

УДК 621.8

Р. Рогатинський, д-р. техн. наук., проф., О. Дмитрів, канд. техн. наук, доц., Д. Дмитрів, канд. техн. наук, доц., М. Грубенюк
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТОКУ ВАНТАЖУ В ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРАХ

R. Rogatynskyi, Dr., Prof., O. Dmytriv, Ph.D., Assoc. Prof., O. Dmytriv, Ph.D., Assoc. Pprof., M. Grubenyuk.

STUDYING THE FLOW OF THE CARGO IN THE SCREW CONVEYORS

Моделі транспортування вантажу гвинтовими конвеєрами на основі представлення його матеріальною частинкою не в повній мірі відповідають реальному процесу. Більш адекватними є моделі, що ґрунтуються на допущенні пошарового руху вантажу по поверхнях гвинтового конвеєра. Нехай в декартовій системі координат спіраль гвинтового конвеєра радіусом R запишеться у параметричному вигляді як

$$x = \rho \cos(\varphi - \omega t); \quad y = \rho \sin(\varphi - \omega t); \quad z = c\varphi,$$

де ρ та φ - радіальний та кутовий параметри гвинтової поверхні, $\rho \leq R$; c - параметр кроку T гвинтової спіралі, $c = T/(2\pi)$; ω - кутова швидкість обертання спіралі.

Розглянемо потік вантажу при транспортуванні ГК в спеціальній гвинтовій системі координат $Onbt$, осі якої є годографами векторів супроводжуючого трикутника $Ontb$ гвинтової твірної, де вісь On направлена по нормалі \vec{n} до гвинтової лінії, Ob - по бінормалі, а Ot - по дотичній.

Зв'язок системи $O\rho bt$ із декартовою системою координат $Oxyz$ має вигляд:

$$n = \sqrt{(x^2 + y^2)}; \quad t = \theta \sqrt{n^2 + c^2}; \quad b = (z - c\theta)n / \sqrt{n^2 + c^2}, \quad (1)$$

де n - радіальний параметр виділеного елемента потоку, $n = \rho$; θ - кутовий параметр виділеного елемента потоку, $\theta = \varphi - \omega t$; b - висота розміщення частинок потоку над поверхнею спіралі.

Допускаємо можливість пошарового руху, наприклад для вертикальних швидкохідних конвеєрів, у яких реалізується гвинтова симетрія. Тоді радіальна v_n та бінормальна v_b складові швидкостей довільного виділеного об'єму вантажу відсутні чи, порівняно із його тангенціальною складовою v_t є незначними, а тому $v_n = v_b = 0$, $v_A = v_t \vec{t}$. Швидкості деформації в потоці вантажу з пошаровим рухом будуть:

$$\dot{\epsilon}_n = \dot{\epsilon}_t = \dot{\epsilon}_b = \gamma_{nb} = 0; \quad \dot{\gamma}_{nt} = \frac{\partial v_t}{\partial n} - kv_t; \quad \dot{\gamma}_{tb} = \frac{\partial v_t}{\partial b} = 0, \quad (2)$$

де $\dot{\epsilon}_n$, $\dot{\epsilon}_t$, $\dot{\epsilon}_b$ - лінійні швидкості деформацій в системі $Onbt$; γ_{nt} , γ_{nb} , γ_{tb} - відповідно, кутові швидкості деформацій; k - кривизна гвинтової траєкторії потоку, $k = n/(n^2 + c^2)$.

Прийmemo, що в динамічному потоці нормальні напруження $\sigma_n = \sigma_t = \sigma_b = p$, де p - середньостатистичний тиск, а з тангенціальних напружень $\tau_{nb} = 0$

Відповідно система рівнянь рівноваги виділеного елементарного об'єму буде

$$\begin{cases} \partial p / \partial n - \rho^2 \omega_{\Pi}^2 = 0 \\ \partial \tau_{nt} / \partial n + \partial \tau_{bn} / \partial b + 2k\tau_{nt} - \rho g \sin \alpha = 0, \\ \partial p / \partial b - 2\chi \tau_{nt} - \rho g \cos \alpha = 0 \end{cases} \quad (3)$$

де χ - кривина та кручення гвинтової лінії потоку; α - кут її підйому $\alpha = \arctg(c/2\pi\rho)$.

Для сухих сипучих зернових нев'язких матеріалів прийємо умову розподілу внутрішнього тертя згідно закону Амонтона-Кулона: $\bar{\tau} = -\mu p \Delta \bar{v} / |\Delta v|$, де $\Delta \bar{v} = d\bar{r}_i / dt - d\bar{r}_j / dt$ – відносна швидкість між розглядуваними шарами.

Оскільки для ізотропного сипкого середовища осі тензора напружень співпадають із осями тензора деформацій, то для вологих сипких матеріалів приймаємо модель псевдо в'язкого середовища із зв'язком між відповідними тензорами $\tau_{ij} = \eta \gamma_{ij}$, де η – параметр динамічної в'язкості, що в загальному випадку залежить від швидкості деформацій і, для пошарового руху, $\eta = \eta(v_t)$

Допустимо, що дотичні напруження визначаються тільки середньо статичним тиском p :

$$|\tau_{in}| = |\tau_{ib}| = \mu p. \quad (4)$$

Тоді із врахуванням третього рівняння системи (3) та рівняння (4) розподіл середньостатистичного тиску по потоці

$$p = \frac{g \cos \alpha}{2 \chi \mu} - \left(1 - e^{-\frac{2 \chi (b_0 - b)}{\mu}} \right). \quad (5)$$

де $b_0 = b_0(n)$ – лінія нульового рівня потоку, визначається із рівняння

$$\frac{\partial b_0}{\partial n} = \frac{\omega_{\Pi}^2 n (\mu + \operatorname{ctg} \alpha)}{b (g \operatorname{cosec} \alpha - n \omega_{\Pi}^2)}. \quad (6)$$

Розподіл швидкостей у потоці згідно (2)

$$\frac{\partial v_t}{\partial \rho} - k v_t = \frac{\partial v_t}{\partial b}. \quad (7)$$

Швидкість v_t представляли у вигляді залежності

$$v_t = \sqrt{n^2 + c^2} \cdot f(n, b). \quad (8)$$

Підставляючи (8) в (9) отримуємо співвідношення $\partial f(n, b) / \partial n = f(n, b) / \partial b$.

За цією умовою можна підібрати апроксимаційні залежності для розподілу осьової складової швидкості потоку v_z та його кутової швидкості ω_{Π}

$$v_z = k_{\Sigma} c \omega \exp(b + n)^{\xi}; \quad \omega_{\Pi} = \omega [1 - k_{\Sigma} \exp(b + n)^{\xi}], \quad (9)$$

де: k_{Σ} та ξ – параметри, що визначаються із граничних умов та забезпечення середньої швидкості за заданим розходом чи експериментально.

Для випадку транспортування абсолютно зв'язного вантажу $\xi = 0$, а k_{Σ} залежить від умов транспортування, для тихохідних горизонтальних конвєсєрів $k_{\Sigma} = 1/e$, для швидкохідного горизонтального (ідеальне транспортування) – $k_{\Sigma} = 1/[e + e \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1)]$.

Виведені залежності дозволяють встановити характер потоку вантажу при його транспортування гвинтовими конвєсєрами та його кінематичні та динамічні параметри.