

## УДК 621.8

Іван Гевко, д.т.н., проф.; Олена Рогатинська, к.т.н., доц.; Тарас Дубиняк;

Лілія Рогатинська; Павло Леськів

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

### ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В ДЕТАЛЯХ ПРИВОДУ

Ivan Nevko, Dr., Prof.; Olena Rogatynska, Ph.D., Assoc.prof.; Taras. Dubynyak; Liliya Rogatynska; Pavlo Les'kiv

### INVESTIGATION OF CONTACT INTERACTION OF DETAIL OF DRIVE

У спряжених деталях приводу, між якими існує зазор, виникають ударні навантаження та, відповідно, ударні контактні напруження, що призводять до зношування та деградації поверхонь деталей. Особливо це стосується захисних муфт, наприклад кулькових чи кулачкових, при спрацюванні яких виникають циклічні ударні навантаження.

Для ударної взаємодії при швидкості ударного зближення деталей, що суттєво менше швидкості поширення звуку (ударного імпульсу), силу удару визначають згідно розв'язку контактної задачі Герца. Тоді сила взаємодії двох тіл при пружному контакті визначається за залежністю:

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

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).

Для такого випадку розроблено алгоритми та програмне забезпечення, що дозволяє моделювати розвиток ударної взаємодії деталей приводу в часі в режимі обчислюваного експерименту.

Зокрема на рис. 1 та рис 2 наведено закономірності зміни сили удару в часі окремої сталюї кульки до сталюї поверхні від швидкості співударяння (рис.1) та розмірів кульок (рис.2).

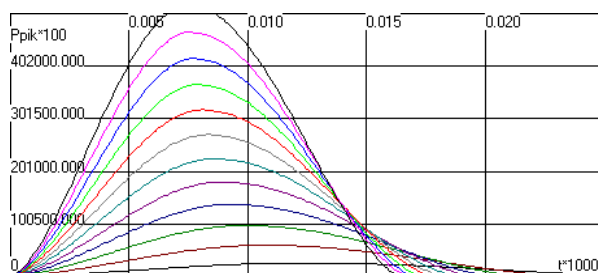


Рисунок 1. Зміна сили удару від швидкості співударяння сталюї кульки радіусом  $r = 0,005$  м при швидкостях зближення:

- 1 -  $v_1 = 1$  м/сек;
- 2 -  $v_2 = 2$  м/сек;
- 3 -  $v_3 = 3$  м/сек;
- 4 -  $v_4 = 4$  м/сек;
- 5 -  $v_5 = 5$  м/сек;
- 6 -  $v_6 = 6$  м/сек;
- 7 -  $v_7 = 7$  м/сек;
- 8 -  $v_8 = 8$  м/сек;
- 9 -  $v_9 = 9$  м/сек;
- 10 -  $v_{10} = 10$  м/сек;
- 11 -  $v_{11} = 11$  м/сек;
- 12 -  $v_{12} = 12$  м/сек;

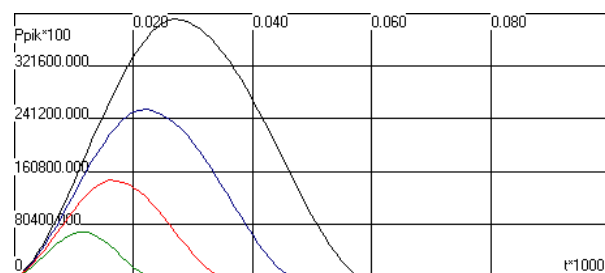


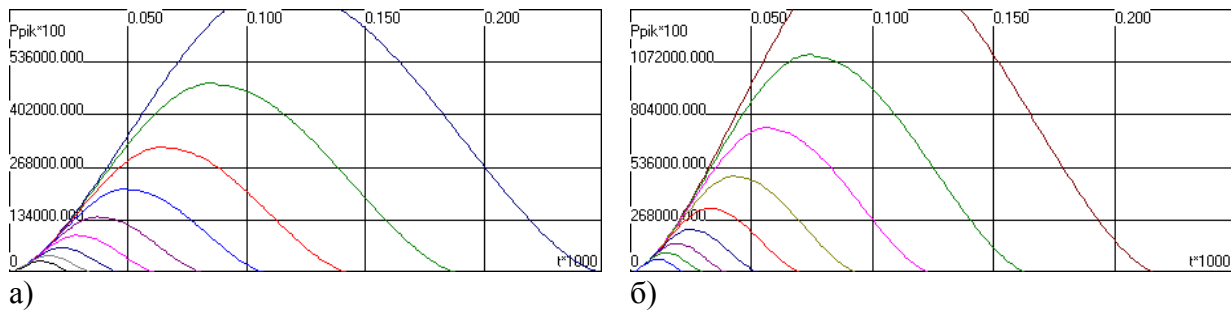
Рисунок 2. Залежність зміни сили удару  $P$  (н), в часі для кульок різних радіусів  $r$ , при початковій швидкості співударяння  $v_1 = 1$  м/сек (в порядку зростання розмірів):  
1.-  $r = 0,005$  м; 2.-  $r = 0,0075$  м; 3.-  $r = 0,01$  м; 4.-  $r = 0,0125$  м.

У випадку спрацювання запобіжних муфт, кулька сприймає імпульс всіх рухомих мас. Для моделі це означатиме, що маса  $m_k$  кульки незмінного розміру збільшується до величини приведеної маси  $m_{прив}$ .

$$m_{прив} = k_m \cdot m_k, \quad (2)$$

де  $k_m$  - коефіцієнт приведення маси рухомих елементів до маси кульки.

Час удару та сила удару кульки із приведеною масою, при цьому, буде суттєво зростати. Графіки зміни сили уданої взаємодії деталей в часі для швидкості співударяння  $v_1=1$  м/с та  $v_2=2$  наведені на рис. 3 та рис. 4.



Залежність зміни сили удару  $P$  (н), в часі для кульки радіусом  $r = 0,005$  м при швидкості співударяння  $v_1=1$  м/с з приведеними масами, відповідно для швидкостей співударяння  $v_1=1$  м/с (а) та  $v_2=2$  (б) по порядку зростання контактної сили

- 1 -  $m_{прив} = m_k$ ; 2 -  $m_{прив} = 2m_k$ ; 3 -  $m_{прив} = 4m_k$ ; 4 -  $m_{прив} = 8m_k$ ; 5 -  $m_{прив} = 16m_k$ ;  
6 -  $m_{прив} = 32m_k$ ; 7 -  $m_{прив} = 64 \cdot m_k$ ; 8 -  $m_{прив} = 128 \cdot m_k$ ; 9 -  $m_{прив} = 256 \cdot m_k$ .

Апроксимація залежностей зміни сили удару в часі для випадку контактної взаємодії з достатньою для практичного використання точністю, доцільно проводити залежностями виду

$$P_{ij}(t) = P_{ij \max} \left( \frac{t}{\tau \cdot t_k} \right)^\varepsilon \left[ \frac{t_k - t}{t_k (1 - \tau)} \right]^{\varepsilon(1-\tau)/\tau} \quad (3)$$

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  $\tau = 0,5$ , для залежностей, отриманих в результаті обчислюваного експерименту -  $\tau = 0,45$ .

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

$$P_{ij \max} = C_E m_i v_i = C_E m_i \sqrt{2 P_{прив} \Delta / m_{прив}}, \quad (4)$$

де  $C_E = (1 + k_{від}) / (\xi_{ij} t_k)$  - часовий параметр моделі, постійний для певної пари деталей в умовах ударної взаємодії;  $\xi_{ij}$  - коефіцієнт що враховує форму кривої та час взаємодії  $0,4 \leq \xi_{ij} \leq 0,6$ .

Розроблена модель дозволяє суттєво спростити розрахунок деталей приводу та оцінити сили та контактні напруження при ударній взаємодії деталей.