

PROBLEMY NIEKONWENCJONALNYCH UKŁADÓW ŁOŻYSKOWYCH

Łódź, 15-16 maja 1997 r.

Czesław Kundera
Politechnika Świętokrzyska

AKTYWNY WĘZEL USZCZELNIAJĄCO - ŁOŻYSKOWY

SŁOWA KLUCZOWE

uszczelnienie czołowe, dynamika, sterowanie.

STRESZCZENIE

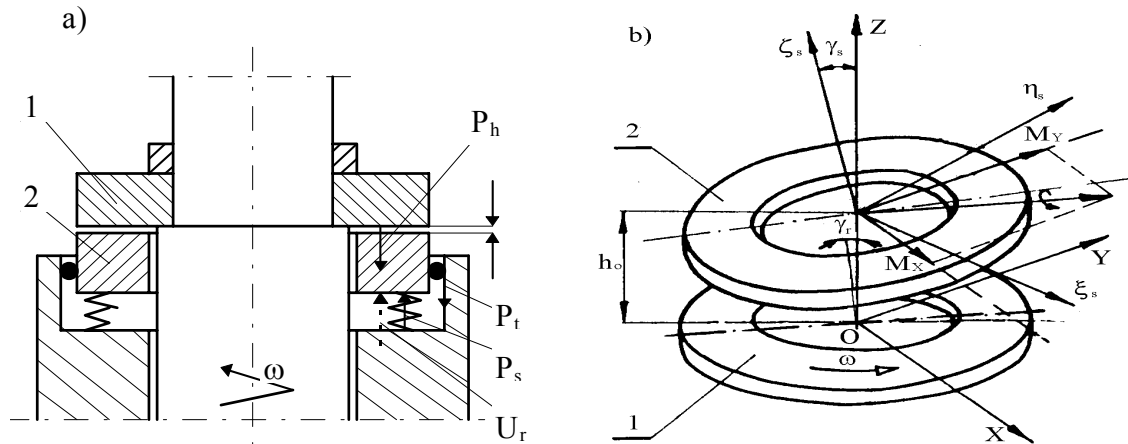
Praca dotyczy aktywnego uszczelnienia czołowego, spełniającego jednocześnie rolę niskoobciążonego wzdłużnego łożyska ślizgowego. Opisano własności filmu smarnego. Przedstawiono model dynamiczny układu: wał - element podatny uszczelnienia - regulator oraz wyniki symulacji numerycznych dla różnych wymuszeń zewnętrznych, przy założeniu optymalnych wartości: wysokości szczeliny lub natężenia przepływu medium. Przeprowadzono analizę porównawczą typowego uszczelnienia czołowego (łożyska wzdłużnego) z uszczelnieniem aktywnym.

WPROWADZENIE

Sterowanie pracą danego (dowolnego) urządzenia narzuca konieczność kontrolowanego zachowania się jego elementów składowych, w tym również węzłów łożyskowych i uszczelniających. W niniejszej pracy przedstawiono koncepcję aktywnego, bezstykowego uszczelnienia czołowego, które może spełniać jednocześnie rolę niskoobciążeniowego wzdłużnego łożyska ślizgowego. W uszczelnieniach bezstykowych, istotna jest między innymi, stabilna szczelina między pierścieniami uszczelniającymi, od której zależy na przykład, natężenie przecieku oraz wartość siły tarcia. W tradycyjnych konstrukcjach uszczelnień czołowych osiąga się to poprzez dobór (obliczenie) odpowiednich parametrów konstrukcyjnych, tj. masy pierścienia, sztywności i podatności zamocowania, do zadanych warunków pracy. Tak zaprojektowane uszczelnienie zawodzi w przypadku pojawienia się nieprzewidzianych wymuszeń zewnętrznych zawierających np. częstotliwości rezonansowe. Aby takie stany pracy uszczelnienia wyeliminować, zaproponowano aktywne sterowanie przemieszczeniami pierścienia podatnego, które zapewniałoby niezawodną pracę uszczelnienia w szerokim paśmie wymuszeń zewnętrznych.

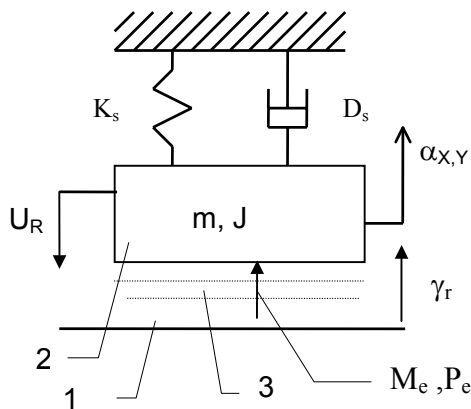
SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Schemat uszczelnienia bezstykowego z zaznaczeniem sił działających na pierścieniach podatny, przedstawiono na rys.1a, natomiast na rys.1b, jego model kinematyczny w przyjętych układach współrzędnych: inercyjnym- OXYZ oraz układzie związanym z pierścieniem podatnym - $O\xi_s\eta_s\zeta_s$.



Rys.1. Schemat uszczelnienia czołowego: a) rozkład sił działających na pierścieniach podatnych, b) model kinematyczny; 1,2 - pierścienie uszczelniające

W analizowanym modelu uszczelnienia, pierścień - 1 obracający się wraz z wałem z prędkością kątową - ω posiada powierzchnię czołową płaską, nachyloną do osi Z pod kątem - γ_r (bicie osiowe), natomiast pierścień - 2 jest zamocowany podatnie w obudowie i posiada 3 stopnie swobody: przemieszczenie wzdłuż osi Z oraz obroty względem osi ξ_s, η_s .



Rys.2. Model dynamiczny uszczelnienia czołowego:

- 1- pierścień zamocowany sztywno na wale;
- 2- pierścień podatnie osadzony w obudowie;
- 3- film smarny

Model dynamiczny (rys.2) rozważanego układu: wał - pierścień podatny uszczelnienia - regulator, jest nieliniowy ze względu na nieliniowe własności warstewki medium (filmu smarnego) w szczelinie. W niniejszej pracy przyjęto model liniowy, w którym siły i momenty hydrodynamiczne opisują zlinearyzowane zależności wyprowadzone przez I. Etsiona [1]:

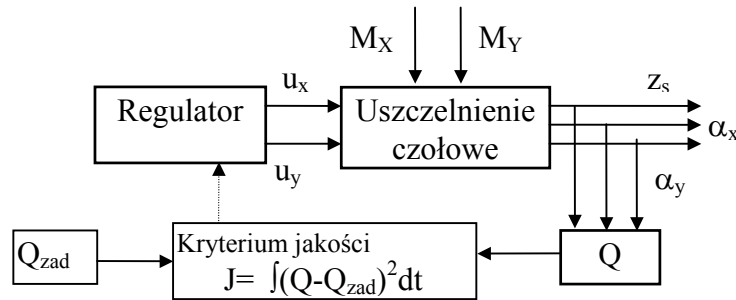
$$\begin{aligned}
P_f &= K_{f33}z + D_{f33}\dot{z} \\
M_{f1} &= K_{f11}\gamma + D_{f11}\dot{\gamma} \\
M_{f2} &= D_{f11}(\dot{\phi} - 0.5)\gamma \\
\gamma &= \gamma_s - \gamma_r; \quad \tan \phi = \frac{\gamma_s \sin \psi - \gamma_r \sin \omega t}{\gamma_s \cos \psi - \gamma_r \cos \omega t};
\end{aligned} \tag{1}$$

gdzie: γ_s, γ_r - kąty nutacji pierścienia 1 i 2, ψ - kąt percesji pierścienia podatnego, $K_{f11}, K_{f33}, D_{f11}, D_{f33}$ - współczynniki sztywności i tłumienia filmu smarnego [1].

Zależności (1) zostały wyprowadzone w układzie względnym O123, którego położenie w układzie OXYZ określają: kąt percesji - ϕ oraz względny kąt nutacji - γ . Ruch kulisty pierścienia podatnego uszczelnienia, w układzie współrzędnych OXYZ można zapisać:

$$\begin{aligned}
J\ddot{\alpha}_X + D_s\dot{\alpha}_X + K_s\alpha_X &= M_{f1} \cos \phi - M_{f2} \sin \phi - U_{Rx} \\
J\ddot{\alpha}_Y + D_s\dot{\alpha}_Y + K_s\alpha_Y &= M_{f1} \sin \phi + M_{f2} \cos \phi - U_{Ry} \\
m\ddot{z}_s + D_s\dot{z}_s + K_s z_s &= P_{fz} - U_{Rz} \\
U_{Ri} &= \lambda_{1i}\dot{\alpha}_i + \lambda_{2i}\alpha_i; \quad i = \alpha_X, \alpha_Y, z_s
\end{aligned} \tag{2}$$

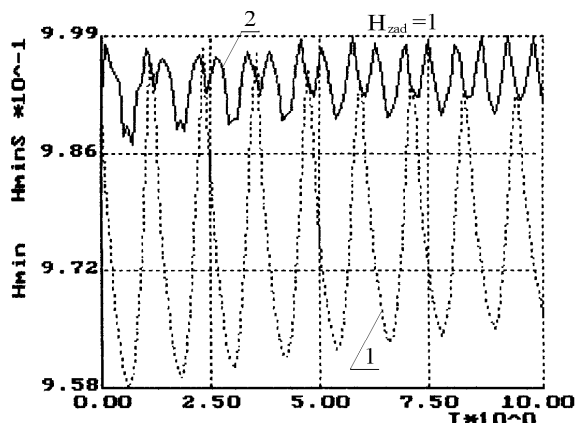
Sygnaly sterujące - U_{Ri} były obliczane metodą gradientową, dla założonego wskaźnika jakości sterowania, przy minimalnej wartości kwadratu uchybu: $J = \int (Q - Q_{zad})^2 dt$, gdzie Q - przyjęty wskaźnik jakości sterowania. Schemat ideowy zaproponowanego układu sterowania za pomocą zmiennych stanu, przedstawiono na rys.3.



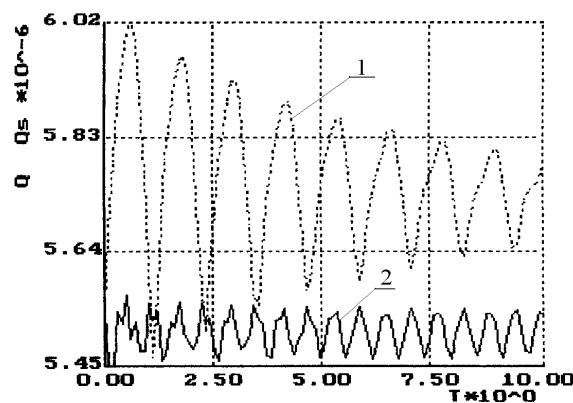
Rys.3. Schemat ideowy układu regulacji

WYNIKI OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

Model matematyczny aktywnego uszczelnienia bezstykowego (2), rozwiązano metodą numeryczną. Obliczenia przeprowadzono dla następujących danych: $m=1$ [kg], $\omega=1000$ [rd/s], $p_i=0$, $p_o=5 \times 10^5$ [Pas], $r_i=0.036$ [m], $r_o=0.04$ [m], $\gamma_r=0.1 \div 1 \times 10^{-4}$ [rd], $\eta=5 \times 10^4$ [Pas]. Przykładowe wyniki w formie graficznej przedstawiono na rysunkach 4, 5. W pierwszym przykładzie wskaźnikiem jakości sterowania była minimalna odległość między pierścieniami, która w konfiguracji jak na rys.1b), wynosi: $h_{\min}=h_o-r(\gamma_s+\gamma_r)$, (bezwymiarowa $H_{\min}=1-r(\gamma_s+\gamma_r)/h_o$), natomiast w drugim przykładzie była zadana wartość przecieku (wydatku).



Rys.4. Zmiany minimalnej wysokości szczeliny przecieku w funkcji czasu, dla następujących parametrów regulatora: $\lambda_1=0,46$; $\lambda_2=-5,9 \times 10^{-3}$; $\lambda_4=5,3 \times 10^{-4}$, $\lambda_5=0,02$; 1- przebieg bez regulatora, 2 - z regulatorem.



Rys.5. Zmiany wartości funkcji czasu, dla następujących parametrów regulatora: $\lambda_1=0,47$; $\lambda_2=-8,68 \times 10^{-3}$; $\lambda_4=0,12$; $\lambda_5=1,42 \times 10^{-2}$ 1- bez regulatora, 2- z regulatorem.

Wprowadzenie do układu sygnału sterującego stabilizuje jego pracę, przy założonej wartości przyjętego istotnego parametru, np.: minimalnej szczeliny (filmu smarnego): $H_{zad}=h_{min}/h_o=1$, lub optymalnego wydatku.

WNIOSKI

Uzyskane wyniki obliczeń numerycznych, potwierdzają możliwość regulacji przemieszczeniami podatnego pierścienia uszczelnienia tak, aby wysokość szczeliny mieściła się w zakresie założonej tolerancji. Ponadto można aktywnie sterować wartością przecieku lub siły tarcia, co w niektórych rozwiązaniach konstrukcyjnych uszczelnień czołowych może być szczególnie przydatne. Przedstawiona idea sterowania pracą uszczelnienia czołowego może wydawać się mało realna w praktyce, ale przy obecnym rozwoju mikroelektroniki i techniki cyfrowej, „może być wkrótce rozwiązaniem oczywistym.

LITERATURA

1. Green I., Etsion I. : Fluid film dynamic coefficients in mechanical face seals. Trans. ASME. J. Lub. Tech., 105, 2, (1983), pp 297-302.
2. Kundera Cz.: Dynamic analysis of mechanical face seals. ZEM, 3-4, (1994), pp.635-645.

AN ACTIVE FACE SEAL

The dynamic analysis of the controlled mechanical face seal is presented in the paper. The scheme of active control of seal parameters are described. The mathematical model is formulated and the results of numerical simulations for various external excitations are shown.

Recenzent: Prof. dr inż. Zbigniew Lawrowski