

## ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДІАЛЬНОГО ГАЗОВОГО ПІДВІСУ З АКТИВНИМ ЗОВНІШНІМ ДРОСЕЛЕМ ПРИ КУТОВИХ ТА РАДІАЛЬНИХ ПЕРЕМІЩЕННЯХ ВАЛА

Вінницький національний технічний університет

**Анотація**

В статті розглянуто радіальний газовий підвіс з двома зовнішніми дроселями у вигляді щілин подачі газу, ширина яких автоматично змінюється в залежності від кутових та радіальних переміщень вала, досліджується вплив ширини щілин на його статичні характеристики (кутову та радіальну жорсткості, витрати газу) в діапазоні лінійності відновлювального моменту та підйомної сили від переміщень вала. З'ясувалося, що запропонована конструкція газового підвісу зі змінними зовнішніми дроселями, порівняно з підвісом при фіксованій ширині щілин подачі стиснутого газу, має при  $P_n=5,0$  та оптимальних конструктивних параметрах зростання кутової та радіальної жорсткостей до 20% і 70% відповідно, в залежності від кута нахилу щілин подачі газу до осі підвісу та відношення їх ширини до номінального радіального зазору. Витрати газу через робочі зазори підвісів не залежать від типу дроселя.

**Ключові слова:** радіальний газовий підвіс, дві щілин, змінна ширина щілин, радіальна жорсткість, кутова жорсткість, витрати газу.

**Abstract**

Radial gas suspension with two external reactors as a gas supply slits, the width of which varies automatically according to the angular and radial shaft movements investigate the influence of the width of the slits on its static characteristic (angular and radial stiffness, gas flow) in the linear range of the righting and lift from the shaft displacements. It is found that the proposed design of the gas suspension with variable external reactors as compared with suspension by fixing the width of the compressed gas slots is at  $pH 5.0$  and optimal structural parameters and increase radial stiffness corner to 20% and 70% respectively, depending angle from the gas supply to the axis of suspension of the slits and the ratio of the width to the nominal radial clearance. Gas flow through the working clearances of the suspensions is not dependent on the type of reactor.

**Keywords:** radial gas suspension, two slots, variable width slots, radial stiffness, angular stiffness, gas consumption.

**Вступ**

Використання шпindelних вузлів на газових підвісах в верстатів та приладах пояснюється фізико-технічною властивістю газу (повітря), що використовується в якості мастила. Але невелика в'язкість та стискання газу вимагає детального дослідження усіх факторів, що впливають на їх роботу. Найбільш широко газові підвіси використовуються в прецизійних приладах, при роботі яких практично відсутні динамічні навантаження (кругломіри, профілометри, прилади для точного контролю та перевірки тиску газу тощо), а статичні змінюються в відомих межах. Надійність газових підвісів залежить від відповідності розрахункових значень підйомної сили, моменту реакції та жорсткості робочого газового шару зовнішнім навантаженням, а економічність – від витрат газу. Інженери та науковці постійно ведуть пошук конструкцій та методів розрахунку газових підвісів з максимальними силовими характеристиками при мінімальних витратах газу. Це досягається використанням зовнішніх дроселів (ланцюжок отворів малого діаметра, щілин подачі газу, пористі вставки), комбінації зовнішнього та внутрішнього дроселювання потоку газу. Перспективним напрямком поліпшення статичних характеристик газових підвісів є використання змінного зовнішнього дроселя, що реагує на зміну зовнішнього навантаження. Але розрахунок таких підвісів практично відсутній в наукових часописах.

**Основна частина**

Метою роботи є розрахунок статичних характеристик (підйомно сили, відновлювального моменту при кутових переміщеннях вала підвісу, жорсткості та витрат газу) газового підвісу з двома лініями подачі газу в робочі зазори та змінним зовнішнім дроселем при складній неспіввідності.

Під дією сили  $F_n$  та ваги вала  $P$ , вал (рис. 1) переміщується в радіальному напрямку на величину  $e$  (радіальний ексцентриситет) і повертається на кут  $\nu$ , а рухома втулка переміщується на  $e_1$  та  $\nu_1$  відповідно.

Зовнішні сили  $F_0^e = P + F_n$  та момент  $M_0^e = F_n \cdot OK$  врівноважуються підйомною силою газового підвісу  $F$  та відновлювальним моментом  $M$ .

$$F = 4R_0^2 p_a F^*, \quad M = 4R_0^3 p_a M^*,$$

$$F^* = \lambda \left( \int_0^{\alpha_1} d\xi \int_0^\pi \sqrt{u_1} \cos \varphi d\varphi + \int_{\alpha_1}^1 d\xi \int_0^\pi \sqrt{u_2} \cos \varphi d\varphi \right),$$

$$M^* = \lambda^2 \left( \int_0^{\alpha_1} \xi d\xi \int_0^\pi \sqrt{u_1} \cos \varphi d\varphi + \int_{\alpha_1}^1 \xi d\xi \int_0^\pi \sqrt{u_2} \cos \varphi d\varphi \right).$$

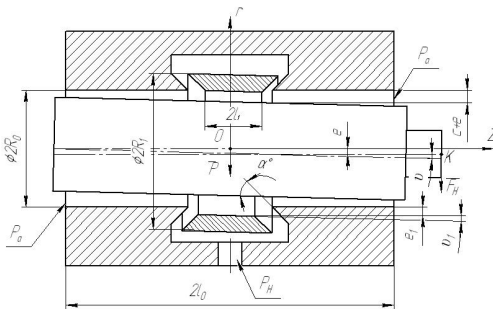


Рис. 1 – Газовий підвіс з двома щілинами подачі газу при складній неспіввідності

$$u_1 = \frac{p_1^2}{p_a^2} (0 \leq \xi \leq \alpha_1),$$

де  $p_a$  – тиск в оточуючому підвісі середовищі;

– квадрат безрозмірного тиску в

$$u_2 = \frac{p_2^2}{p_a^2} (\alpha_1 \leq \xi \leq 1)$$

робочих зазорах підвісу;  $\lambda = l/R_0$  – відносна довжина підвісу;  $\alpha_1 = l_1/l$  – відносний інтервал між лініями подачі газу;  $\xi = z/l$  – безрозмірна осьова координата;  $\varphi$  – кут, що відраховується по колу валу від напівпрямой, що проходить через точку О (рис. 1) та мінімальний робочий зазор.

Для симетричних газових підвісів вплив радіальних переміщень на відновлювальний момент  $M$ , а кутових – на підйомну силу  $F$  практично дорівнює нулю і тому:  $K_{\varepsilon\theta}^* = 0$ ,  $K_{\theta\varepsilon}^* = 0$ .

При наявності рухомого зовнішнього дроселя (рис. 1) безрозмірні статичні характеристики підвісу будуть знаходитися з виразів:

$$F^*(\varepsilon, \varepsilon_1) = K_{\varepsilon}^* \varepsilon, \quad M^*(\theta, \theta_1) = K_{\theta}^* \theta,$$

де  $K_{\varepsilon}^*$  – безрозмірна радіальна жорсткість;  $K_{\theta}^*$  – безрозмірна кутова;  $\varepsilon = e/c$  та  $\theta = l_1 \cdot v / c$  – відповідно безрозмірні радіальне та кутове переміщення втулки.

Масові  $Q$  та безрозмірні  $Q^*$  витрати газу при кутових переміщеннях вала знаходяться з виразів:

$$Q = \frac{\pi k p_a^2 c^3}{12 \mu} \cdot Q^*, \quad Q^* = \frac{2(P_H^2 - 1)}{\lambda(1 - \alpha_1)(1 + \psi)}$$

$$\text{де } \psi = \frac{c^3 \ln\left(\frac{R_1}{R_0}\right)}{\delta_0^3 \lambda (1 - \alpha_1) \sin \alpha}$$

– параметр щілини подачі стиснутого газу.

### Результати досліджень

У підвісу (рис. 1) при фіксованому положенні щілини подачі газу  $\alpha_1$ , існує оптимальне значення параметра  $\psi$  при якому безрозмірна радіальна жорсткість  $K_{\varepsilon}^*$  буде максимальна. При збільшенні відстані між щілинами ( $l_1$  наближається до  $l_0$ ) зростає  $K_{\varepsilon}^*$ , але при цьому значно зростають безрозмірні витрати газу  $Q^*$  і зменшується відношення  $K_{\varepsilon}^*/Q^*$ . Так при  $P_H=0,6$ ;  $\lambda=2,0$ ;  $\alpha=90^\circ$  і  $\alpha_1=0,4$  відношення  $K_{\varepsilon}^*/Q^*=0,18$ , а якщо  $\alpha_1=0,5$  –  $K_{\varepsilon}^*/Q^*=0,13$ , (значення параметра  $\psi$  були оптимальними в розглянутих випадках). Розрахунки показали, що при відносно невеликих витратах стиснутого газу найбільші безрозмірні радіальну та кутову жорсткості, а значить і підйомну радіальну силу та відновлювальний момент, забезпечують такі значення безрозмірних параметрів  $\psi$  і  $\alpha_1$  при яких одночасно виконуються умови (табл. 1)

$$\frac{\partial K_{\varepsilon}^*}{\partial \psi} = 0, \quad \frac{\partial}{\partial \alpha_1} \cdot \frac{K_{\varepsilon}^*}{\sqrt[n]{Q^*}} = 0 \quad (n = 2, 3).$$

Таблиці 1 – Оптимальні значення параметрів  $\alpha_1$  і  $\psi$  та відповідні їм значення безрозмірної радіальної  $K_{\varepsilon}^*$  та кутової  $K_{\theta}^*$  жорсткостей і безрозмірних витрат  $Q^*$  газу при  $P_H=5,0$ .

$\lambda$	$\alpha$	$\alpha_1$	$\psi$	$K_{\varepsilon}^*$	$K_{\theta}^*$	$Q^*$
Оптimum другого порядку (n=2)						
1	$\pi/2 (\delta=\delta_0)$	0,181	1,436	2,28	0,49	24,07
2		0,286	1,059	3,01	1,89	16,33
3		0,380	0,851	3,02	3,77	13,94
1	$\pi/4 (\beta=1)$	0,181	2,031	3,87	0,59	24,07
2		0,286	1,485	5,21	2,32	16,33
3		0,380	1,204	5,10	4,49	13,94
1	$\pi/4 (\beta=0,5)$	0,181	2,031	3,41	0,56	24,07
2		0,286	1,485	4,92	2,27	16,33
3		0,380	1,204	4,73	4,32	13,94
Оптimum третього порядку (n=3)						
1	$\pi/2 (\delta=\delta_0)$	0,362	1,457	2,51	0,59	30,62
2		0,433	1,105	3,31	2,22	20,10
3		0,528	0,944	3,38	4,51	17,45
1	$\pi/4 (\beta=1)$	0,362	2,060	4,05	0,72	30,62
2		0,433	1,563	5,32	2,68	20,10
3		0,528	1,335	5,41	5,40	17,45

Як маємо з табл. 1 оптимального більшого порядку відповідає більший інтервал між щілинами подачі газу, збільшенню кутової та радіальної безрозмірних жорсткостей і витрат стиснутого газу.

### Висновки.

Газовий радіальний підвіс з двома щілинами подачі газу, ширина яких змінюється в залежності від зовнішнього навантаження при оптимальних значеннях відносного положення щілин  $a_1$  та параметра дроселя  $\psi$ , має збільшення безрозмірної радіальної та кутової жорсткості в діапазоні лінійності підйомної сили від радіального переміщення вала та відновлювального моменту при кутових переміщеннях вала, порівняно з підвісом, у якого ширина щілини подачі газу стала ( $\delta = \delta_0 = \text{const}$ ) Так при  $P_H = 5,0$  і  $\alpha = \pi/4$  безрозмірна радіальна жорсткість  $K_\varepsilon^*$  (безрозмірна підйомна сила  $F^* = K_\varepsilon^* \cdot \varepsilon$ ), безрозмірна кутова  $K_\theta^*$  жорсткість (безрозмірний відновлювальний момент  $M^* = K_\theta^* \cdot \theta$ ) зростають до 70 % і 20 % відповідно, в залежності від кута нахилу щілини подачі газу до осі підвісу і відношення ширини щілин до номінального радіального зазору. Враховуючи, що витрати стиснутого газу через робочі зазори підвісів із різними типами дроселів практично однакові, то із зростанням силових статичних характеристик підвісу зі змінним дроселем значно покращуються його економічні показники (відношення  $K_\varepsilon^*/Q^*$  та  $K_\theta^*/Q^*$ ).

### Список літератури:

1. Пинегин С. В. Статические и динамические характеристики газостатических опор. / С. В. Пинегин, Ю. Б. Табачников, И. Е. Сипенков. – М. : Наука, 1982. – 265 с.
2. Ревкач М. В. Розрахунок та оптимізація двосторонньої плоскої пористої прямокутної газостатичної опори великого видовження / М. В. Ревкач, В. І. Степанчук, В. О. Федотов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1994. – № 4 (5). – С. 38 – 40.
3. Емельянов А. В. Характеристики радиальных газостатических опор с двойным дресселированием газового потока / А. В. Емельянов, В. А. Федотов, В. А. Приятельчук // Машиноведение. – 1977. – № 2. – С. 97 – 104.
4. Федотов В. О. Газові підвіси шпindelьних вузлів : монографія / В. О. Федотов, І. В. Федотова. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 244 с. ISBN 978-966-641-362-1.
5. Емельянов А. В. Оптимальные параметры и сравнительные характеристики радиальных подвесов с непрофилированными рабочими поверхностями / А. В. Емельянов, В. А. Приятельчук, А. В. Шевченко // Машиноведение. – 1978. – № 6. – С. 81 – 89.
6. А. с. 1139913 СССР, MKU F 16 C 32 / 06. Газостатический подшипник / А. В. Емельянов, В. А. Федотов (СССР). – № 3572750 ; Заявл. 06. 04. 1983. ; опуб. 15. 02. 1985, Бюл. № 6. – 2 с.
7. Федотов В. О. Вплив активного дроселя на характеристики газових підшипників / В. О. Федотов, А. А. Кашканов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1994. – № 2 (3). – С. 65 – 67.
8. Розрахунок характеристик газового підвісу зі змінним зовнішнім дроселем при складній неспіввідності / В. О. Федотов, І. В. Віштак // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – №. С. . – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-004X.

**Федотов Валерій Олександрович** – канд. техн. наук, доцент кафедри Опору матеріалів та прикладної механіки, Вінницький національний технічний університет, тел.: (0432)-598-072, e-mail: [fedotov\\_va@ukr.net](mailto:fedotov_va@ukr.net)

**Fedotov Valeriy Oleksandrovych** – Candidate of Technical Sciences, Professor of Department of Strength of Materials and Applied Mechanics, the Vinnytsya National Technical University, (0432)-598-072, e-mail: [fedotov\\_va@ukr.net](mailto:fedotov_va@ukr.net)