I KONFERENCJA
nt.UKŁADY DYNAMICZNE W ASPEKCIE TEORII I ZASTOSOWAŃ

IDENTYFIKACJA ŁOŻYSKA GAZOWEGO NA PODSTAWIE JEGO ODPOWIEDZI NA WYMUSZENIE HARMONICZNE

JAN AWREJCEWICZ, BARBARA BŁAŻEJCZYK, KRZYSZTOF CZOŁCZYŃSKI

W pracy przedstawiono wyniki identyfikacji poprzecznego, samodziałającego łożyska gazowego. Identyfikację przeprowadzono na podstawie odpowiedzi tego łożyska na harmoniczną siłę przyłożoną do czopa.

1.WSTĘP

Łożyskowanie gazowe znalazło szerokie zastosowanie w wielu nowych dziedzinach techniki. Przy rozpatrywaniu możliwości zastosowania łożyska wymagana jest często szczegółowa analiza dynamiczna układu wirującego. Wymaga ona znajomości wartości współczynników sztywności K_{ij} i tłumienia C_{ij}. Określenie tych współczynników może odbywać się poprzez identyfikację łożyska gazowego metodą numeryczną. W pracy wykorzystano wyniki eksperymentu numerycznego przy zastosowaniu sygnału wymuszającego harmonicznego $F(t) = F_1 \sin\Omega t$.

2.MODELOWANIE ŁOŻYSK

W badaniu własności dynamicznych układów mechanicznych na drodze eksperymentu numerycznego konieczne jest konstruowanie ich modeli matematycznych. Podstawą takiego modelu jest równanie Reynoldsa, opisujace rozkład ciśnienia filmu gazowego w szczelinie między czopem i panwią.

3.LINIOWY MODEL DYNAMICZNY ŁOŻYSKA GAZOWEGO

Dla małych drgań równania ruchu mają postać układu równań różniczkowych drugiego rzędu (1)

$$\begin{cases} m\ddot{x}+C_{11}\dot{x}+C_{12}\dot{y}+K_{11}x+K_{12}y=F_{1x}\sin\Omega t \\ m\ddot{x}+C_{21}\dot{x}+C_{22}\dot{y}+K_{21}x+K_{22}y=F_{1y}\sin\Omega t \end{cases} \tag{1}$$

gdzie: $F_{1x}=F_1\cos\delta$, $F_{1y}=F_1\sin\delta$ są maksymalnymi wielkościami siły wymuszającej odpowiednio w kierunkach przemieszczeń x , y. Odpowiedzi układu na wymuszenie harmoniczne przedstawia zależność (2):

$$\begin{aligned} x&=A_x\sin(\Omega t-\varphi_x) \\ y&=A_y\sin(\Omega t-\varphi_y) \end{aligned} \tag{2}$$

Podstawiając (2), do (1) otrzymano:

$$\begin{bmatrix} -m\Omega^2+K_{11} & C_{11}\Omega & K_{12} & C_{12}\Omega \\ C_{11}\Omega & m\Omega^2-K_{11} & C_{12}\Omega & -K_{12} \\ K_{21} & C_{21}\Omega & -m\Omega^2+K_{22} & C_{22}\Omega \\ C_{21}\Omega & -K_{21} & C_{22}\Omega & m\Omega^2-K_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A_x\cos\varphi_x \\ A_x\sin\varphi_x \\ A_y\cos\varphi_y \\ A_y\sin\varphi_y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1\cos\delta \\ 0 \\ F_1\sin\delta \\ 0 \end{Bmatrix} \tag{3}$$

4. IDENTYFIKACJA, JAKO METODA WYZNACZANIA K_{ij} I C_{ij}

W celu identyfikacji łożyska przekształcono równanie (3) do postaci (4),

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 & a_{15} & a_{16} & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 & a_{25} & a_{26} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & a_{34} & 0 & 0 & a_{37} & a_{38} \\ 0 & 0 & a_{43} & a_{44} & 0 & 0 & a_{47} & a_{48} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} C_{11} \\ C_{12} \\ C_{21} \\ C_{22} \\ K_{11} \\ K_{12} \\ K_{21} \\ K_{22} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1\cos\delta + m\Omega^2 A_x\cos\varphi_x \\ -m\Omega^2 A_x\sin\varphi_x \\ F_1\sin\delta + m\Omega^2 A_y\cos\varphi_y \\ -m\Omega^2 A_y\sin\varphi_y \end{Bmatrix} \tag{4}$$

gdzie:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \Omega A_x\sin\varphi_x & a_{33} &= \Omega A_x\sin\varphi_x \\ a_{12} &= \Omega A_y\sin\varphi_y & a_{34} &= \Omega A_y\sin\varphi_y \\ a_{15} &= A_x\cos\varphi_x & a_{37} &= A_x\cos\varphi_x \\ a_{16} &= A_y\cos\varphi_y & a_{38} &= A_y\cos\varphi_y \\ a_{21} &= \Omega A_x\cos\varphi_x & a_{43} &= \Omega A_x\cos\varphi_x \\ a_{22} &= \Omega A_y\cos\varphi_y & a_{44} &= \Omega A_y\cos\varphi_y \\ a_{25} &= -A_x\sin\varphi_x & a_{47} &= -A_x\sin\varphi_x \\ a_{26} &= -A_y\sin\varphi_y & a_{48} &= -A_y\sin\varphi_y\,. \end{aligned}$$

Przeprowadzając pomiar wielkości A_x, φ_x, A_y, φ_y dla dwóch częstości wymuszenia Ω_1 i Ω_2 oraz rozwiązując dwa układy (4) równań, określić można wartosci współczynników sztywności i tlumienia.

5.EKSPERYMENT NUMERYCZNY

Przedmiotem ekperymentu numerycznego był model matematyczny samodziałającego łożyska gazowego opisany w rozdziale drugim o wymiarach: długość L = 11*10^{-3}m, promień r = 5.5*10^{-3}m, luz promieniowy c = 30*10^{-6}m.

Rozpatrzono przypadek łożyska pracującego w powietrzu, o liczbie łożyskowej Λ = 2.0, co odpowiada prędkości kątowej czopa Ω_{cz} = 2*273 rad/s. Masę czopa przyjęto m = 20kg, wartość mimośrodowości względnej ε = 0.2. Ustalono, że okresy drgań swobodnych wynoszą: T_1 = 0.024s, T_2= 0.004s.

Do czopa przyłożono harmoniczną siłę wymuszającą $F(t)=F_1\sin\Omega t$ nachyloną do osi x pod kątem δ = 45°. Pobudzono układ łożyska do drgań siłą o następujacych parametrach:

a) amplituda siły F_1= 5N i okres drgań T_1 = 0.024s,

b) amplituda siły F_2= 50N i okres drgań T_2 = 0.004s.

Analizując przebiegi siły wymuszającej i odpowiedzi układu, potraktowane jako harmoniczne, określono wartości amplitud A oraz kątów przesunięcia fazowego φ. Przedstawiono je w tabeli 1.

Na podstawie tych danych dokonano identyfikacji łożyska, obliczając wartości współczynników K_{ij} i C_{ij}. Obliczenia przeprowadzono według programu, w którym do rozwiązania układów równań (4) wykorzystano metodę eliminacji Gaussa.

TABELA 1

Częstość kątowa Ω [1/s]	$\Omega_1 = 262$	$\Omega_2 = 1571$
Amplituda wymuszenia F [N]	$F_1 = 5$	$F_2 = 50$
Kąt nachylenia siły wymuszającej δ [st]	$\delta = 45$	$\delta = 45$
Amplituda odpowiedzi A odpowiednio w kirunkach osi x i y [m]	$A_{x1} = 1.73\ 10^{-6}$ $A_{y1} = 1.94\ 10^{-6}$	$A_{x2} = 2.71\ 10^{-6}$ $A_{y2} = 1.96\ 10^{-6}$
Kąty przesuniecia fazowego odpowiednio w kierunkach osi x i y [st]	$\varphi_{x1} = 258$ $\varphi_{y1} = 350$	$\varphi_{x2} = 101$ $\varphi_{y2} = 86$
Wartości współczynników - sztywności K_{ij} [N/m] - tłumienia C_{ij}[Ns/m]	$C_{11} = 4.9022\ 10^{4}$ $C_{12} = -\ 6.0855\ 10^{4}$ $K_{11} = 1.9340\ 10^{7}$ $K_{12} = 1.3792\ 10^{7}$ $C_{21} = 3.9868\ 10^{4}$ $C_{22} = -\ 3.9169\ 10^{4}$ $K_{21} = 1.1515\ 10^{7}$ $K_{22} = 1.2826\ 10^{7}$	
Masa krytyczna m_{kr}[kg]	$m_{kr} = 51.6$	

WNIOSKI:

Niektóre własności dynamiczne samodziłających łożysk gazowych można scharakteryzować poprzez znajomość współczynników sztywności i tłumienia. Zachodzi możliwość identyfikacji łożyska na podstawie badania jego odpowiedzi na wymuszenie harmoniczne.

Rezultaty identyfikacji na podstawie odpowiedzi łożyska na wymuszenie harmoniczne o częstościach równych częstościom rezonansowym (Ω_1 = 262rd/s, Ω_2 = 1571rd/s) są zbliżone do wyników badań otrzymanych wcześniej w Katedrze Automatyki i Dynamiki Maszyn przy wykorzystaniu tzw. metody Duhamel`a.

IDENTIFICATION OF THE GAS JOURNAL BEARINGS BASED ON THE RESPONCE ON THE HARMONIC EXCITATION

Summary

In the paper the identification of a simple gas journal bearing is presented. Values of stiffness and damping coefficients are calculed from the system of linear equations. A basis for calculations is the dynamic response of the bearing on two harmonic forces acting on the shaft.

IDENTIFICATION D`UN PALIER A GAZ A LA BASE DE SA REPONSE A L`EXCITATION HARMONIQUE

Resumé

Dans le travail on a présenté les résultats de l`identification d`un palier porteur à gaz. L`identification a basé sur la réponse du palier à la force harmonique appliquée au tourillon.

dr hab. inż. Jan Awrejcewicz
mgr inż. Barbara Błażejczyk
dr inż. Krzysztof Czołczyński
Katedra Automatyki i Dynamiki Maszyn, Politechnika Łódzka
90-924 Łódź, ul. Stefanowskiego 1/15.