

PROBLEMY NIEKONWENCJONALNYCH UKŁADÓW ŁOŻYSKOWYCH  
Łódź, 12 – 14 maja 1999 r.

Jan Burcan  
Maciej Kuchar  
Politechnika Łódzka

**WPLYW SZCZELINY POWIETRZNEJ NA TŁUMIENIE  
ORAZ SZTYWNOŚĆ MAGNETYCZNYCH ŁOŻYSK WZDŁUŻNYCH**

**SŁOWA KLUCZOWE:**

magnetyczne łożyska wzdluzne pasywne, współczynnik tłumienia, współczynnik sztywności, powietrzna szczelina początkowa

**STRESZCZENIE**

W pracy przedstawiono rezultaty badań eksperymentalnych magnetycznych łożysk wzdluznych pasywnych. Zaprezentowano charakterystyki działania łożysk z różnymi szczelinami powietrznymi. Charakterystyki zawierają zależność wsp. tłumienia i wsp. sztywności łożyska od szczeliny początkowej. Ponadto w pracy opisano stanowisko.

**WPROWADZENIE**

Obok tradycyjnych sposobów, polegających na bezpośrednim wzajemnym oddziaływaniu części przemieszczających się względem siebie, istnieje możliwość wykorzystania przenoszenia obciążeń polem magnetycznym. Wspomaganie polem może wyeliminować bezpośredni styk powierzchni roboczych. Wówczas pole magnetyczne całkowicie równoważy obciążenia wynikające z sił ciężkości i obciążeń roboczych. Dzięki temu znacząco zmniejszają się opory ruchu, co pozwala znacznie rozszerzyć zakres prędkości obrotowych.

W chwili obecnej stosowanie nie ma możliwości stosowania gotowych rozwiązań łożysk magnetycznych, ponieważ brak jest zaleceń konstrukcyjnych dla konkretnych technicznych aplikacji. Każdorazowo podczas projektowania wymagane jest opracowanie modelu, przeprowadzenie badań modelowych, i dopiero, na podstawie wyników – istnieje możliwość zaprojektowania właściwego układu z łożyskami magnetycznymi.

Nawet najlepsze procedury analityczne, oparte o rozwiązania numeryczne, bez doświadczalnej weryfikacji mogą być mało przydatne w technicznych aplikacjach ponieważ trudno jest ustalić zakres ich stosowalności. Dopiero z badań eksperymentalnych na konkretnym węzle łożyskowym ustala się takie wielkości jak np.: obciążalność wartości współczynników tłumienia i sztywności, zakresy prędkości obrotowych. Badania eksperymentalne mogą stanowić samodzielne badania użyteczne, pozwalające na opracowanie zaleceń konstrukcyj-

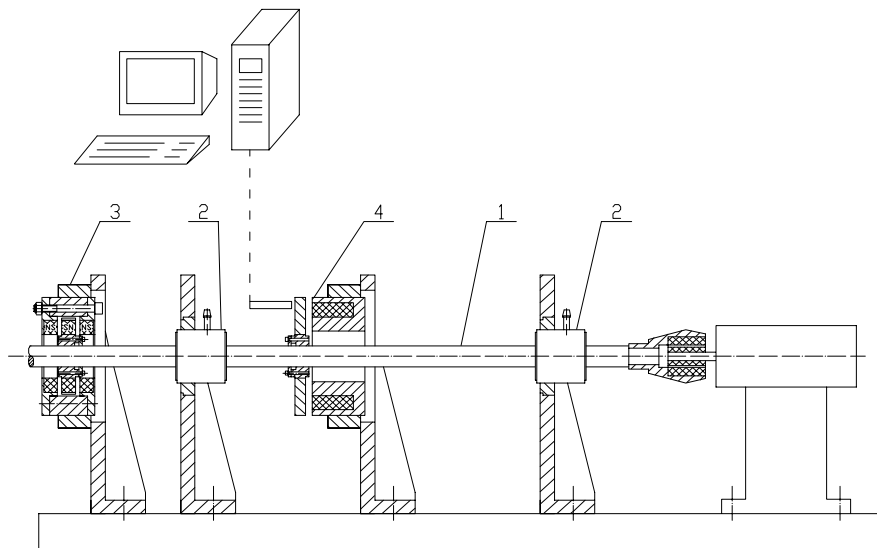
nych. Wyniki badań mogą dać również wiele zaleceń eksploatacyjnych, zwiększających niezawodność i poprawiających parametry łożyskowania. Niemniej ważnym aspektem badań eksperymentalnych jest weryfikacja wyników uzyskanych na drodze analitycznej. Weryfikacja wymaga uzyskania zgodności modelu analitycznego z modelem realizowanym na stanowisku badawczym. Tylko wtedy można mówić o poprawności wyników uzyskiwanych z rozwiązań analitycznych i o ich potwierdzeniu lub nie eksperymentem.

## OPS STANOWISKA BADAWCZEGO

Badania magnetycznych łożysk wzdłużnych wymagają precyzyjnego i skomplikowanego stanowiska. Stanowisko na którym przeprowadzano próby (rys. 1.) składa się z:

- wału wraz z kompletem powietrznych łożysk promieniowych 1, 2,
- czterech zestawów wzdłużnych łożysk magnetycznych pasywnych wraz z kompletami wymiennych tulei dystansowych do zadawania różnych szczelin początkowych 3 (użytkowane szczeliny w zakresie od 0,5 do około 14 mm)
- jednostronnego wzdłużnego łożyska magnetycznego aktywnego do zadawania obciążeń
- aparatury pomiarowej w skład której wchodzi wiropływowy czujnik przemieszczeń wzdłużnych sprzęgnięty z komputerem poprzez kartę analogowo-cyfrową DASY-LAB

Wał 1 podparty jest poprzecznie na łożyskach powietrznych 2 oraz ustalony wzdłużnie przez badane pasywne łożysko magnetyczne 3. Zadawanie obciążeń odbywa się poprzez aktywne łożysko wzdłużne 4 którego charakterystyka to znaczy zależność siły od obciążenia przy założonym stałym prądzie zasilania jest znana z wcześniej przeprowadzonych pomiarów. Rejestracja wyników odbywa się na dysku twardym komputera na bieżąco w czasie rzeczywistym w postaci pliku. Pozwala to na dalszą obróbkę uzyskanych danych. Wyniki opracowano w arkuszu kalkulacyjnym.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego pasywnych łożysk wzdłużnych

## ANALIZA DYNAMIKI UKŁADU

Bardzo istotną cechą dobrego łożyska jest jego zdolność do dochodzenia do położenia równowagi po wprowadzeniu zakłócenia. W zależności od wielkości wirujących mas układ w danym łożyskowaniu może wrócić do stanu równowagi po określonym czasie. Czas ten zależy od sztywności łożyska i jego możliwości tłumienia, określanych współczynnikami

sztynności i tłumienia. Na podstawie przeprowadzonych badań modelowych zauważono, że współczynnik tłumienia dla małych szczelin można traktować jako stały nie czyniąc dużego błędu. Charakterystyka nośności łożyska w funkcji przemieszczenia wału dla szczelin rzędu 2 – 3 mm jest praktycznie liniowa.

Poczynione obserwacje z badań można analizować wykorzystując przybliżone równanie ruchu układu, w postaci:

$$m \cdot \ddot{x} + c \cdot \dot{x} + k \cdot x = 0 \quad (1)$$

gdzie:

m - masa układu,

k - współczynnik sztywności,

c - współczynnik tłumienia.

Przybliżenie polega na pominięciu faktu że w łożysku magnetycznym współczynnik sztywności nie jest wielkością stałą.

W literaturze równanie typu (1) określa się jako równanie drgań liniowych swobodnych tłumionych i sprowadza się je do postaci:

$$\ddot{x} + 2h \cdot \dot{x} + \omega^2 \cdot x = 0 \quad (2)$$

gdzie: h - parametr  $h = \frac{c}{2m}$

$\omega$ -pulsacja  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

W modelu analitycznym założono podkrytyczny charakter drgań – inaczej założono prawdziwość zależności:

$$h^2 - \omega^2 < 0$$

Spadek amplitudy drgań w taki przypadku określa zależność:

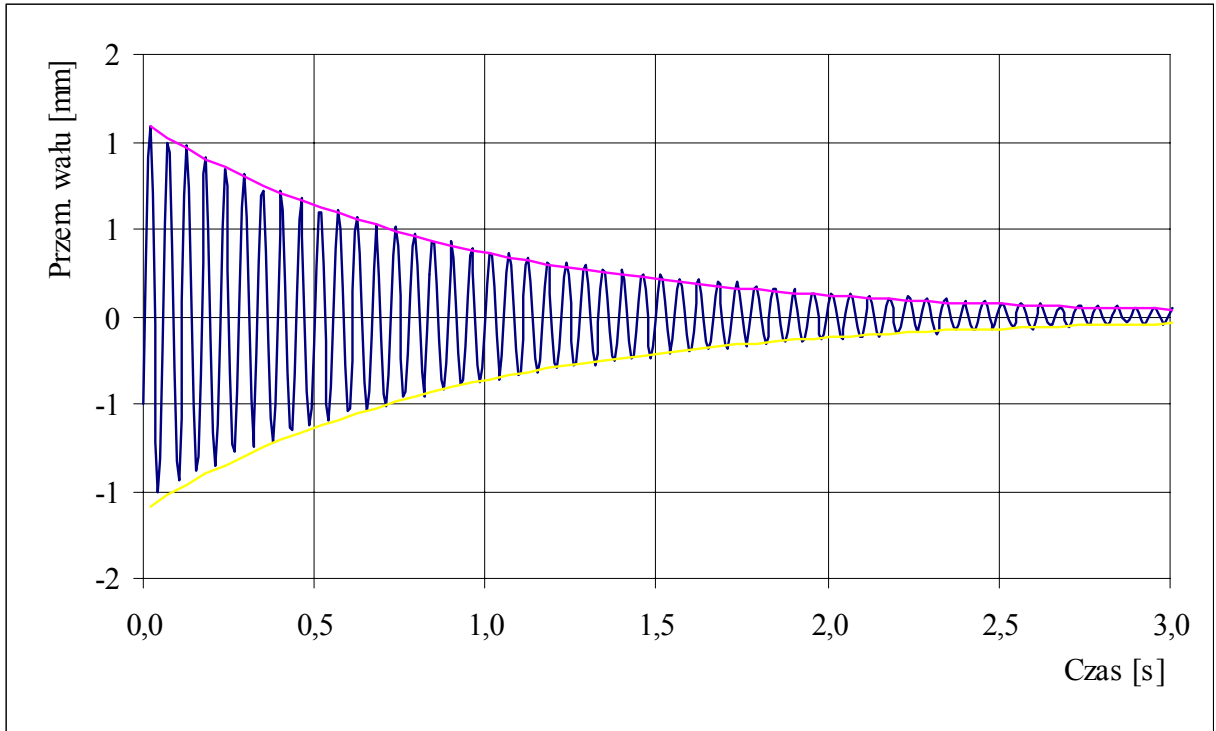
$$A = A_0 \cdot e^{-ht} \quad (1.3)$$

## **CHARAKTERYSTYKI ZMIAN WSPÓŁCZYNNIKA SZTYWNOŚCI I WSPÓŁCZYNNIKA TLUMIENIA.**

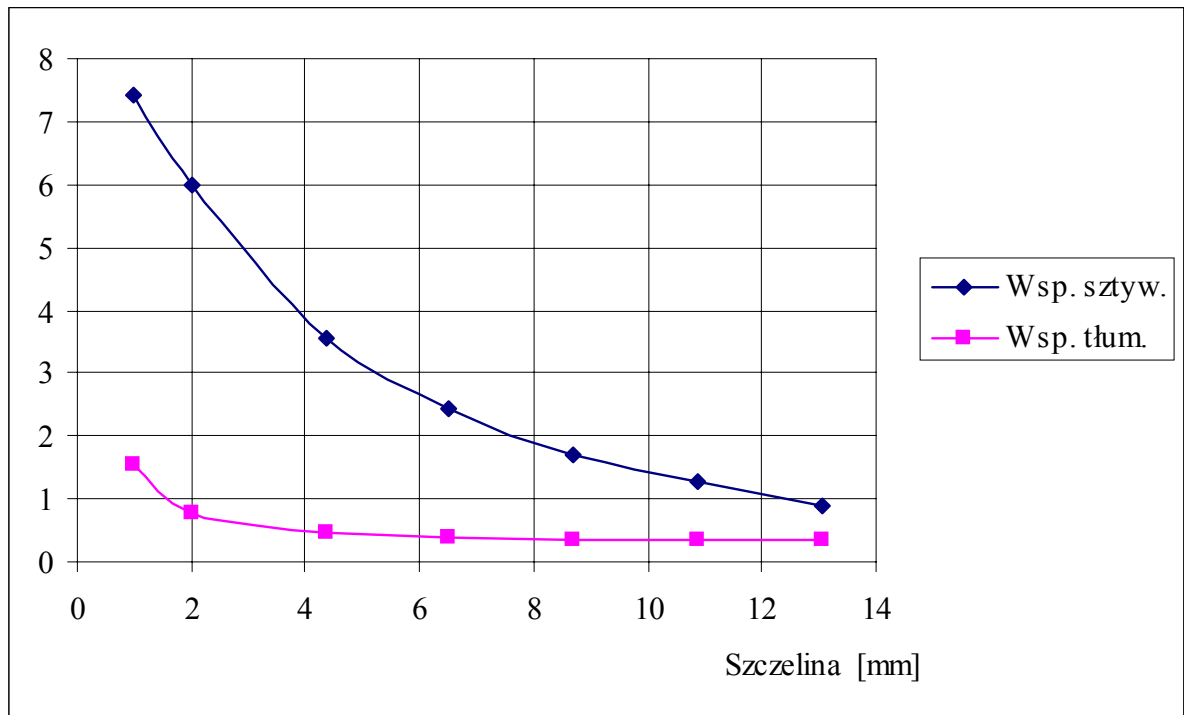
Jak już wspomniano wyżej, dla łożyska magnetycznego najważniejszym zadaniem jest uzyskanie stabilnej pracy, bez drgań, ze skutecznym tłumieniem w zakresie przewidywanych obciążeń i warunków dynamicznych będącym źródłem drgań. Dla danych warunków pracy zagadnienie sprowadza się do doboru odpowiednich współczynników sztywności i tłumienia, a te zależą od parametrów konstrukcyjno-materiałowych układu łożyskowego.

Rejestracja przebiegu odpowiedzi układu na jednorazowy impuls siły – inaczej wymuszenie dynamiczne czyli rejestracja przemieszczeń wału w funkcji czasu daje pogląd na tłumienie układu. Rysunek 2 przedstawia przykładowo zarejestrowane odpowiedzi układu na jednorazowe wymuszenie.

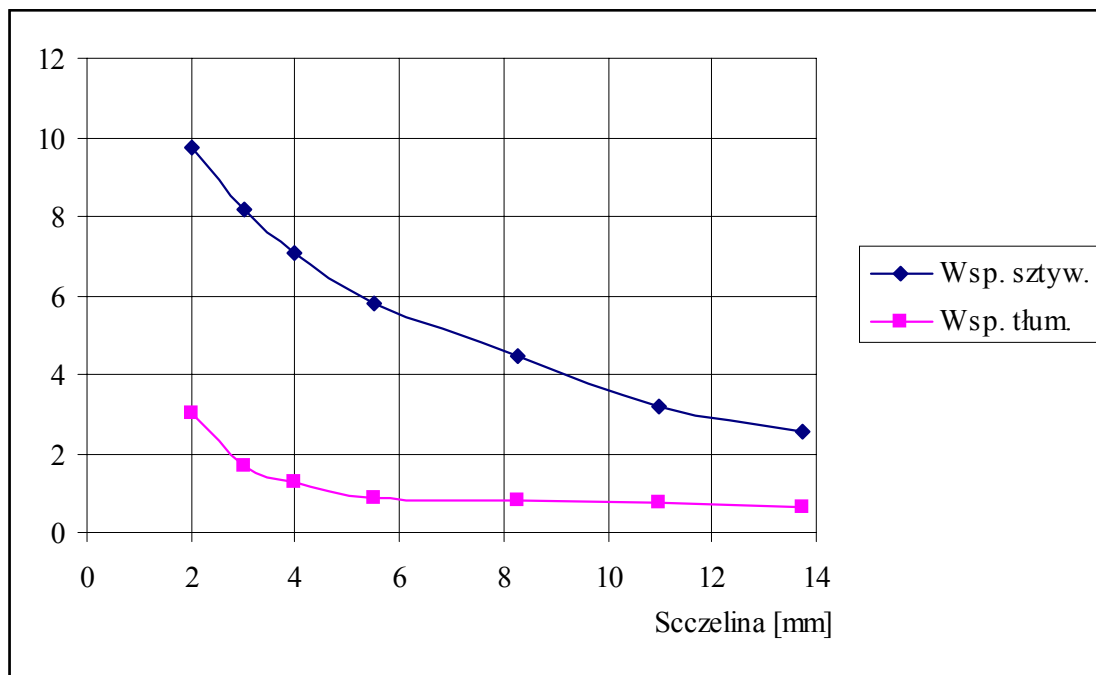
Na podstawie zarejestrowanych wyników pomiarów przemieszczeń wału w funkcji sił na niego działających oszacowano współczynnik sztywności łożyska. Za charakterystykę statyczną przyjęto zależność współczynnika sztywności w funkcji szczeliny początkowej. Za charakterystykę dynamiczną przyjęto zależność współczynnika tłumienia w funkcji szczeliny początkowej. Wyniki zestawiono na rysunkach 3-5.



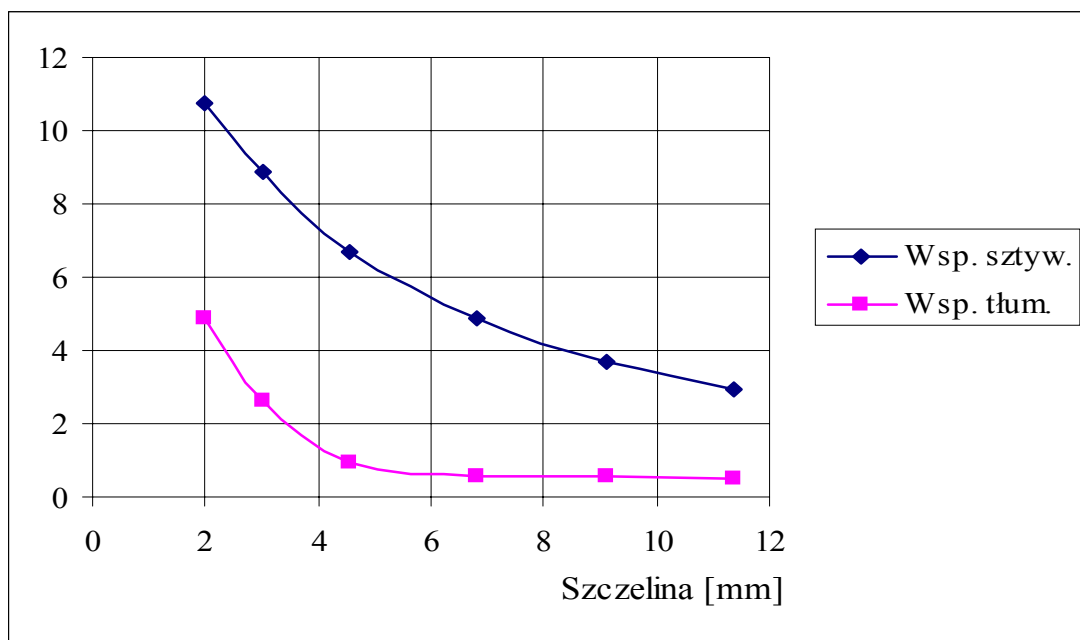
Rys. 2. Spadek amplitudy po jednorazowym wymuszeniu dynamicznym w łożysku o wymiarach 48 x 22,2 11.  
 Krzywe aproksymacyjne  $A=1,11 e^{-1,11t}$ ,  $A=-1,11 e^{-1,11t}$ .  
 Szczelina 4 mm



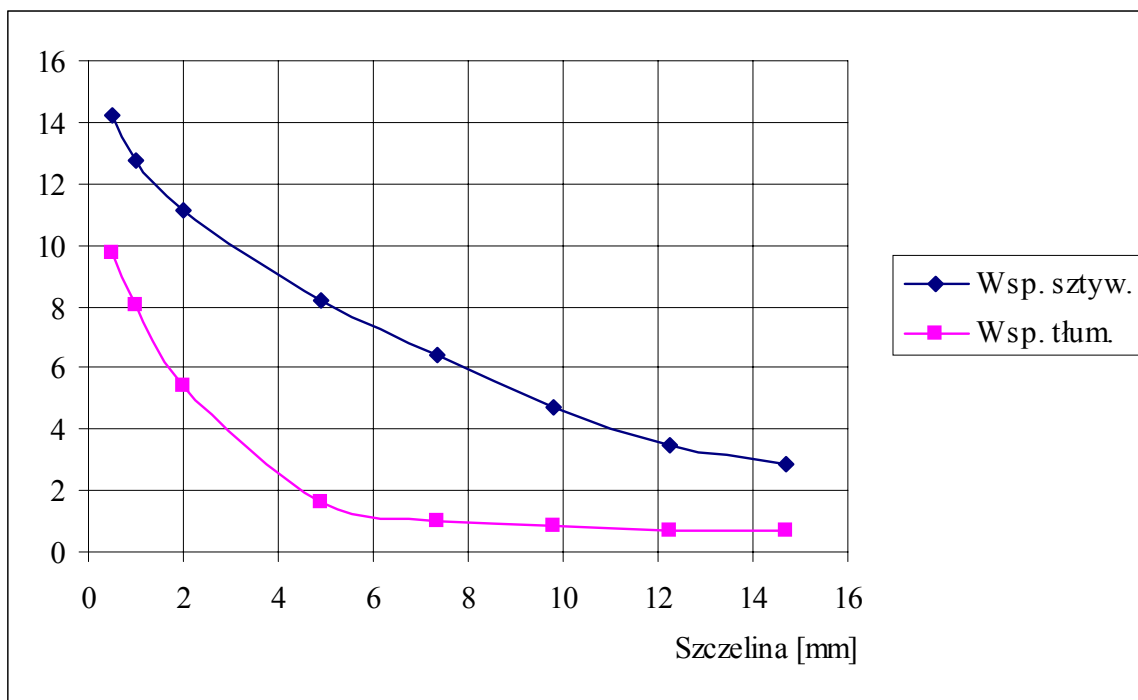
Rys. 3. Zmiana współczynnika sztywności oraz współczynnika tłumienia  
 w funkcji wartości szczeliny początkowej w łożysku o wymiarach 30 x 17,2 x 8,7



Rys. 4. Zmiana współczynnika sztywności oraz współczynnika tłumienia w funkcji wartości szczeliny początkowej w łożysku o wymiarach 48 x 22,2 x 11



Rys. 5. Zmiana współczynnika sztywności oraz współczynnika tłumienia w funkcji szczeliny początkowej w łożysku o wymiarach 57 x 29,2 x 9,1



Rys. 5. Zmiana współczynnika sztywności oraz współczynnika tłumienia w funkcji szczeliny początkowej w łożysku o wymiarach 64,3 x 41,2 x 9,8

Analizując otrzymane charakterystyki widać wyraźną tendencję wzrostową współczynników sztywności wraz ze zmniejszaniem szczeliny początkowej. Współczynnik tłumienia znacząco wzrasta dopiero przy małych szczelinach początkowych w zakresie do około 50% grubości pierścienia magnetycznego.

## PODSUMOWANIE

1. Na podstawie wyników badań można zaobserwować dobrą zgodność przyjętego uproszczonego modelu analitycznego z modelem realizowanym na stanowisku badawczym. Charakter spadku amplitudy drgań odpowiada w dużym zakresie rodzajowi przyjętej krzywej aproksymacyjnej co potwierdza zasadność przyjętego modelu analitycznego.
2. Na podstawie analizy uzyskanych wykresów wartości współczynników eksploatacyjnych w funkcji szczeliny początkowej można założyć najbardziej stabilną pracę badanych łożysk magnetycznych w zakresie małych szczelin do około 2 – 3 mm. w zależności od gabarytów. Należy jednak pamiętać że w tym zakresie w sposób wydatny maleje obciążalność łożyska. Stąd w konkretnych zastosowaniach inżynierskich potrzeba optymalizacji szczeliny początkowej i wielkości łożyska.

## Literatura

1. Burcan J. Łożyska wspomagane polem magnetycznym. WNT, Warszawa 1996.
2. Osiński Z. Teoria drgań. PWN, Warszawa 1980.

# **THE INFLUENCE OF THE AXIAL AIR CLEARANCE ON THE CLAMPING COEFFICIENT AND THE COEFFICIENT OF ELASTICITY OF THE MAGNETIC AXIAL BEARING**

## **ABSTRACT:**

The paper presents the results of experimental research on magnetic axial bearings. It describes the performance characteristics of the bearings with various axial air-clearances. The characteristics contain the dependence of the clamping coefficient and the coefficient of elasticity on the air-clearance of the bearing. Besides, the paper describes a test stand.

*Recenzent: Zbigniew Lawrowski*