



УДК 621.65

## ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ І НАПРЯМКУ БІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ШЕСТЕРНІ НАСОСА ВІД СИЛ ТИСКУ РОБОЧОЇ РІДИНИ

*О. В. Ларкін, С. В. Безуглий*

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»*

Величина та напрямок зусилля від бічного навантаження на шестірню визначаються розподілом надлишкового тиску по колу шестірні. Під надмірним тиском (перепадом тисків) розуміють різницю тисків у поточній точці та в порожнині входу. Перепад тисків між порожнинами виходу та входу позначимо через

$$\Delta p_n = p_n - p_{вх}, \quad (1)$$

а перепад тисків між поточною точкою та порожниною входу через

$$\Delta p = p(\varphi) - p_{вх}. \quad (2)$$

Розглянемо таке завдання.

Ширина шестерні приймається рівною  $b$ . Тиск поширюється на частину бічної поверхні, обмежену кутами  $\varphi_m$  та  $\varphi_q$ . На ділянці від перепаду тисків має постійну величину  $\Delta p_n$ ; на ділянці від  $\varphi_n$  до  $\varphi_q$  перепад тисків має змінну величину  $\Delta p(\varphi)$ , що залежить від поточного кута.

На ділянці від  $\varphi_q$  до  $\varphi_m$  перепад тисків тотожно дорівнює  $\Delta p_{вх} = 0$ .

Елементарне зусилля, що виникає в будь-якій точці бічної поверхні шестерні від впливу на неї тиску рідини, дорівнює добутку цього тиску на елементарну площу, нормальну до його напрямку:

$$dP = \Delta p b R_r d\varphi, \quad (3)$$

де  $R_r = D_r/2$  – радіус головок зубців шестерень.

Елементарне зусилля може бути представлене у вигляді вектору, проекції якого на осі координат і мають такі значення:

$$dP_y = \Delta p b R_r d\varphi \sin \varphi; \quad (4)$$

$$dP_x = \Delta p b R_r d\varphi \cos \varphi. \quad (5)$$

Щоб знайти проекцію результуючої сили тиску на будь-яку вісь координат, необхідно проінтегрувати в межах проекції елементарних зусиль на цю вісь.

Проекції результуючої сили тиску на ділянці, де тиск мають, очевидно, наступну величину (для шестерні із зовнішнім радіусом  $R_r$  і шириною  $b$ ):

Щоб знайти проекцію результуючої сили тиску на вісь координат, необхідно проінтегрувати в певних межах проекції елементарних зусиль на цю вісь.



Проекції результуючої сил тиску на ділянці, де тиск постійно мають, очевидно, наступну величину (для шестерні із зовнішнім радіусом  $R_r$  і шириною  $b$ ):

$$P_y = \Delta p_n b R_r \int_{\varphi_m}^{\varphi_n} \sin \varphi d\varphi = \Delta p_n b R_r (-\cos \varphi) I_{\varphi_m}^{\varphi_n}; \quad (6)$$

$$P_x = \Delta p_n b R_r \int_{\varphi_m}^{\varphi_n} \cos \varphi d\varphi = \Delta p_n b R_r (\sin \varphi) I_{\varphi_m}^{\varphi_n}. \quad (7)$$

Проекції результуючої сили тиску на дільниці, де тиск змінюється у випадку відповідно до закону  $p = p(\varphi)$ , тієї ж ширини шестерні  $b$  обчислюють так:

$$P_y = b R_r \int_{\varphi_n}^{\varphi_q} \Delta p(\varphi) \sin \varphi d\varphi; \quad (8)$$

$$P_x = b R_r \int_{\varphi_n}^{\varphi_q} \Delta p(\varphi) \cos \varphi d\varphi. \quad (9)$$

Результуюча всіх сил тиску

$$P_0 = \sqrt{(\sum P_y)^2 + (\sum P_x)^2}, \quad (10)$$

а тангенс кута нахилу її до осі  $y$

$$tg \alpha = \sum P_x / \sum P_y. \quad (11)$$

Таким чином можна визначити величину та напрямок бічного зусилля від тиску рідини на шестірню для конкретних розмірів та умов роботи насоса при довільному законі розподілу надлишкового тиску по колу.

Як приклад визначимо величину та напрямок бічного зусилля при наступних припущеннях:

а) на ділянці від  $\varphi_n$  до  $\varphi_q$  розподілу перепаду тисків лінійне

$$\Delta p = c \Delta p_n - a \varphi,$$

б) кут  $\varphi_m = 0$ .

В цьому випадку проекції зусилля від дії рідини на бічну поверхню шестерень у порожнині входу та виходу, де тиск постійно рівний з урахуванням виразів (6) та (7)

$$P_{y.вих} = \Delta p_n b R_r (1 - \cos \varphi_n); \quad (12)$$

$$P_{x.вих} = \Delta p_n b R_r \sin \varphi_n. \quad (13)$$

Коефіцієнти апроксимації у формулі для розподілу перепаду тисків дорівнюють



$$a = \Delta p_n / (\varphi_q - \varphi_n); \quad c = a \varphi_q / \Delta p_n = \varphi_q / (\varphi_q - \varphi_n).$$

Проекції на осі координат рівнодіючої від сил тиску рідини на ділянці кола зі змінним перепадом у цьому випадку визначають наступними виразами, що впливають із рівнянь (8) та (9).

$$P_y = \frac{bR_r \Delta p_n}{\varphi_n - \varphi_q} \left[ \varphi_q (\cos \varphi_q - \cos \varphi_n) + \sin \varphi_q - \sin \varphi_n + \varphi_n \cos \varphi_n - \varphi_q \cos \varphi_q \right]; \quad (14)$$

$$P_x = \frac{bR_r \Delta p_n}{\varphi_q - \varphi_n} \left[ \varphi_q (\sin \varphi_q - \sin \varphi_n) + \cos \varphi_n - \cos \varphi_q + \varphi_n \sin \varphi_n - \varphi_q \cos \varphi_q \right]. \quad (15)$$

Визначаємо суми проекцій

$$\Sigma P_y = P_{y.вих} + P_y; \quad \Sigma P_x = P_{x.вих} + P_x.$$

Визначаємо бічне зусилля, що діє на шестірню, згідно з виразом (10) та напрям його щодо осі за допомогою кута за формулою (11).

З метою аналізу впливу кутових довжин входу ( $360^\circ - \varphi_q$ ) і виходу ( $\varphi_n$ ) на величину та напрямок бічної сили наводимо її компоненти (12), (13), (14), (15) до безрозмірного вигляду, використовуючи вираз  $J_i = P_i / bR_r \Delta p_n$

$$J_{y.вих} = 1 - \cos \varphi_n; \quad (16)$$

$$J_{x.вих} = \sin \varphi_n; \quad (17)$$

$$J_y = \frac{1}{\varphi_n - \varphi_q} \left[ \varphi_q (\cos \varphi_q - \cos \varphi_n) + \sin \varphi_q - \sin \varphi_n + \varphi_n \cos \varphi_n - \varphi_q \cos \varphi_q \right]; \quad (18)$$

$$J_x = \frac{1}{\varphi_q - \varphi_n} \left[ \varphi_q (\sin \varphi_q - \sin \varphi_n) + \cos \varphi_n - \cos \varphi_q + \varphi_n \sin \varphi_n - \varphi_q \cos \varphi_q \right]. \quad (19)$$

Визначаємо суми безрозмірних проекцій

$$\Sigma J_y = J_{y.вих} + J_y; \quad \Sigma J_x = J_{x.вих} + J_x.$$

Безрозмірна результуюча всіх сил тиску

$$J_6 = \sqrt{(\Sigma J_y)^2 + (\Sigma J_x)^2}, \quad (20)$$

а тангенс кута нахилу її до осі

$$tg \alpha = \Sigma J_x / \Sigma J_y. \quad (21)$$