ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

УДК 662.92

М.О. ГЛАВАЦЬКИЙ, В.О. ГОРОХОВ, О.П. КОСТОГРИЗ
Херсонський національний технічний університет

МОДЕРНІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ПІДШИПНИКІВ РОТОРА СПІРАЛЬНОГО КОМПРЕСОРА «COPELAND SCROLL»

Стаття присвячена розробці енергозберігаючих заходів зниження втрат енергії на тертя в підшипниках ковзання, а також можливості заміни підшипників ковзання на енергоефективні магнітоелектричні підшипникові вузли.

Ключові слова: зносостійкість, конструкційні керамічні матеріали, коефіцієнт тертя, трибологія, зношування, підвищення ресурсу, критерій працездатності, магнітоаеродинамічна опора.

М.А. ГЛАВАЦКИЙ, В.О. ГОРОХОВ, А.П. КОСТОГРЫЗ
Херсонский национальный технический университет

МОДЕРНИЗАЦИЯ ОПОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ РОТОРА СПИРАЛЬНОГО КОМПРЕССОРА «COPELAND SCROLL»

Статья посвящена разработке энергосберегающих мероприятий по снижению потерь энергии на трение в подшипниках скольжения, а также возможности замены подшипников скольжения на энергоэффективные магнитоэлектрические подшипниковые узлы.

Ключевые слова: износостойкость, конструкционные керамические материалы, коэффициент трения, трибология, износ, повышение ресурса, критерий работоспособности, магнитоаэродинамическая опора.

M.O. HLAVATSKIY, V.O. HOROHOV, A.P. KOSTOGRYZ
Kherson National Technical University

MODERNIZATION OF THE ROTOR BEARINGS SPIRAL COMPRESSOR COPELAND

The article is dedicated to developing energy-saving measures to reduce energy loss in friction bearings and the replacement bearings for energy efficient permanent magnet bearing assemblies.

Keywords: durability, structural ceramic materials, friction, tribology, wear, increase resource efficiency criterion, mahnitoaerodynamichna support.

Постановка проблеми

Підшипник ковзання представляє собою корпус, який має циліндричний отвір, в який вставляється вкладиш або втулка з антифрикційного матеріалу (часто використовуються кольорові метали).Між валом і отвором втулки підшипника є зазор, який дозволяє вільно обертатися валу. Для успішної роботи підшипника зазор попередньо розраховується.

Навіть використовуючи різні конфігурації мастильних канавок, неможливо досягти потрібного змазування, яке б рівномірно охоплювало всю робочу площу підшипника.

Недоліки підшипників ковзання: великі втрати на тертя при пуску і недосконалому змазуванні, знижений коефіцієнт корисної дії, нерівномірний знос підшипника і цапфи, високі вимоги до температури і чистоти мастила [4].

Одним з можливих шляхів збільшення енергетичних показників і ККД спіральних компресорів, є зниження втрат енергії на тертя в підшипниках ковзання, які, за оцінками експертів, становлять 20-25%.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Технологія спіральних компресорів, що розроблена компанією Emerson, стала справжньою революцією в області кондиціонування повітря і холодильної техніки і визначила нові стандарти в галузі. З тих пір продукція Copeland Scroll стала еталоном не тільки серед обладнання для систем кондиціонування повітря, але і серед пристроїв нагрівання і холодильної техніки.

Це найпопулярніша марка спіральних компресорів у світі. Компресори Copeland Scroll потужністю від 1,5 до 40 л. с. призначені для роботи з основними видами холодоагентів, в т. ч. з CO_2. Компанія Emerson Climate Technologies розширила можливості спіральної технології тим, що

запропонувала компресори у вертикальному і горизонтальному виконанні та оснастила їх системою цифрового регулювання [1].

Першими на ринок холодильного обладнання спіральні компресори поставили фірми «Bock» (Німеччина) і «Copeland» (Бельгія), науковим групам цих великих виробників холодильного обладнання належать і значні наукові розробки в галузі дослідження спіральних компресорів. По мірі вдосконалення металообробних технологій, холодопродуктивність цих компресорів збільшується. Підвищення працездатності та зменшення енергоефективності компресорних установок являється актуальною проблемою.

Формування мети дослідження

Враховуючи перелічені недоліки підшипників ковзання, запропонована модернізація шляхом заміни підшипникових вузлів на енергоефективні аеродинамічні магнітні опори [5].

Поставлена технічна задача спрощення конструкції, підвищення енергоефективності, довговічності, надійності роботи підшипникових опор компресора і безвідмовності його роботи.

Викладення основного матеріалу дослідження

Підшипники ковзання, які знаходяться у спіральному компресорі, через недостатню кількість мастила на роторі компресора зношуються, але основні робочі елементи компресора практично не зазнають зношення [2,3].

Принцип дії магнітних підшипників ґрунтується на ефекті левітації в магнітному полі. Вал в таких підшипниках в прямому сенсі слова висить у потужному магнітному полі. Система датчиків постійно відстежує стан вала і подає сигнали на позиційні магніти статора, корегуючи силу тяжіння з тієї чи іншої сторони.

Загальний опис системи АМП (рис. 1, 2.)

Активний магнітний підвіс складається з 2-х окремих частин:

- підшипник «магнітний підвіс» ;
- електронна система управління.

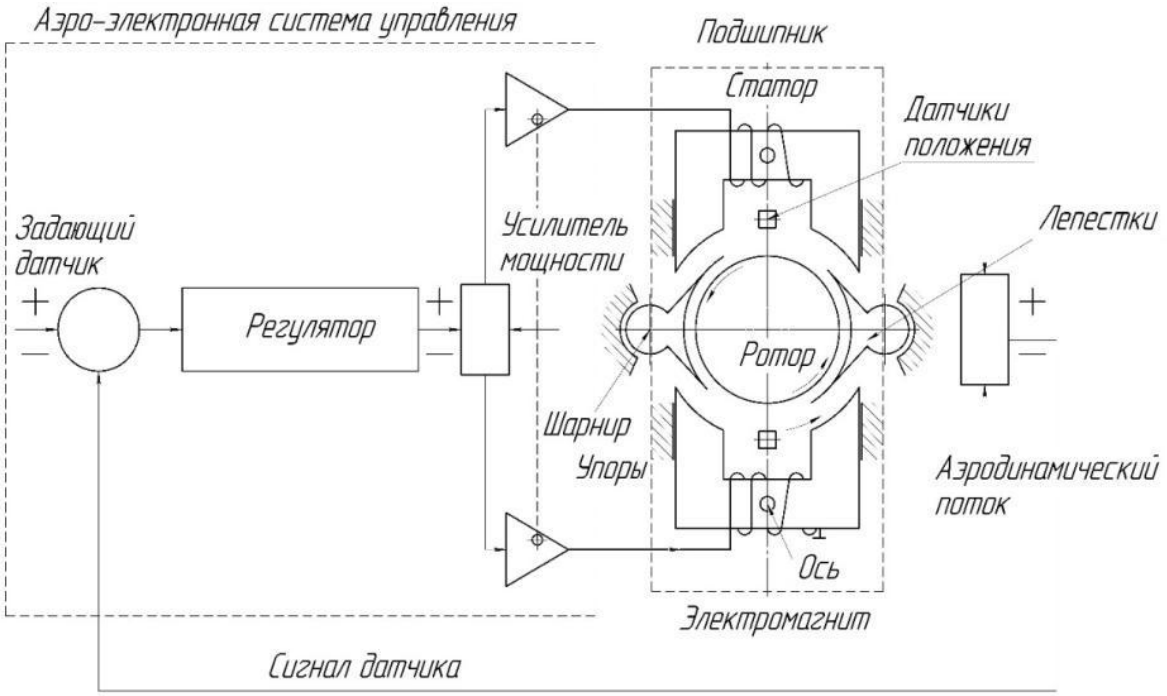

Рис. 1. Активний магнітний підвіс з системою управління

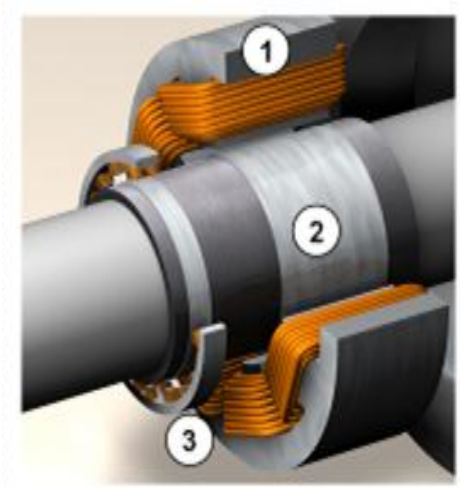

Рис. 2. Магнітний підвіс
1, 3 – силові котушки; 2 – ротор

Враховуючи, що стиснуте в навантаженому зазорі опори повітря чи газ розглядається як в'язка стиснута рідина, на яку розповсюджуються основні закони гідродинаміки, та після спрощень класичного рівняння Рейнольда і розрахунків дії навантаженого шару для практичного використання значень аеродинамічної несучої сили, маємо:

$$P = 2brq_1\ f_1 f_2 = 0{,}5q_1\ ldf_1 f_2, \qquad (1)$$

де d - 0,03м; l = 0,045м.

n - швидкість обертання, n = 3000 хв$^{-1}$;

q_1 - середнє питне навантаження на опору q_1 = 1,5·10^5 Па;

T – температура у робочому зазорі; T = 30°C;

h – відносний діаметральний зазор, h = 30·10^{-6} м;

h_1 - радіальний зазор, прийнятий в залежності від діаметру шипа h_1 = 15·10^{-6} м;

ψ – відносний зазор, ψ = 15·10^{-6}/ 15·10^3 = 1·10^{-3} м;

μ - в'язкість повітря, μ = 1,9·10^{-7} Н·сек/м^2;

P_1 - тиск повітря в аеродинамічній навантаженій зоні при урівноваженому режимі роботи опори.

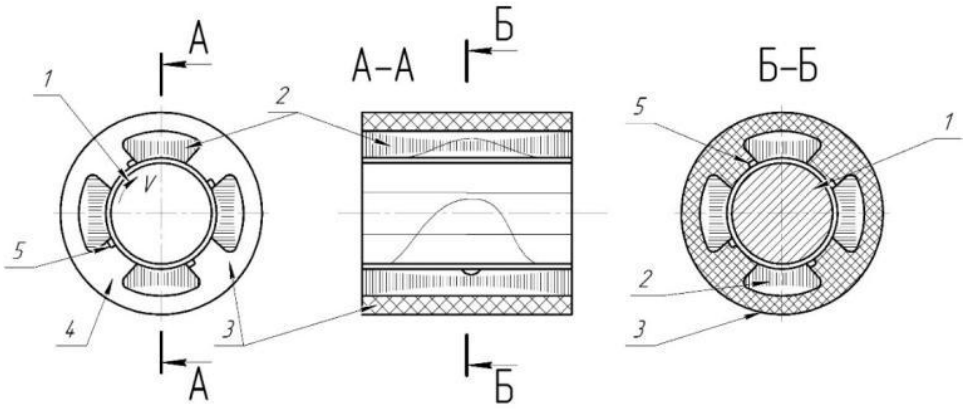

Рис . 3. Магнітоаеродинамічна опора:
1 – вал; 2 – магніти; 3 – корпус опори; 4 – замки; 5 – робочий зазор

Для подальших розрахунків робочих характеристик конструктивного виконання опори (рис. 3) необхідно використати розміри та дослідні значення:

Згідно з розрахунковою схемою P_1 = 10^5 Па.

З урахуванням стиснутого потоку повітря в зазорі опори окремо знаходимо відносні безрозмірні коефіцієнти f_1 f_2 f_3 від μωr^2/ (h_1 P_1), чи μω// (ψ^2 P_1), де ω = πn/30 = 3,14·3000/30 = 314 с$^{-1}$.

Потім для різних значень відносного ексцентриситету χ із урахуванням розрахункової схеми та відповідних змін тиску, в зазорі опори знайдено результати окремих значень f_1 та f_2 – безрозмірних коефіцієнтів навантаження.

Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати розрахунків

χ	n хв$^{-1}$	ω сек$^{-1}$	$\int$	f_1	h_1	l/h_1	f_2	f_3	$f_1 f_2$	M_τ Нм.	W, Нм, сек$^{-1}$	W_e Нм, сек$^{-1}$	N, K°
0,3	3000	314	7,78 · 10^{-7}	1,2	0,22	2,7	0,75	0,6	0,9	3,98· 10^{-6}	1,25· 10^{-3}	$9\cdot10^{-4}$	363
0,5	1500	157	6,8· 10^{-7}	0,9	0,18	2,5	0,7	0,57	0,63	2,19· 10^{-6}	3,44· 10^{-4}	$4{,}9\cdot10^{-4}$	333
0,6	1000	104	6,5· 10^{-7}	0,7	0,16	2,4	0,64	0,52	0,45	1,57· 10^{-6}	1,63· 10^{-4}	$1{,}8\cdot10^{-4}$	311
0,7	920	96	6,2· 10^{-7}	0,6	0,13	2,3	0,62	0,5	0,37	1,62· 10^{-6}	1,56· 10^{-4}	$1{,}0\cdot10^{-4}$	293
0,8	750	78	5,6· 10^{-7}	0,5	0,1	2,1	0,6	0,48	0,3	1,57· 10^{-6}	1,22· 10^{-4}	$0{,}9\cdot10^{-4}$	273

Допоміжні формули для розрахунку деяких параметрів магнітного аеродинамічного компресора:
За наступним виразом визначимо момент тертя:

$$\mathrm{M}_T = 4\pi r^3\ \mu\omega b/\left(h_1\sqrt{1-\chi^2}\right), \text{Нм} \tag{2}$$

Витрати потужності на підшипник:

$$N = \mathrm{M}_{T\omega}/\ 0{,}102, \text{Вт} \tag{3}$$

Аеродинамічна несуча сила:

$$P = 0{,}5\ q_1 l d f_1 f_2 \tag{4}$$

Коефіцієнт тертя:

$$f = \mathrm{M}_T/P \tag{5}$$

Об’ем магніту:

$$V_\mathrm{M} = \frac{0{,}3\cdot S_H\cdot\beta_1\cdot\sigma_0\cdot k_{ad}\cdot k_{k3}}{k_\text{ф}\cdot f\cdot B_{MO}\cdot H_{MK}\cdot\sqrt{1-(\frac{cos\varphi}{K_{K3}})^2}-\frac{sin\varphi}{K_{k3}}}, \tag{6}$$

де S_H – кажуча потужність;
β_1 – коефіцієнт, враховуючий падіння магнітної напруги в мангнітному ланцюзі;
σ_0 – повітряний зазор;
k_{ad} – коефіцієнт полюсного перекриття;
k_{k3} – коефіцієнт насичення стальних поверхонь;
$k_\text{ф}$ – коефіцієнт реакції якоря на поперечній осі;
f – питома провідність розсіювання;
B_{MO} – індукція в нейтральному перерізі магніту;
H_{MK} – напруженість кола в магніті.

Висота полюса:

$$h_m = \frac{V_m\cdot10^9}{2_p\cdot\text{в}_\text{м}\cdot L_m} \tag{7}$$

Полюсне ділення:

$$\tau = \frac{\pi D_i}{2_p} \tag{8}$$

Коефіцієнт повітряного зазору:

$$k_\delta = \frac{t_1+5t_1\delta/\text{в}_{\text{ш}1}}{t_1+5t_1\delta/\text{в}_{\text{ш}1}-\text{в}_{\text{ш}1}} \tag{9}$$

ЕРС холостого ходу при звичайній стабілізації:

$$E_0 = U_\text{нф}\sqrt{2-\sin\varphi} \tag{10}$$

Скос пазів статора:

$$k_{ck} = \frac{2\,sin\frac{\pi}{6}}{\pi/_3} \tag{11}$$

Число провідників у пазі:

$$u_n = \frac{W \cdot a}{p \cdot q} \tag{12}$$

Індуктивний опір обмотки статора, обумовлений потоком реакції якоря по поздовжній осі:

$$x_{ad} = \frac{4\mu_0}{\pi p} m f (W k_0)^2 \lambda_{ad} \tag{13}$$

Індуктивний опір обмотки статора, обумовлений потоком реакції якоря по поперечній осі:

$$x_{aq} = \frac{4\mu_0}{\pi p} m f (W k_0)^2 \lambda_{aq} \tag{14}$$

Провідність розсіювання ПМ:

$$\lambda_{sn} = \left[\frac{3 l_m\, h_m}{\Delta min} + 3{,}2\, h_m \varphi_m + 1{,}6\, l_m\, \varphi_2\right] \cdot 10^6 \tag{15}$$

МДС, необхідна для проведення потоку через повітряній зазор:

$$F_{\delta 0} = 0{,}8 B_{\delta 0} \delta_p \cdot 10^6 \tag{16}$$

Індукція у стику магніту:

$$\mathrm{B_{СГМ}} = \left[\frac{\Phi_{\delta 0}\, \Phi_{SПП}}{в_м l_m}\right] \tag{17}$$

Висновки

За рахунок проведеної модернізації опорних вузлів спірального компресора можливо підвищити працездатність спіральних компресорів. Одним з можливих шляхів збільшення енергетичних показників і ККД спіральних компресорів, є зниження втрат енергії на тертя в підшипниках ковзання, які, за оцінками експертів, становлять 20-25%. Рішенням проблеми тертя в спіральних компресорах є застосування безконтактних підшипникових опор. Така конструкція дозволяє спростити роботу компресора, підвищити технологічність його виготовлення, підвищити надійність роботи підшипникових опор, наблизивши їх до робочої зоні, де виникають зусилля від газових сил, отже, спіральної машини в цілому.

Список використаної літератури

1. А.С.№961288 СССР, МКИ С04В35/58, В22F3/14. Способ изготовления керамических изделий/А. И. Целиков, Б. В. Розанов, В. И. Сноп, И.М. Кузнецова, и др. заявка №2881788/29-33 заявл.04.02.80; зарегистрировано 21.05.82.
2. Панова И.М. Проектирование деталей из керамики /Панова И.М. –М: «Научная перспектива» Технические науки. №9(43)/2013. -145 с.
3. Панова И.М. Особенности конструирования изделий из керамических материалов. «Известия высших учебных заведений», Машиностроение №4/2013. -184с.
4. Доценко В.А. Изнашивание твердых тел. -М.: 1990.-191с.
5. Davidge R.W. Mechanical behavior of ceramics. - Cambridge; Cambridge University Press,1980.-248с.
6. Н.Л. Савченко, К.М.Пятова, С.Н.Кульков. Особенности трибологического поведения керамики на основе диоксида циркония в условиях высокоскоростного трения. Известия Самарского научного центра РАН №01/2011.-36с.
7. Костогриз О.П. Попередній тепловий розрахунок високочастотних магнітоаеродинамічних опорних агрегатів // Вісник ХНТУ – 2006 - №3(26)–с 46-49.