c = \iint_{\Delta S_c} \tau_c d\rho d\theta, \quad \Delta F_k = \iint_{\Delta S_k} \tau_k dz d\theta -$$

відповідно сили нормальних реакцій і сили тертя в зоні поверхонь спіралі шнека ΔS_c , та кожуха ΔS_k , що діють на елементарний об'єм вантажу ΔV ; p_c , p_k та τ_c , τ_k - відповідно нормальні та тангенціальні контактні напруження, що діють на поверхні спіралі та кожуха; ρ - радіальний параметр, $r \leq \rho \leq R$.

Отже, на виділений елементарний об'єм потоку вантажу ΔV з кутом $\Delta\theta$ зі сторони спіралі та кожуха діятимуть, відповідно, рівнодійні $\Delta \bar{R}_c$ та $\Delta \bar{R}_k$:

$$\Delta \bar{R}_c = \Delta \bar{N}_c + \Delta \bar{F}_c = \Delta N_c (\bar{n}_c - \mu_c \bar{v}_c^e / |\bar{v}_c^e|) = \bar{\alpha}_c \Delta N_c; \quad (3)$$

$$\Delta \bar{R}_k = \Delta \bar{N}_k + \Delta \bar{F}_k = \Delta N_k (\bar{n}_k - \mu_k \bar{v}_k^e / |\bar{v}_k^e|) = \bar{\alpha}_k \Delta N_k$$

Тут $\bar{\alpha}_c$ та $\bar{\alpha}_k$ вектори напрямку рівнодійних $\Delta \bar{R}_c$, $\Delta \bar{R}_k$. Згідно в циліндричній системі координат $Oxyz$ [1] : $\bar{\alpha}_c = \{\alpha_{\rho c}; \alpha_{\theta c}; \alpha_{zc}\} = \{0; \sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha; \cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha\}$; $\bar{\alpha}_k = \{\alpha_{\rho k}; \alpha_{\theta k}; \alpha_{zk}\} = \{1; -\mu_2 \cos \beta; -\mu_2 \sin \beta\}$, де α - кут нахилу спіралі в зоні дії $\Delta \bar{R}_c$, $\tan \alpha = c / \rho_\Delta$; β - кут підйому траєкторії вантажу.

Із врахуванням того, що елементарний об'єм становить $\Delta V = \phi_V \pi R^2 T (\Delta \theta / 2\pi)$, його маса

$$\Delta m = \pi \phi_V \gamma_0 R^2 c \cdot \Delta \theta = T Q_m \Delta \theta / (2\pi v_z), \quad (4)$$

де $Q_m = dm/dt = \Delta m / \Delta t = \pi \phi_V \gamma_0 R^2 v_z$ - масова витрата сипкого вантажу, γ_0 - насипна густина вантажу; v_z - осьова швидкість потоку, $v_z = \dot{z} = c(\dot{\theta} - \omega) = T(\omega - \omega_\Pi) / 2\pi$; Тут $\omega_\Pi = d\theta/dt$ - кутова швидкість кругового руху потоку.

На підставі викладеного, виведено рівняння руху потоку в гвинтовому каналі конвеєра під дією змінних (відносно θ) розподілених сил q_c та q_k ; питомої тангенціальної сили (по нормалі до перетину потоку) T_θ та об'ємних сил:

$$\begin{aligned} \alpha_{\rho c} q_c + \alpha_{\rho k} q_k + T_\theta + Q_m (g_\rho + \rho_\Delta \dot{\theta}^2) / (\omega - \dot{\theta}) &= 0; \\ \alpha_{\phi c} q_c + \alpha_{\phi k} q_k + (\Delta T_\theta / \Delta \theta) \cos \alpha_0 + Q_m (g_\phi - \rho_\Delta \ddot{\theta}) / (\omega - \dot{\theta}) &= 0; \\ \alpha_{zc} q_c + \alpha_{zk} q_k + (\Delta T_\theta / \Delta \theta) \sin \alpha_0 + Q_m (g_z - c \ddot{\theta}) / (\omega - \dot{\theta}) &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Нормальні реакції та сили тертя, що діють на потік, не змінюють свого напрямку по відношенню до потоку, а тому основним фактором, що впливає на величину та зміну тангенціальної сили T_θ є об'ємні сили

$$T_\theta = \eta \Delta F_y / \Delta \theta = \eta \Delta m (\rho_\Delta \dot{\theta}^2 + g_\rho) / \Delta \theta = \eta Q_m (\rho_\Delta \dot{\theta}^2 + g_\rho) / (\omega - \dot{\theta}). \quad (6)$$

де η - приведенне значення бокового тиску.

Відповідно, складова $\Delta T_\theta / \Delta \theta$ другого та третього рівнянь системи (6), за умови постійної витрати Q_m , рівна

$$\Delta T_\theta / \Delta \theta = \frac{dT_\theta/dt}{d\theta/dt} = \eta Q_m \left[\frac{2\rho_c \ddot{\theta}}{(\omega - \dot{\theta})} - \frac{\ddot{\theta}(\rho_c \dot{\theta}^2 + g_\rho)}{\dot{\theta}(\omega - \dot{\theta})^2} \right], \quad (7)$$

Диференціальне рівняння руху виділеного елемента потоку в циліндричній системі координат відносно θ отримували шляхом виключення q_c , q_k із системи (5) аналогічно [1]. Його розв'язок проводиться числовими методами. За відомим законом зміни $\theta = \theta(t)$ отримують закономірності для визначення розподілених сил q_c та q_k .

Література .

1. Рогатинська О. Р. Обґрунтування параметрів навантаження і конструкцій гвинтових конвеєрів : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.05. Тернопіль, 2006. 167 с.