

УДК 621.8

Л.Р.Рогатинська, Т.С. Дубиняк, Ю.А. Заставний, П.О. Леськів  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## ВПЛИВ ЗАЗОРІВ НА СИЛУ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В ДЕТАЛЯХ ПРИВОДУ КОНВЕЄРІВ

L.R. Rogatynska.; T.S. Dubynyak; Yu A Zastavnyi; P.O. Les'kiv  
INFLUENCE OF THE BACKLASH ON THE POWER OF CONTACT  
INTERACTION OF DETAIL OF DRIVE OF CONVEYOR

Експлуатація машин, зокрема конвеєрів, пов'язана із змінними динамічними навантаженнями. При цьому в спряжених із зазором деталях приводу виникають ударні контактні напруження.

Згідно розв'язку контактної задачі Герца, поточна сила взаємодії двох тіл при пружному контакті:

$$P_{ij} = k_{ij} a_{ij} u_{ij} = k_{ij} u_{ij}^{3/2} / \sqrt{K_i + K_j}, \quad (1)$$

де  $k_{ij}$  - коефіцієнт, що враховує пружні властивості тіла контакту;  $u_{ij}$  - величина жорсткого зближення в контактній задачі Герца;  $a_{ij}$  - розрахунковий радіус площадки контакту;  $K_i$  та  $K_j$  - кривини поверхонь об'єктів (частинок) в точці контакту (для вгнутих поверхонь із знаком мінус).

Тут

$$k_{ij} = \frac{4}{3} \left/ \left( \frac{1 - \mu_i^2}{E_i} + \frac{1 - \mu_j^2}{E_j} \right) \right.,$$

де  $\mu_i$  та  $\mu_j$  - коефіцієнт Пуассона матеріалу поверхонь контакту;  $E_i$  та  $E_j$  - модуль Юнга матеріалу поверхонь контакту.

Для випадку взаємодії тіл, відмінних від куль, площадка контакту буде не круглою і для поверхні контакту визначається приведена кривина, яку, в першому наближенні, приймаємо рівну середній кривині поверхні  $K_i = H_i$ .

Якщо поверхні контакту описати у вигляді неявних функцій одиничного градієнту,  $f_i = f_i(x, y, z) = 0$ , то за величину жорсткого зближення в точці контакту  $E$  можна умовно вважати глибину проникнення одного геометричного об'єкту в інший.

В цьому випадку величина жорсткого зближення буде

$$u_{ij} = \Delta h_i + \Delta h_j = -[f_{iE}(x_E, y_E, z_E) + f_{jE}(x_E, y_E, z_E)],$$

де  $\Delta h_i$  та  $\Delta h_j$  глибини проникнення кожного об'єкту відносно розрахункової точки контакту (зближення)  $E$ .

Для визначення зміни глибини проникнення та контактної сили в часі реалізовано обчислюваний експеримент, за результатами якого встановлено, що зміну в часі сили контакту  $P_{ij} = P_{ij}(t)$  спряжених деталей при ударі можна апроксимувати функцією, аналогічною бета-функції, в якій фіксованими параметрами розподілу є максимальна сила ударної взаємодії  $P_{ij\max}$ , що сприймає робочий орган та асиметрія удару  $\tau$ , що визначається відношенням часу  $t_{\max}$  досягнення максимуму ударної сили до всього часу контакту  $t_k$ :

$$P_{ij}(t) = P_{ij \max} \left( \frac{t}{\tau \cdot t_k} \right)^\varepsilon \left[ \frac{t_k - t}{t_k(1-\tau)} \right]^{\varepsilon(1-\tau)/\tau}, \quad (2)$$

де  $\varepsilon$  - коефіцієнт форми кривої, для пружного удару  $\varepsilon = 1,5$ , для в'язко-пластичного  $\varepsilon < 1,5$ ;  $\tau$  - параметри асиметрії кривої взаємодії,  $\tau = t_{\max} / t_k$ , для симетричної кривої  $\tau = 0,5$ .

Прийmemo, що маса елемента  $j$  суттєво більша маси елемента  $i$ ,  $m_j > m_i$ . Тоді, згідно закону збереження імпульсу,  $i$ -ий елемент масою  $m_i$  при ударі змінює величину та напрям руху (відбивається від поверхні масивного елемента) і, відповідно, виконується співвідношення

$$m_i(\bar{v}_{i-} - \bar{v}_{i+}) = -\bar{n}_i \cdot \int_0^{t_k} P_{ij} dt, \quad (3)$$

де  $\bar{v}_{i-}$  та  $\bar{v}_{i+}$  відповідно, швидкість зближення (до контакту) деталей з початковим зазором  $\Delta$ , та швидкість відскоку елемента приведеною масою  $m_i$ ;  $\bar{n}_i$  - вектор нормалі до поверхні елемента  $j$ .

Представимо імпульс кількості руху при ударі у вигляді

$$\int_0^{t_k} P_{ij} dt = \xi_{ij} P_{ij \max} t_k,$$

де  $\xi_{ij}$  - коефіцієнт що враховує форму кривої  $0,4 \leq \xi_{ij} \leq 0,6$ . Для пружних тіл  $\xi_{ij}$  приймає менші значення із вказаного діапазону. Тоді залежність (3) прийме вигляд

$$m_i(1 + k_{\text{від}})v_i = \int_0^{t_k} P_{ij} dt = \xi_{ij} P_{ij \max} t_k, \quad (4)$$

де  $k_{\text{від}}$  - коефіцієнт відновлення при ударі,  $k_{\text{від}} = -|\bar{v}_{i+}| / |\bar{v}_{i-}|$ .

У випадку, якщо поверхня  $i$ -ої деталі описана функцією одиничного градієнту  $f_i = f_i(x, y, z) = 0$ , то швидкість його нормального зближення із робочою поверхнею буде  $v_i = d f_i / d t = d f_i(x, y, z) / d t$  і визначається як

$$v_i = d f_i / d t = \sqrt{2P_{\text{прив}} \Delta / m_{\text{прив}}}, \quad (5)$$

де  $P_{\text{прив}}$  та  $m_{\text{прив}}$  - відповідно приведені до ударної зони контакту сила дії приводу при стаціонарному русі та маса рухомих складових конвеєра;  $\Delta$  - зазор в спряженні.

Відповідно, рівняння (4) прийме вигляд

$$m_i(1 + k_{\text{від}}) d f_i(x, y, z) / d t = \int_0^{t_k} P_{ij} dt = \xi_{ij} P_{ij \max} t_k. \quad (6)$$

Тоді, за умови відомого часу контакту, максимальну силу ударної взаємодії можна визначити за залежністю

$$P_{ij \max} = [m_i(1 + k_{\text{від}}) / (\xi_{ij} t_k)] d f_i(x, y, z) / d t. \quad (7)$$

Проведені дослідження показали, що час контакту мало залежить від швидкості контактного зближення і, відповідно, максимальна сила ударної взаємодії, в першому наближенні, буде прямо пропорційна швидкості контактного зближення

$$P_{ij \max} = C_E m_i v_i = C_E m_i \sqrt{2P_{\text{прив}} \Delta / m_{\text{прив}}}, \quad (8)$$

де  $C_E = (1 + k_{\text{від}}) / (\xi_{ij} t_k)$  - часовий параметр моделі, постійний для певної пари деталей в умовах ударної взаємодії.