УДК 62.762.62

МАКУХІН В.М., АНДРЕНКО П.М., канд. техн. наук

ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ РІДИНИ В КІЛЬЦЕВІЙ ЩІЛИНІ ПРИ ОБЕРТАННІ ВАЛА

При математичному описі гідродинамічних процесів в гідравлічних елементах та пристроях виникає необхідність визначення витрати рідини в кільцевій щілині яка утворена циліндричною трубою всередині якої розміщено вал, який обертається з кутовою швидкістю ω. Неусталений рух в'язкої нестисливої рідини між близько розташованими поверхнями, одна з яких рухається розглядався багатьма авторами [1, 2]. При цьому обґрунтовано прийнято, що рух робочої рідини (РР) через малі щілини можна прийняти ламінарним [3], а її об'ємні властивості сталими. Приймають також, що РР однорідна та ізотропна [4]. У загальному випадку ламінарний рух РР між двома циліндричними трубами, при відсутності теплообміну, деформації стінок та нехтуванням масовими силами та початковою ділянкою, для осісиметричної течії РР, в циліндричній системі координат, визначається двома рівняннями [2]

$$\frac{1}{r}\left[\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial u}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(r\frac{\partial u}{\partial z}\right)\right]=-\frac{\Delta p}{\mu l};\quad \frac{\partial u}{\partial z}=0, \qquad (1)$$

де r – радіус; u – швидкість РР; z – вісь координат; Δp – перепад тиску на щілині; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості РР; l – довжина труби.

Ламінарний рух РР між співвісними циліндрами, що обертаються, при припущенні що лінії течії мають вигляд кола ($u_r = 0$), а течія відбувається в площині ($u_x = 0$) та є усталеною ($\partial u/\partial t = 0$), визначається з рівнянь Нав'є-Стокса та нерозривності [2]

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial r}+\nu_t\frac{2}{r^2}\frac{\partial u_\omega}{\partial\theta}=\frac{u_\omega^{\,2}}{r};\\
&\frac{1}{\rho r}\frac{\partial p}{\partial\theta}+\nu_t\left(\frac{\partial^2 u_\omega}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial u_\omega}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial^2 u_\omega}{\partial\theta^2}+\frac{\partial^2 u_\omega}{\partial x^2}-\frac{u_\omega}{r^2}\right)=\frac{u_\omega}{r}\frac{\partial u_\omega}{\partial\theta};\\
&-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}=0; \qquad \frac{\partial u_\omega}{\partial\theta}=0.
\end{aligned}\right\}, \qquad (2)$$

де ρ – густина РР; ν_t – коефіцієнт кінематичної в'язкості РР; θ – координатний кут; x – вісь координат.

З системи рівнянь (2), визначалось дотичне напруження

$$\tau = -\mu \frac{2a^2b^2}{r^2}\frac{\omega}{a^2-b^2}, \qquad (3)$$

де a і b - відповідно радіус труби і вала.

Прирівнюючи дотичне напруження (3), дотичному напруженню, визначеному згідно відомої формули Ньютона, отримали залежність для визначення розподілу швидкості РР викликаною обертанням вала

$$u_\omega = \frac{2a^2b^2\omega}{a^2-b^2}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{r}\right). \qquad (4)$$

Розподіл швидкості РР викликаний перепадом тиску отриманий з (1) [2]

$$u = \frac{\Delta p}{4\mu l}\left[a^2 - r^2 - \left(a^2-b^2\right)\frac{\ln\frac{a}{r}}{\ln\frac{a}{b}}\right]. \qquad (5)$$

Зауважимо, що швидкості u і u_ω направлені під кутом 90^0, що треба враховувати при визначені сумарної швидкості РР в кільцевій щілині, та залежать від багатьох факторів, а саме від геометричних вимірів щілини (радіального проміжку, довжини), перепаду тиску, коефіцієнта кінематичної в'язкості РР, співвісного розміщення вала в трубі та інших. Знаючи розподіл тиску вздовж координатних осей можна розрахувати усі інші характеристики течії РР в кільцевій щілині при обертанні вала, в тому числі і витрату. Відмітимо, що несиметричне розташування вала в трубі може бути враховано коефіцієнтом значення якого згідно роботи [6] знаходиться в межах від 1 до 2,5.

Список літератури: **1**. *Бодяков Г. И.* Нестационарное течение вязкой несжимаемой жидкости между двумя цилиндрами // Инж.- физ. Журнал. – 1965. – т. 8. - №1. – С. 41 – 47. **2.** *Емцев Б.Т.* Техническая гидромеханика: Учебник. – М.: Машиностроение, 1987. – 440 с. **3.** *Попов Д.Н.* Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1987.- 464 с. **4.** *Лурье З. Я., Лищенко И. Г.* Скорость течения вязкой жидкости в постоянном зазоре узла поршень- цилиндр объемной гидромашины // Вестник ХГПУ. – Харьков: ХГПУ. – 1999. – Вып. 85. – С. 66 -73. **5.** *Гликман Б.Ф.* Математические модели пневмогидравлических систем. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-техн. лит., 1986. – 368 с.: ил., табл. – Библиогр.: с. 353 – 363. **6.** *Никитин Г. А., Ипатов А. М.* Утечки через уплотнения малой длины // Гидропривод и гидропневмоавтоматика. Вып. 6. - К.: Техника, 1970. С. 81–86.