

З РІВНЯННЯ ГАЗОВОГО ЗМАЩЕННЯ І ЗАГАЛЬНОПРИЙНЯТІ ТЕОРЕТИЧНІ ПРИПУЩЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В цій роботі розглянуто рівняння Рейнольдса для тонкого шару газу.

Ключові слова: *мастильний шар; рівняння Рейнольдса; рівняння нерозривності.*

Abstract

Summary In this paper, the Reynolds equation for a thin gas layer is solved.

Keywords: *lubricating layer; Reynolds equation; continuity equation.*

Вступ

Історія газових опор значно коротше за часом, чим історія підшипників рідинного тертя або опор кочення, вона дуже багата за змістом, тому що за останні 30 років і теорія, і практика газових опор дуже активно розроблялися в найбільш розвинутих у промисловому відношенні країнах. У даний час існує величезна кількість публікацій по газовому змащенню. І незважаючи на це в газовому змащенні залишається дуже багато невирішених проблем, що пояснюється великою складністю і різноманітністю задач, що стоять перед теорією і практикою цієї галузі науки. Для вирішення цих задач необхідно розглянути теорію газового змащення.

Результати дослідження

Теорія газового змащення є розділом гідродинаміки в'язкої рідини, що будується в основному на двох положеннях: течія газового змащення, як правило, є ламінарним, і товщина плівки набагато менше двох інших її розмірів. Крім цього, мастильний шар звичайно вважається ізотермічним, що у випадку газового змащення більш правомірно, чим у випадку рідинної. Дійсно, унаслідок малої в'язкості газів, тепловиділення, обумовлені дисипацією кінетичної енергії деталі, яка обертається, у газовому шарі значно менше, ніж у шарі рідкого мастила [1]. У газостатичних же опорах несучий шар газу може вважатися ізотермічним з особливо високою точністю, тому що робочі зазори там помітно вище, сили в'язкого тертя, отже, особливо малі, а стислий газ, що надходить у зазор, забезпечує швидке винесення тепла, що утворилося в плівці, за межі робочого зазору.

Рівняння газового змащення, що прийнято називати рівняннями Рейнольдса [3], є наслідком умов рівноваги між силами в'язкого тертя і силами тиску в мастильному шарі. Вони виводяться з рівнянь Нав'є-Стокса при малих числах Рейнольдса [5]. У довільній ортогональній криволінійній системі координат ці рівняння мають вигляд [4]:

$$\begin{aligned} \frac{1}{H_1} \frac{\partial p}{\partial q_1} &= \mu \frac{\partial^2 V_1}{\partial q_3^2}, \\ \frac{1}{H_2} \frac{\partial p}{\partial q_2} &= \mu \frac{\partial^2 V_2}{\partial q_3^2}, \\ \frac{\partial p}{\partial q_3} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

де координата q_3 , розміщується по товщині мастильного шару, є лінійно ($H_3 = 1$), що завжди можливо зробити і що найчастіше робиться, оскільки це зручно [5]. Інші символи в рівняннях (1) мають такий зміст:

p – тиск у мастильному шарі;
 μ – динамічний коефіцієнт в'язкості;
 V_1, V_2 – проекції швидкості частки мастильного шару на координатні осі q_1 і q_2 відповідно;
 H_1, H_2 – коефіцієнти Ламе.

До рівнянь (1) варто приєднати рівняння нерозривності, що з урахуванням стислості мастильного шару записується так [5]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{H_1 H_2} \left\langle \frac{\partial}{\partial q_1} (H_2 \rho V_1) + \frac{\partial}{\partial q_2} (H_1 \rho V_2) + \frac{\partial}{\partial q_3} (H_1 H_2 \rho V_3) \right\rangle = 0, \quad (2)$$

де ρ – щільність, t – час.

При ізотермічному процесі щільність газу ρ пропорційна тиску, так що рівняння (2) має такий вигляд:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{1}{H_1 H_2} \left\langle \frac{\partial}{\partial q_1} (H_2 p V_1) + \frac{\partial}{\partial q_2} (H_1 p V_2) + \frac{\partial}{\partial q_3} (H_1 H_2 p V_3) \right\rangle = 0. \quad (3)$$

Помітимо, що рівняння (1) справедливі лише в тому випадку, коли товщина мастильного шару мала не тільки в порівнянні з його довжиною, але і з мінімальним радіусом його кривизни, що в реальних задачах газового змащення практично завжди виконується.

Останнє рівняння (1) означає, що тиск від координати q_3 не залежить. Це дозволяє перші два рівняння системи (1) проінтегрувати двічі за змінною q_3 , потім знайдені вирази V_1 і V_2 вставити в рівняння нерозривності (3) і потім проінтегрувати його по товщині шару. Конкретний вигляд остаточного рівняння залежить від крайових умов конкретної задачі і від складності коефіцієнтів Ламе, однак істотно, що це рівняння є нелінійним рівнянням у частинних похідних другого порядку. Часто саме це рівняння і називають рівнянням Рейнольдса, що може бути не зовсім правильно і не зовсім зручно, однак великої шкоди від цієї невизначеності в термінології немає: це не єдиний приклад, коли в ті самі терміни вкладається різний зміст. Частково це порозумівається помилками в перекладах іноземних публікацій, а частково в цьому відображається далекий від завершення процес розвитку гідродинамічної теорії змащення. Зауважимо, що в випадку газових підвісів, які працюють в стаціонарних умовах, кінцеве рівняння розподілу тиску в змащувальному шару являється еліптичним.

Висновки

На основі рівнянь Рейнольда для тонкого ізотермічного шару газової змазки знайдені інтегральні характеристики для практично важливих різновидностей підп'ятників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шевченко А. В. Практичне використання дослідження газостатичних підшипників при їх асиметричному навантаженні : Монографія. – Вінниця : УНІВЕРСАМ – Вінниця, 2004. – 193 с.
2. Eshghy S. Optimum design of multiple-hole inherently compensated air bearings. Part I. Circular Thrust Bearings. -Trans. ASME, 1975, vol. F97, N 2, p. 221-227.
3. Емельянов А.В. Федотов В.А., Приятельчук В.А. Характеристики радиальных газостатических опор с двойным дросселированием газового потока.- Машиноведение, 1977, № 2, с. 97-104.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука, 1973, №43 с.56-58.
5. Пинегин С.В., Поспелов Г.А., Пешти Ю.В. Опоры с газовой смазкой в турбомашинах ограниченной мощности. - М.: Наука, 1977, 107 с.

Жадан Олександр Леонідович – студент групи 2БЦІ-20, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: alekszaadan@gmail.com

Корчевський Богдан Болиславович – к.т.н., доцент кафедри інженерних систем у будівництві, e-mail: b.b.korchevckiy@gmail.com

Науковий керівник: *Шевченко Алла Володимирівна* – к.т.н., професор кафедри інженерних систем у будівництві, e-mail: allashev1950@gmail.com

Zadan Aleksandr I. – Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: alekszadan@gmail.com

Korchevckiy Bogdan B. – K. Sc. (Eng.), Professor Department of Engineering Systems in Building, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: b.b.korchevckiy@gmail.com

Supervisor: **Shevchenko Alla V.** – K. Sc. (Eng.), Professor Department of Engineering Systems in Building, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: allashev1950@gmail.com