

УДК 621.822.57

РОЗРАХУНОК ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ДВОСТОРОННЬОЇ ПЛОСКОЇ ПОРИСТОЇ ПРЯМОКУТНОЇ ГАЗОСТАТИЧНОЇ ОПОРИ ВЕЛИКОГО ВИДОВЖЕННЯ

Ревкач М. В., канд. фіз.-мат. наук, доц. Степанчук В. І.,
канд. техн. наук, доц. Федотов В. О.

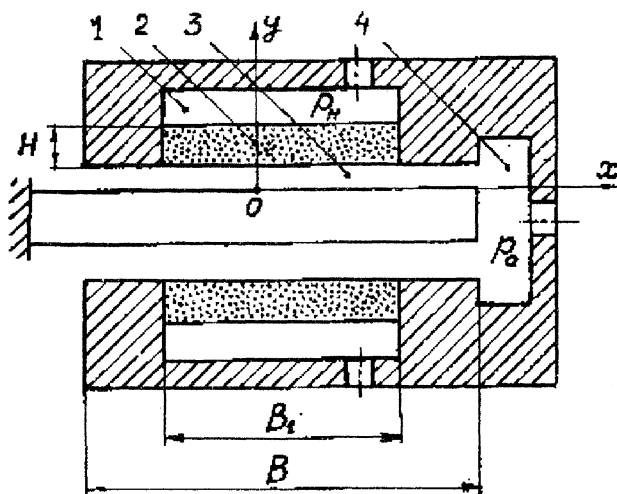


Рис. 1

тичних апроксимацій [3] при відповідно можливому спрощенні задачі для одержання інформації кількісного та якісного характеру з метою створення інженерного підходу та конструктивної оптимізації параметрів вказаного різновиду газостатичних опорних пристроїв.

У плоских прямокутних опорах газ (повітря) під тиском p_H подається в проміжну камеру 1 (рис. 1). Він протікає через пористий матеріал 2 товщиною H в змащувальний зазор 3 товщиною h (порядку 10 мкм), а далі тече в зазорі між непроникними поверхнями в атмосферу або камеру витоку 4, де встановлюється атмосферний тиск p_a .

Спрямовуючі опорні пристрої для верстатів звичайно конструюються таким чином, що пористі вкладки витягуються у вигляді лінії впритул одна до одної або з незначним проміжком вздовж опори. при цьому довжина опори L (на рис. 1 не показана) набагато перевищує ширину опори B (рис. 1).

Рух газу в прямокутних опорах будемо описувати в координатній системі $Oxyz$, вісь Oz напрямлена вздовж найбільшого розміру опори L , вісь Ox — поперек опори, а вісь Oy — вертикально (рис. 1).

Очевидно, що газ у змащувальному шарі протікає від області найбільшого тиску до найближчої межі змащувального шару, де тиск дорівнює атмосферному, тобто переважно в поперечному напрямку. Зміна тиску газу вздовж координати z несуттєва, коли відношення L/B перевищує 10 [3]. рух газу при цьому можна вважати однонапрямленим. Крім того, в проникному шарі течію газу можна вважати напрямленою вздовж координати y [3].

Вказані припущення дозволяють знизити розмірність рівнянь, полегшити їх розв'язок без істотного викривлення результатів [2,3] та, найголовніше, виділити характерні особливості протікання газу і дати рекомендації щодо оптимального проектування опорних пристроїв.

Рух газу в тонкому змащувальному шарі описується рівняннями Рейнольдса [3]

$$\frac{dp}{dx} = \mu \frac{d^2 v_x}{dy^2}, \quad \frac{dp}{dy} = 0, \quad (1)$$

де p — т
У по

де k — т
Відом
граничн
щодо ро
шарі під

Рівня
ділянках

де $\xi = 2$
Врахс

рівняння

Фізич
опору [4
ною h_0
 H і прони
Проек
ший інте

Велич
відповідн
Заува
фактично
параметр
досліджен
вирази дл
Результ
зміщення

де p — тиск в шарі; μ — динамічний коефіцієнт в'язкості газу, v_x — швидкість газу в шарі.

У пористому матеріалі протікання газу підлягає закону Дарсі [3]

$$v_y = \frac{k}{\mu\rho} \frac{dp}{dy}, \quad (2)$$

де k — коефіцієнт проникності матеріалу; ρ — густина газу.

Відомі прийоми інтегрування [3] рівнянь (1), (2) для ізотермічної течії газу з урахуванням граничних умов для швидкості газу на нерухомих робочих поверхнях та вказаних вище припущень щодо розмірів опори дають можливість одержати рівняння розподілу тиску газу в змашувальному шарі під проникним матеріалом

$$\frac{d}{dx} \left(h^3 \frac{dp^2}{dx} \right) + 12 \frac{k}{H} (p_H^2 - p^2) = 0. \quad (3)$$

Рівняння (3) можна подати в безрозмірному вигляді для протікання потоку газу у відповідних ділянках змашувального шару

$$(1 + \eta)^3 \frac{d^2 U}{d\xi^2} - \Psi^2 (P_H^2 - U) = 0, \quad 0 \leq \xi < \xi_1, \quad (4)$$

$$\frac{d^2 U}{d\xi^2} = 0, \quad \xi_1 < \xi < 1,$$

де $\xi = 2x/B$, $\xi_1 = B_1/B$, $P = p/p_a$, $U = P^2$, $\eta = (h - h_0)/h_0$, h_0 — нормована товщина.

Враховуючи граничні умови для тиску газу

$$\left(\frac{dU}{d\xi} \right)_{\xi=0} = 0, \quad U(\xi_1)_+ = U(\xi_1)_-, \quad \left(\frac{dU}{d\xi} \right)_{\xi_1+} = \left(\frac{dU}{d\xi} \right)_{\xi_1-}, \quad U(1) = 1 \quad (5)$$

рівняння (4) допускають розв'язки

$$U(\xi) = P_H^2 - (P_H^2 - 1) \operatorname{ch}(\lambda \xi) / A, \quad 0 \leq \xi \leq \xi_1;$$

$$U(\xi) = 1 + \lambda (P_H^2 - 1) \operatorname{sh}(\lambda \xi_1) (1 - \xi) / A, \quad \xi_1 \leq \xi \leq 1; \quad (6)$$

$$A = \operatorname{ch}(\lambda \xi_1) + \lambda (1 - \xi_1) \operatorname{sh}(\lambda \xi_1), \quad \lambda = \Psi (1 + \eta)^{-3/2}.$$

Фізичний зміст параметра Ψ полягає в тому, що $\Psi^2 = 3kB / (Hh_0^3)$ є відношенням гідравлічного опору [4] течії газу вздовж x між двома непроникними поверхнями в шарі розмірами $B \times L$ товщиною h_0 до гідравлічного опору течії газу вздовж y в проникному шарі тих же розмірів товщиною H і проникністю k . Параметр Ψ для реальних конструкцій лежить в межах $0,1 \div 100$.

Проектувальників цікавлять інтегральні характеристики газової опори в цілому, з яких найбільший інтерес становлять під'йомна сила (повна реакція) F та жорсткість C

$$F = F_{\text{верх}} - F_{\text{ниж}} = p_a L B F^*;$$

$$C = dF/dh = p_a L B C^* / h_0; \quad C^* = dF^* / d\eta; \quad (7)$$

$$F^* = \left(\int_0^{\xi_1} \sqrt{U} d\xi + \int_{\xi_1}^1 \sqrt{U} d\xi \right)_{\text{верх}} - \left(\int_0^{\xi_1} \sqrt{U} d\xi + \int_{\xi_1}^1 \sqrt{U} d\xi \right)_{\text{ниж}}.$$

Величини F^* та C^* називаються безрозмірною під'йомною силою та безрозмірною жорсткістю відповідно.

Зауважимо, що параметри Ψ та ξ_1 є основними параметрами геометричної подібності опори, які фактично задаються конструкторами, оскільки величину P_H задає система пневможивлення, а параметр η визначається умовами навантаження. Внаслідок цього кінцевою метою теоретичного дослідження є з'ясування залежності F^* та C^* від параметрів Ψ та ξ_1 . Однак громіздкі аналітичні вирази для інтегралів (7) мало що дадуть для безпосереднього розуміння суті справи.

Результати комп'ютерних обчислень показують, що під'йомна сила майже лінійно залежить від зміщення опори від, симетричного положення. Апроксимація

$$F^* = \left(\frac{dF^*}{d\eta} \right)_{\eta=0} \eta = C_0^* \eta \quad (8)$$

виконується з достатньою точністю, тобто $C^* = C_0^*$.

Фізичний зміст безрозмірної жорсткості C^* полягає в тому, що це є відношення реальної жорсткості опори до жорсткості пружини, яка при деформації h_0 розвиває силу $p_a L B$ (7).

На рис. 2 показана залежність безрозмірної жорсткості від параметра Ψ (крива 1 відповідає

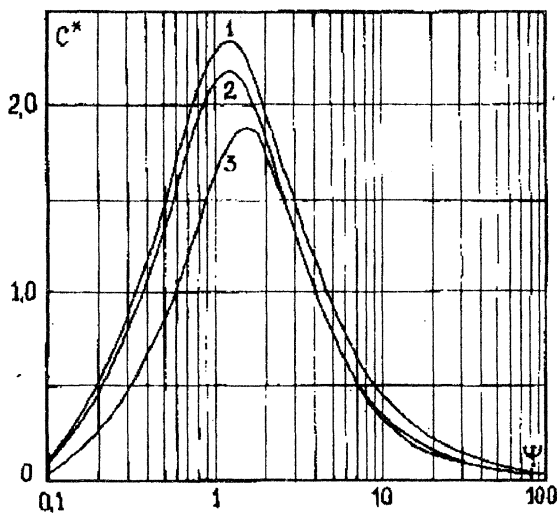


Рис. 2

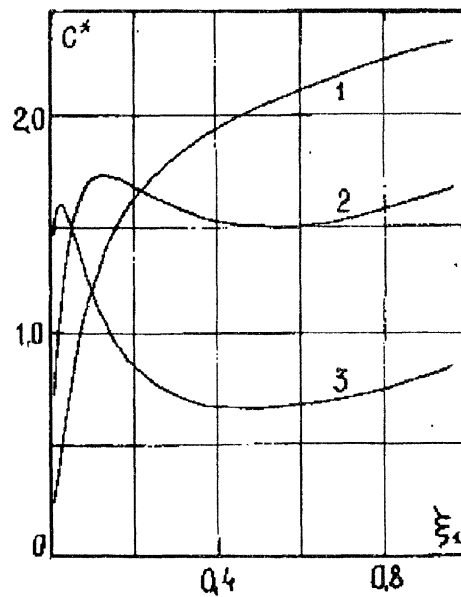


Рис. 3

$\xi_1 = 0,975$; 2 — $\xi_1 = 0,7$; 3 — $\xi_1 = 0,3$). Спостерігається виражений оптимум жорсткості при значеннях $\Psi = 1+2$.

На рис. 3 показана залежність C^* від відносної ширини пористої вкладки (крива 1 відповідає $\Psi = 1,25$; 2 — $\Psi = 2,5$; 3 — $\Psi = 5$).

Одержані графіки дають можливість проектувальникам прийняти обґрунтовані конструкторські рішення стосовно призначення розмірів B_1, H , для пористих матеріалів із заданою проникністю. Розміри B_1, H можуть бути визначені через наведені вище вирази для Ψ, ξ_1 і цим може бути досягнута максимально можлива або бажана жорсткість опор напрямляючих пристроїв надпрецизійних верстатів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sneek H. J. A Survey of Gas-Lubricated Porous Bearings // Trans. ASME, Ser. F, J. Lubr. Technology, 1968. — V. 90. — № 4.
2. Wu K. H., Cusano C. Analysis of Externally Pressurised, Double-Pad, Gas Porous Thrust Bearing // Trans. ASME, Ser. F, J. Lubr. Technology, 1983. — V. 105. — № 1.
3. КонстантINESКУ В. Н. Газовая смазка: Перев. с рум. / Под ред. М. В. Коровчинского. — М.: Машиностроение, 1968. — 718 с.
4. Емельянов А. В., Федотов В. А., Дзюбинский Г. Г. Исследование газостатических подпятников и улучшение их характеристик // Машиноведение. — 1976. — № 3. — С. 96—105.

Кафедра теоретичної та будівельної механіки

УДК 62

Дослі
ктичне з
частоти.
Неха

Пока:

де $Q_{n,m}$
збігаєтьс
ніж номе
В [1]

Пока:
за вираз

де n — ст
Перш

При а:
створюю