

**УДК 681.3**

**Роман Рогатинський, д.т.н., проф., Олена Рогатинська, к.т.н., доц., Юрій Заставний**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

**МОДЕЛЬ КОВШОВОГО ЕЛЕВАТОРА**

**Roman Rogatynskyi, Dr., Prof., Olena Rogatynska, Ph.D., Assoc. Prof., Yuriy Zastavnyi**  
**MODEL OF THE BUCKET ELEVATOR**

Ковшовий елеватор (норія) призначений для безперервного переміщення сипких вантажів у вертикальній або крутопохилій (понад 60°) до горизонту площині у ковшах, що закріплені з певним кроком на закріпчених ланцюгах або стрічці і відноситься до транспорту з неперервним тяговим робочим органом.

Оскільки стрічка рухається по замкнутій траєкторії, то в першому наближенні приймаємо, що кожна точка полотна, має однакову лінійну швидкість  $v = R_0 \omega_0$ , де  $R_0$  та  $\omega_0$  радіус та кутова швидкість привідного барабана, а довільна точка робочого ковша рухається по траєкторії, що описує еквідистанту до траєкторії руху полотна. Відповідно, при транспортуванні вантажу, всі процеси доцільно розглядати у взаємопов'язаних системах координат, для чого зручно використовувати матричні перетворення однорідних систем. Для цього базову нерухому систему координат  $Oxyz$  доцільно представити однорідною системою з чотирма координатами,  $Oxyz1$ . Тоді довільна точка  $A_i(x_{iA}, y_{iA}, z_{iA}, 1)$  в системі рухомих однорідних координат  $O_i x_i y_i z_i 1$   $i$ -го рухомого елемента (стрічки, барабану, ковша) в базовій системі матиме координати  $A_0(x_{0iA}, y_{0iA}, z_{0iA}, 1)$ . Їх зв'язок записується в матричному вигляді  $P = PM_{Li} M_{\Omega_i}; P_i$ , де  $P = (x, y, z, 1)$  - матриця координат системи координат  $Oxyz1$ ;  $P_i = (x_i, y_i, z_i, 1)$  - матриця координат системи координат  $O_i x_i y_i z_i 1$ ;  $M_{Li}$  та  $M_{\Omega_i}$  - відповідно матриці лінійних та оберткових переміщень. Для барабанів елеватора в розгорнутому вигляді система має вигляд

$$(x_{0iA}, y_{0iA}, z_{0iA}, 1) = \begin{pmatrix} \cos(\omega_i t + \Delta\varphi_i) & \sin(\omega_i t + \Delta\varphi_i) & 0 & 0 \\ -\sin(\omega_i t + \Delta\varphi_i) & \cos(\omega_i t + \Delta\varphi_i) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \Delta x_i & \Delta y_i & \Delta z_i & 1 \end{pmatrix} \cdot (x_{iA}, y_{iA}, z_{iA}, 1) \quad (1)$$

де  $\omega_i$  - кутова швидкість  $i$ -го барабана (зірочки);  $\Delta\varphi_i$  - кутове початкове зміщення  $i$ -го барабана;  $x_{iA}, y_{iA}, z_{iA}$  та  $x_{0iA}, y_{0iA}, z_{0iA}$  - відповідно, координати точки в рухомій та базовій системах координат;  $\Delta x_i, \Delta y_i$  та  $\Delta z_i$  - лінійні переміщення.

Для стрічки та ковшів, використовується та ж залежність, де лінійні переміщення визначаються як функції часу  $\vec{l} = \vec{v} \cdot t$ .

В загальному випадку трасу транспортування можна описати у параметричному вигляді через незалежний параметр  $\tau$ :  $x = x_i(\tau)$ ;  $y = y_i(\tau)$ ;  $z = z_i(\tau)$  [1]. Для ковшових елеваторів координата  $z$  є постійною  $z = u$  для всієї траси завантаження. Відповідно параметр розміщення точки (наприклад точки позиціонування ковша, на ділянці траси пов'язаний із параметром  $\tau$  залежністю:

$$s = \int_0^{\tau_s} \sqrt{\dot{x}^2(\tau) + \dot{y}^2(\tau)} \cdot d\tau \quad (2)$$

Якщо довільній  $i$ -та точці елеватора в момент часу  $t = 0$  відповідав параметр  $s = s(\tau)$ , то біжучий параметр розміщення по трасі буде  $l(\tau, t) = s(\tau) + vt$ , де  $v$  - лінійна швидкість стрічки елеватора.

Для випадку, коли осі  $Oz$  базової і рухомої систем координат розмістити співвісно осі приводного барабана (паралельно земній поверхні), то траєкторію траси доцільно розбити на ділянки, на яких реалізується перехід від системи координат ковша  $X_{ck} O_{ck} Y_{ck}$ , в якому знаходиться вантаж до базової системи координат. Переміщення точки вздовж ділянки  $S_i$  приймаємо за  $l$  величину шляху від початкової точки конвеєра до даної точки:

$$l(\tau, t) = (n - 1)T + s_i(\tau) + vt,$$

де  $n$  – кількість ковшів до точки на конвеєрі від точки початку руху ковшів (наприклад, зони початку завантаження).  $T$  - крок розміщення ковшів.  $s_i(\tau)$  - параметр розміщення точки на ділянці  $i$ .

Координати точки позиціонування ковша на коловій ділянці будуть

$$x_i(\tau) = -R_i \cos[s_i(\tau) / R_i]; \quad y_i(\tau) = -R_i \sin[s_i(\tau) / R_i]; \quad z_i(\tau) = u_i, \quad (3)$$

Для прямої ділянки  $R_i \rightarrow \infty$  і залежності (2) приймуть вигляд  $x_i(t) = s_i(t)$ ,  $y_i(t) = 0$ .

Ківш під час транспортування відхиляється від свого положення під дією постійного навантаження на кут  $\gamma_k$  і коливних сил, спричинених динамічним навантаженням, на кут  $\Delta\gamma_k$ . Коливання стрічки (ланцюга) обумовлюється конструкційними та технічними особливостями конвеєра і характеру його експлуатації.

Колівні рухи ковша залежать від конструкційних параметрів, а також від характеру дій зовнішніх зусиль:

$$\Delta\gamma_k(M, \tau) = \gamma(M) \sin(\omega_{ck}\tau + \varphi_{ck}), \quad (4)$$

де  $\gamma(M)$  - амплітуда змінної частини кута повороту скребка;  $M$  - матриця параметрів амплітуди  $\gamma(M)$ ;  $\omega_{ck}$  - циклічна частота кутових коливань скребка;  $\varphi_{ck}$  - кут зміщення коливань скребка.

Матриця зміни розташування частинки вантажу під дією вантажу в системі плоского полотна елеватора має вигляд  $P_k = (x_k, y_k, 1)$ , скребка  $P_{ck} = (x_{ck}, y_{ck}, 1)$ , де

$$P_k = P_{ck} M_{\gamma_k} M_{\Delta\gamma_k} M_{\Delta t} = P_{ck} M_{\gamma_k + \Delta\gamma_k} M_{\Delta t}, \quad (5)$$

$$\text{Тут } M_{\gamma_k + \Delta\gamma_k} = M_{\gamma_k} M_{\Delta\gamma_k} = \begin{pmatrix} \cos(\gamma_k + \Delta\gamma_k) & \sin(\gamma_k + \Delta\gamma_k) & 0 \\ -\sin(\gamma_k + \Delta\gamma_k) & \cos(\gamma_k + \Delta\gamma_k) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad M_{\Delta t} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \Delta x_k & \Delta y_k & 1 \end{pmatrix}.$$

Ці залежності дають можливість побудувати ефективну комп'ютерну модель процесу, отримати координати тіла вантажу в будь-який момент часу в базовій та рухомих (ковша, стрічки) системах координат. Швидкості і прискорення складових елеватора та вантажу визначаються диференціюванням їх переміщень у часі.

#### **Перелік посилань**

1. Рогатинський Р. М. Формування потоків сипкого вантажу в машинах неперервного транспорту / Роман Рогатинський, Лілія Рогатинська // Збірник праць. Т.7: Праці Інженерно-технічної комісії / Тернопільський осередок Наукового товариства ім. Шевченка / відп. ред.: М. Андрейчин, ред. тому: П. Ясній. — Тернопіль : Джура, 2012. — Том 7. — С. 88-97. — (машинобудування, механіка, матеріалознавство).