

**В. О. ФЕДОТОВ, І. В. ВІШТАК**

**РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВОГО ПІДВІСУ ЗІ ЗМІННИМ ЗОВНІШНІМ ДРОСЕЛЕМ ПРИ СКЛАДНІЙ НЕСПІВВІСНОСТІ**

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.

**Вступ.**

Широкі технічні можливості шпиндельних вузлів на газових підвісах 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. Об'єктивне оцінювання переваг використання газових підвісів в вузлах машин, приборів та верстатах дозволяє уникнути похибок та розчарувань, що можуть виникнути при дослідженні та випробуванні реальних зразків. 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 межах заданих параметрів. Надійність газових підвісів залежить від відповідності розрахункових значень підйомної сили, момента 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 [1 – 5] (ланцюжок отворів малого діаметра, щілин подачі газу, пористі вставки), комбінації зовнішнього та внутрішнього дроселювання потоку газу [3, 4] Перспективним напрямком поліпшення статичних характеристик газових підвісів є використання змінного зовнішнього дроселя [6, 7], що реагує на зміну зовнішнього навантаження. Але розрахунок таких підвісів практично відсутній в наукових часописах.

**Основна частина.**

Метою роботи є розрахунок статичних характеристик (підйомної 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 неспіввисності.

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.

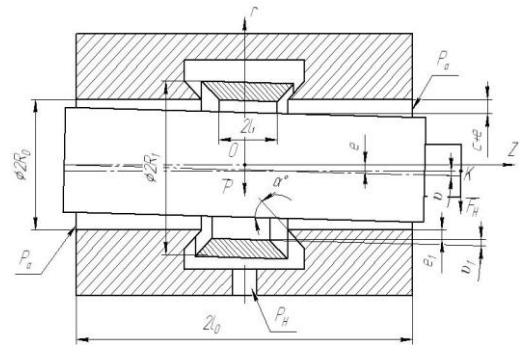


Рис. 1 – Газовий підвіс з двома щілинами подачі газу при складній неспіввисності

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

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

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

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

де  $p_a$  – тиск в оточуючому підвіс середовищі;

$$u_1 = \frac{p_1^2}{p_a^2} \left( \alpha \leq \xi \leq \alpha_1 \right)$$

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

– квадрат

безрозмірного тиску в 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.

Дослідження та розрахунки [1, 3, 4] показали, що безрозмірна підйомна сила  $F^*$  та безрозмірний відновлювальний момент  $M^*$  лінійно залежать від відносного радіального  $\varepsilon=e/c$  та кутового  $\theta=e_\kappa/c$  ( $e_\kappa=l_0 v$  – ексцентриситет на торці валу при  $e=0, v \neq 0$ ) переміщень вала в межах:  $-0,5 \leq \varepsilon \leq 0,5$ ;  $-0,5 \leq \theta \leq 0,5$ . Тоді безрозмірна підйомна сила  $F^*$  та безрозмірний відновлювальний момент  $M^*$  газового шару підвісу знаходяться з наступних залежностей

$$F^* = K_\varepsilon^* \varepsilon + K_{\varepsilon\theta}^* \theta, \quad M^* = K_\theta^* \theta + K_{\theta\varepsilon}^* \varepsilon, \quad (3)$$

$$K_\varepsilon^* = \frac{\partial F^*}{\partial \varepsilon},$$

$$K_{\varepsilon\theta}^* = \frac{\partial F^*}{\partial \theta},$$

де  $K_\theta^* = \frac{\partial M^*}{\partial \theta},$  – безрозмірні величини

$$K_{\theta\varepsilon}^* = \frac{\partial M^*}{\partial \varepsilon}$$

(коефіцієнти) матриці жорсткості [1], що знаходяться при  $\varepsilon=\theta=0$ .

Для симетричних газових підвісів вплив радіальних переміщень на відновлювальний момент  $M$ , а кутових – на підйомну силу  $F$  практично дорівнює нулю [1, 4] і тому:

$$K_{\varepsilon\theta}^* = 0, \quad K_{\theta\varepsilon}^* = 0. \quad (4)$$

При наявності рухомого зовнішнього дроселя (рис. 1) із (3), враховуючи (4), безрозмірні статичні характеристики підвісу будуть знаходитися з виразів:

$$F^* \langle \varepsilon, \theta \rangle = K_\varepsilon^* \varepsilon, \quad M^* \langle \theta, \varepsilon \rangle = K_\theta^* \theta, \quad (5)$$

де  $\varepsilon_1=e_1/c, \theta_1=l_1 v_1/c$  – безрозмірні радіальне та кутове переміщення втулки.

**Безрозмірна радіальна жорсткість та витрати газу.** Так як радіальний підвіс (рис. 1) симетричний, то для визначення статичних характеристик достатньо розглянути одну половину підвісу і отримані результати подвоїти.

Квадрат тиску  $u_i$  на трьох ділянках газового шару підвісу запишуться [3, 4]:

$$u_0 = P_H^2 - f(\varphi) \ln \frac{R_1}{r},$$

$$u_1 = a_{01} + a_{12} \xi + \langle a_{11} e^{\lambda \xi} + a_{12} e^{-\lambda \xi} \rangle \cos \varphi, \quad (6)$$

$$u_2 = b_{01} + b_{02} \xi + \langle a_{11} e^{\lambda \xi} + b_{12} e^{-\lambda \xi} \rangle \cos \varphi,$$

де  $u_0 = \frac{P_0^2}{P_a^2}$  – квадрат безрозмірного тиску в щілині подачі газу;

$$P_H^2 = \frac{P_H^2}{P_a^2} - \text{квадрат безрозмірного тиску від}$$

зовнішнього джерела живлення (компресора).

Локальні масові витрати газу на трьох ділянках газового підвісу [4, 6]:

$$\Delta Q_{r0} = -\frac{kp_a^2 h^3}{24\mu} r \frac{\partial u_0}{\partial r} \sin \alpha \cdot d\varphi,$$

$$\Delta Q_{\xi 1} = -\frac{kp_a^2 h_1^3}{24\mu \lambda} \frac{\partial u_1}{\partial \xi} \cdot d\varphi, \quad (7)$$

$$\Delta Q_{\xi 2} = -\frac{kp_a^2 h_2^3}{24\mu \lambda} \frac{\partial u_2}{\partial \xi} \cdot d\varphi,$$

де  $h = \delta_0(1 + \varepsilon_1 \beta \cos \alpha \cdot \cos \varphi)$  – зазор в щілині подачі газу;

$\delta_0$  – номінальний зазор в щілині при

$\varepsilon = \varepsilon_1 = v = v_1 = 0$ ;

$\beta = \delta_0 / c$  – відносна номінальна ширина щілини;

$h_1 = c(1 - (\varepsilon + \varepsilon_1) \cos \varphi)$  – радіальний зазор між валом та внутрішньою поверхнею рухомої втулки ( $0 \leq \xi \leq \alpha_1$ );

$h_2 = c(1 - \varepsilon \cos \varphi)$  – радіальний зазор між валом та корпусом підвісу;

$k$  – відношення густини газу до тиску при температурі шару;

$\mu$  – динамічний коефіцієнти в'язкості.

Постійні  $a_{ij}, b_{ij}$  та функція  $f(\varphi)$  (6) знаходяться з наступних умов

$$\begin{aligned} u_0 \langle \varepsilon_0, \varphi \rangle &= u_1 \langle \varepsilon_1, \varphi \rangle = u_1 \langle \xi, \varphi \rangle = u_1 \langle \xi, \varphi \rangle \\ u_1 \langle \varepsilon_1, \varphi \rangle &= u_2 \langle \varepsilon_1, \varphi \rangle = u_2 \langle \varphi \rangle = 1, \quad (8) \\ \Delta Q_{\xi 2} \langle \varepsilon_1, \varphi \rangle &= \Delta Q_{\xi 1} \langle \varepsilon_1, \varphi \rangle = -\Delta Q_{r0} \langle \varepsilon_0, \varphi \rangle \end{aligned}$$

Далі, із формули (1) визначаємо безрозмірну радіальну жорсткість  $K_\varepsilon^*$  (5) підвісу.

$$K_\varepsilon^* = \frac{3}{4} \pi \psi \left( \left( \tau \langle \varepsilon + \beta \langle \varepsilon_H^2 + \gamma \rangle \cos \alpha \rangle + \tau_1 \left( \langle \varepsilon + \langle \varepsilon_H^2 + \gamma \rangle \cos \alpha \rangle + \int_{\alpha_1}^1 \frac{sh \lambda \langle -\xi \rangle d\xi}{\sqrt{1 + \frac{\tau_2}{1 - \alpha_1} \langle -\xi \rangle}} \right) \right) \right), \quad (9)$$

де  $\psi = \frac{c^3 \ln(R_1/R_0)}{\delta_0^3 \lambda \langle -\alpha_1 \rangle \sin \alpha}$  – параметр щілини подачі стиснутого газу;

$$\tau = \frac{sh \langle \alpha_1 \rangle sh \lambda \langle -\alpha_1 \rangle}{\sqrt{\tau_2}}$$

$$\tau_1 = \lambda ch \lambda \alpha_1;$$

$$\tau_2 = \frac{P_H^2 - 1}{1 + \psi};$$

$$\gamma = 1 + \frac{\tau_2}{\psi \lambda \cdot ch \lambda \langle -\alpha_1 \rangle + ch \lambda \alpha_1 \cdot sh \lambda \langle -\alpha_1 \rangle}$$

Витрати газу  $Q$  для роботи газового підвісу.

$$Q = \frac{\pi k p_a^2 c^3}{12\mu} \cdot Q^*, \quad Q^* = \frac{2(P_H^2 - 1)}{\lambda(-\alpha_1)(+\psi)} \quad (10)$$

**Безрозмірна кутова жорсткість підвісу.** При малих значеннях кута повороту вала квадрата тиску газу  $u_1$  та  $u_2$  в робочих зазорах підвісу задовольняють рівнянню [4, 5]:

$$\frac{\partial^2 u_i}{\partial \xi^2} - 3\theta_i \frac{\partial u_i}{\partial \xi} \cos \varphi + \lambda^2 \left( \frac{\partial^2 u_i}{\partial \varphi^2} + 3\theta_i \xi \frac{\partial u_i}{\partial \varphi} \cdot \sin \varphi \right) = 0.$$

Еліптичні рівняння не мають точних аналітичних розв'язків, але при малих  $\theta_i$  можна представити асимптотично наближені формули для функцій  $u_1$  та  $u_2$  [4, 5]:

$$u_1 = c_{01} + c_{02}\xi + \left( \begin{array}{l} c_{11}e^{\lambda\xi} + \\ + c_{12}e^{-\lambda\xi} - \\ - c_{02} \frac{3(\theta + \theta_1)}{\lambda^2} \end{array} \right) \cos \varphi,$$

$$u_2 = d_{01} + d_{02}\xi + \left( \begin{array}{l} d_{11}e^{\lambda\xi} + \\ + d_{12}e^{-\lambda\xi} - d_{02} \frac{3\theta}{\lambda^2} \end{array} \right) \cos \varphi.$$

Рівняння для квадрату тиску  $u_0$  в щілині подачі газу в робочі зазори підвісу та формули локальних втрат газу мають такий же вигляд (6) та (7) відповідно, як і при  $\varepsilon \neq 0$ , якщо:

$$h = \delta_0 (+\theta_1 \beta \cos \alpha \cdot \cos \varphi),$$

$$h_1 = c (-\theta + \theta_1 \xi \cdot \cos \varphi),$$

$$h_2 = c (-\theta \xi \cdot \cos \varphi).$$

Умови (8) для квадратів тиску  $u_1$  і  $u_2$  та нерозривності течії газу на границі щілини подачі газу та робочого зазору залишаються без змін за виключенням умови, що відображає дзеркальну симетрію функції  $u_1(\xi, \varphi)$  відносно площини  $\xi=0$ :  $u_1(\xi, \varphi) = u_1(-\xi, \varphi + \pi)$ .

Після визначення сталих  $c_{ij}$  та  $d_{ij}$ , що входять в функції  $u_1(\xi, \varphi)$  і  $u_2(\xi, \varphi)$ , з виразу (2) знаходимо безрозмірну кутову жорсткість  $K_\theta^*$  підвісу в діапазоні лінійності  $M^*(\theta, \theta_1)$

$$K_\theta^* = \frac{3}{4} \pi \frac{(P_H^2 - 1) \tau_3 (+\beta \psi_0 \cos \alpha) + (+\psi_0 \cos \alpha)}{\alpha_1} \int_0^{\alpha_1} \frac{sh \lambda (-\alpha_1) + A_1 sh \lambda (-\xi) - sh \lambda (-\alpha_1)}{(+\psi) (-\alpha_1) [1 + \tau_4 (-\xi) sh \lambda (-\alpha_1)]} \xi.$$

де

$$\psi_0 = \frac{1 + \psi}{1 + 2\psi},$$

$$A = \frac{\psi (\alpha_1 sh \lambda (-\alpha_1) + ch \lambda (-\alpha_1) - 1)}{\lambda (\psi \lambda (-\alpha_1) sh \lambda + sh \lambda \alpha sh \lambda (-\alpha_1))},$$

$$\tau_3 = \frac{\lambda \alpha_1 ch \lambda \alpha_1 - sh \lambda \alpha_1}{\sqrt{(P_H^2 + \psi) (+\psi)}}, \quad \tau_4 = \frac{P_H^2 - 1}{(+\psi) (-\alpha_1)},$$

$$A_1 = A \lambda^2 (-\alpha_1) sh \lambda \alpha_1 - 1.$$

Масові  $Q$  та безрозмірні  $Q^*$  витрати газу при кутових переміщеннях вала знаходяться з виразів (10).

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

$$\text{умови } \frac{\partial K_\varepsilon^*}{\partial \psi} = 0, \quad \frac{\partial}{\partial \alpha_1} \cdot \frac{K_\varepsilon^*}{\sqrt{Q^*}} = 0 \quad (\alpha = 2,3) \quad [4, 5]$$

(табл. 1).

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  $P_H=5,0$ .

$\lambda$	$\alpha$	$\alpha_1$	$\psi$	$K_\varepsilon^*$	$K_\theta$	$Q^*$
Оптимум 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

Продовження таблиці 1

Оптимум 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 оптимуму 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  $\alpha_1$  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 ( $\delta = \delta_0 = const$ ) Так при  $P_n = 5,0$  і  $\alpha = \pi/4$  безрозмірна радіальна жорсткість  $K_c^*$  (безрозмірна підйомна сила  $F^* = K_c^* \cdot \varepsilon$ ), безрозмірна кутова 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  $K_c^*/Q^*$  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 дроселированием газового потока / А. В. Емельянов, В. А. Федотов, В. А. Приятельчук // Машиноведение. – 1977. – № 2. – С. 97 – 104. 4. Федотов В. О. Газові підвіси шпіндельних 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, МКУ 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.

#### References:

1. Pinegin S. V. *Statische i dinamicheskie karakteristiki gazostaticeskijh opor* / S. V. Pinegin, Y. B. Tabachnikov, I. E. Sipenkov. – M. : Nauka, 1982. – 265 s. 2. Revkach M. V. *Rozrahunok ta optimizacia dvostoronnoy ploskoi porystoi prymokutnoi gazostatichnoi opory velykogo vydovgennia* / M. V. Revkach, V. I. Stepanchuk, V. O. Fedotov // *Visnyk Vinnytskogo politehnichnogo instytutu*. – 1994. – № 4 (5). – S. 38 – 40. 3. Emelianov A. V. *Karakteristiki radialnyh gazostaticeskijh opor s dvoynym drosselirovaniem gazovogo potoka* // *Mashinovedenie*. – 1977. – № 2. – S. 97 – 104. 4. Fedotov V. O. *Gazovi pidvicy shpyndelinyh vuzliv : monografiya* / V. O. Fedotov, I. V. Fedotova. – Vinnytsia: VNTU, 2010. – 244 s. ISBN 978-966-641-362-1. 5. Emelianov A. V. *Optimalinye parametry i sravnitelinye karakteristiki radialnyh podvesov s neprofilovanyimi rabochimi poverhnostiami* / A. V. Emelianov, V. A. Priatelichuk, A. V. Shevchenko // *Mashinovedenie*. – 1978. – № 6. – S. 81 – 89. 6. А. с. 1139913 USSR, МКУ F 16 C 32 / 06. *Gazostaticeskij podshipnik* / A. V. Emelianov, V. A. Fedotov (USSR). – № 3572750 ; Zayvl. 06. 04. 1983. ; opub. 15. 02. 1985, Bul. № 6. – 2 s. 7. Fedotov V. O. *Vplyv aktyvnogo droselija na karakterystyky gazovyh pidshyynykiv* / V. O. Fedotov, A. A. Kashkanov // *Visnyk Vinnytskogo politehnichnogo instytutu*. – 1994. – № 2 (3). – S. 65 – 67.

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

**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: [valeriy.fedotov@bk.ru](mailto:valeriy.fedotov@bk.ru)

**Віштак Інна Вікторівна** – канд. техн. наук, асистент кафедри Безпеки життєдіяльності, Вінницький національний технічний університет, тел.: (097)-896-61-13, e-mail: [innavish322@gmail.com](mailto:innavish322@gmail.com)

**Vishtak Inna Viktorivna** – Candidate of Technical Sciences, Assistant of Department of Life Safety, the Vinnytsya National Technical University, tel.: (097)-896-61-13; e-mail: [innavish322@gmail.com](mailto:innavish322@gmail.com)

УДК 621.822.574

**Расчет характеристик газового подвеса с переменным внешним дросселем при сложной несоосности / В. А. Федотов, И. В. Виштак // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – №. С. . – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-004X.**

Для радиального газового подвеса с двумя внешними дросселями в виде щелей подачи газа, ширина которых автоматически меняется в зависимости от угловых и радиальных перемещений вала, исследуется влияние ширины щелей на его статические характеристики (угловую и радиальную жесткости, расход газа) в диапазоне линейности восстанавливающего момента и подъемной силы от перемещений вала. Установлено, что предложенная конструкция газового подвеса с переменными внешними дросселями, по сравнению с подвесом при фиксированной ширине щелей подачи сжатого газа, имеет при  $P_n=5,0$  и оптимальных конструктивных параметрах увеличение угловой и радиальной жесткостей до 20% и 70% соответственно, в зависимости от угла наклона щелей подачи газа к оси подвеса и отношение их ширины к номинальному радиальному зазору. Расход газа через рабочие зазоры подвесов не зависит от типа дросселя.

**Ключевые слова:** радиальный газовый подвес, две щели, переменная ширина щелей, радиальная жесткость, угловая жесткость, расход газа.

УДК 621.822.574

**Розрахунок характеристик газового підвісу зі змінним зовнішнім дроселем при складній неспіввісності / В. О. Федотов, І. В. Виштак // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – №. С. . – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-004X.**

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.

**Calculation of the characteristics of the gas suspension with variable external inductor in a complex misalignment / V. O. Fedotov, I. V. Vishtak // Bulletin NTU «KhPI». Series: Technologies in mechanical engineering. – Kharkiv. : NTU «KhPI», 2016. - №. – P. . – Bibliogr.: 7. – ISSN 2079-004X.**

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  $p_n=5.0$  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.

Федотов В. О. Розрахунок характеристик газового підвісу зі змінним зовнішнім дроселем при складній неспіввісності / В. О. Федотов, І. В. Виштак // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Технології в машинобудуванні = Bulletin of National Technical University "KhPI" : coll. of sci. papers. Ser. : Technologies in mechanical engineering. – Харків : НТУ "ХПІ", 2016. – № 5 (1177). – С. 21-24.