

WPLYW USZCZELNIEŃ LABIRYNTOWYCH NA WŁASNOŚCI DYNAMICZNE DUŻYCH MASZYN ENERGETYCZNYCH.

Anna PROŃSKA

Institut Maszyn Przepływowych PAN, Zakład Dynamiki Wirników i Łożysk Ślizgowych

Gdańsk, ul. Fiszera 14, fax (58) 341-61-44, e-mail aga@imp.gda.pl

Streszczenie

W pracy przeprowadzono ocenę wpływu uszczelnień labiryntowych turbosespołu 13K215 na własności dynamiczne całej maszyny. Zastosowano dwa uzupełniające się modele uszczelnień: model łożyskowy i model blaszkowy. Ponieważ badania dotyczące układu pracującego w warunkach nominalnych wykazały znikomy wpływ uszczelnień, stosując metodologię właściwą dla diagnostyki według modelu, drogą analizy komputerowej, zbadano wpływ uszczelnień na proces rozwoju niestabilności układu.

INFLUENCE OF LABYRINTH SEALINGS ON THE DYNAMICS STATE OF LARGE POWER SET

Summary

In the work conducted has been an assessment of the influence of labyrinth sealings in the turbogenerator 13K215 on the dynamic properties of the entire machine. Two complementary models of sealings has been used: so called bearing model and plate model. Investigations concerning the system operating at the nominal rating show negligible influence of sealings. By reason of that, applying the methodology appropriate to the model based diagnostics, by computer analysis, traced has been the influence of sealings on the process of the system instability.

1. Uwagi wstępne

Obiekt energetyczny taki jak turbosespół dużej mocy jest obiektem skrajnie złożonym z punktu widzenia możliwości opisu zachodzących procesów. Wyróżnić tu można wiele charakterystycznych układów, z których najważniejsze to:

1. układ przepływowo – regulacyjny
2. linia wirników i łożysk, uszczelnienia labiryntowe
3. konstrukcja podpierająca: stojaki, korpusy, fundament
4. układ elektryczny.

Każdy z powyższych układów generuje charakterystyczne wymuszenia rozumiane jako zmienne w czasie i przestrzeni siły, które jak w soczewce skupiają się w efekcie na linii wirników i łożysk i determinują tym samym stan obiektu.

Prezentowane badania związane są z siłami generowanymi w uszczelnieniach. Badany jest wpływ tych sił na pracę turbosespołu w warunkach nominalnej pracy i przy obniżeniu rezerwy stabilności układu.

2. Narzędzia badawcze

Z oczywistych powodów zastosowano metodologię badań właściwą dla diagnostyki według modelu, której podstawowymi funkcjami jest pozyskiwanie relacji typu defekt – symptom i budowa katalogów relacji diagnostycznych. Do realizacji takich celów niezbędny był odpowiedni model diagnozowanego obiektu i oprogramowanie komputerowe.

2.1. System NLDW

System programów i model, którym posłużono się w badaniach nosi nazwę NLDW [1] i z powodzeniem jest stosowany w IMP PAN. Weryfikacja eksperymentalna modelu przebiegała tu dwuetapowo:

I etap weryfikacja bezpośrednia, ilościowa, przeprowadzona została w laboratorium na uproszczonym modelu wirnika wielopodporowego ułożyskowanego ślizgowo;

II etap weryfikacja jakościowa, została przeprowadzona na obiekcie rzeczywistym w oparciu o system monitorowania DT-200.

Po uzyskaniu zadawalającej zbieżności wyników teoretycznych i eksperymentalnych uznano, że

opracowany model może być wykorzystany do symulacji uszkodzeń i budowy relacji diagnostycznych.

2.2. Modele uszczelnień

Siły generowane w uszczelnieniach wyznaczono w oparciu o dwa modele uszczelnień. Obydwa modele powstały przy zachowaniu pełnej geometrii wszystkich 30 uszczelnień kierowniczych i 30 wirnikowych. Ponadto przyjęto rzeczywiste parametry przepływowe medium tzn. ciśnienie i temperaturę przed i za stopniem uzyskane za pomocą specjalistycznych obliczeń ciepłoprzepływowych. Potrzebną do obliczeń lepkość dynamiczną uzyskano stosując algorytmy bazujące na tablicach parowych.

2.2.1. Model łożyskowy

Model łożyskowy powstał przy zastosowaniu programu do badań łożysk ślizgowych, zweryfikowanego eksperymentalnie, którego poprawność została potwierdzona w licznych pracach prowadzonych dla przemysłu. Szczegóły wyznaczenia współczynników sztywności i tłumienia w oparciu o wspomniany model uszczelnień znajdują się w [2].

2.2.2. Model blaszkowy

Model blaszkowy opracowany przez Zespół prof. Z. Walczyka stanowi wynik wieloletnich prac dotyczących zjawisk zachodzących w parowych uszczelnieniach turbin. Doprowadziły one do powstania modelu uogólnionego, a wyniki badań teoretycznych zweryfikowano eksperymentalnie. Szczegóły dotyczące tego modelu zostały opublikowane w [1] a wyniki dotyczące turbozespołu 13K215 w [3].

2.3. Rozszerzony model turbozespołu 13K215 i sposób modelowania destabilizacji układu

Obydwa modele zaimplementowano do systemu NLDW [4] rozszerzając tym samym model badanego obiektu o uszczelnienia.

Obniżenie rezerwy stabilności, czyli tłumienia układu zamodelowano zmniejszając sztywność kinetostatyczną szóstej podpory (newralgicznej dla rozpatrywanego układu) w sposób umożliwiający prześledzenie wszystkich faz rozwoju wspomnianego defektu. Spadek sztywności kinetostatycznej podpory realizowany był przez obniżanie wartości jej pionowego położenia w stosunku do położenia linii geodezyjnej.

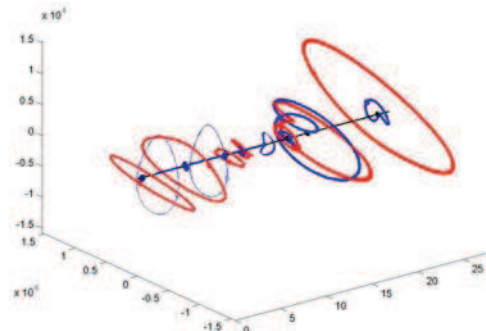
3. Wpływ uszczelnień na układ pracujący w warunkach nominalnych.

Uwzględnienie w systemie NLDW sił generowanych w uszczelnieniach pozwoliło

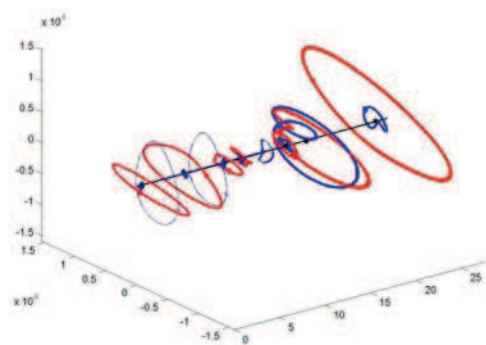
wygenerować przemieszczenia poprzeczne, wzdłużne i skrętne dowolnych węzłów układu w funkcji czasu, co umożliwiło budowę nieeliptycznych trajektorii drgań poprzecznych oraz niesinusoidalnych przebiegów drgań wzdłużnych i skrętnych. Porównanie wyników otrzymanych dla obydwu modeli uszczelnień z wynikami dla tzw. przypadku „bazowego” będącego wynikiem dostrojenia modelu do obiektu rzeczywistego pozwala stwierdzić, że trajektorie drgań bezwzględnych panwi, trajektorie drgań względnych czop-panew a także wartości amplitud przemieszczeń pozostają niezmienione, czyli badane oddziaływania są znikome.

Wniosek ten ilustrują rys. 1, 2 i 3 na których widoczne są trajektorie drgań względnych i bezwzględnych łożysk i trajektorie drgań wybranych węzłów układu. Te dodatkowe węzły zostały wybrane w punktach, w których oddziaływanie sił generowanych w uszczelnieniach jest najsilniejsze, tzn. w punktach środkowych części WP i SP.

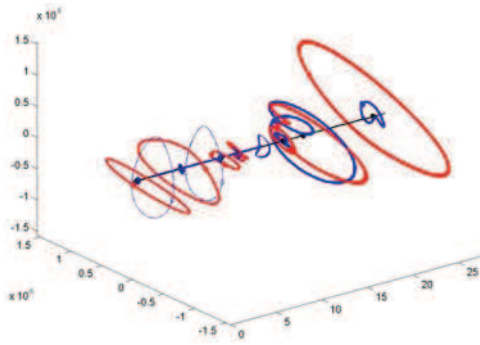
Trzeba w tym miejscu zaznaczyć, że w łożyskowym modelu uszczelnień przyjęte zostały skrajne wartości mimośrodowości względnej, co oznacza, że spodziewane rzeczywiste oddziaływania tych uszczelnień powinny być jeszcze mniejsze.



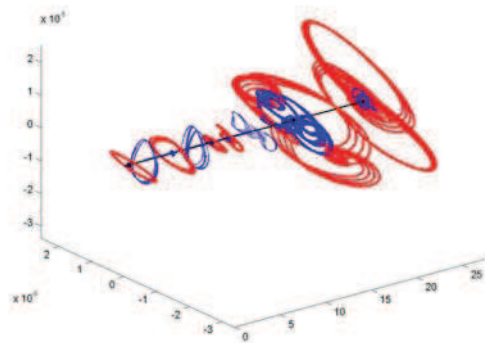
Rys.1. Trajektorie drgań wybranych węzłów układu model bez uszczelnień



Rys.2. Trajektorie drgań wybranych węzłów układu łożyskowy model uszczelnień



Rys.3. Trajektorie drgań wybranych węzłów układu blaszkowy model uszczelnień

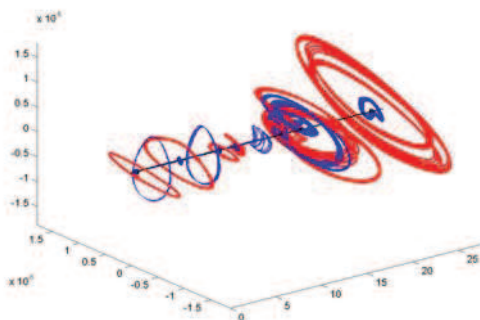


Rys.5. Trajektorie drgań wybranych węzłów układu łożyskowy model uszczelnień, podpora nr 6 obniżona o 0.9 mm w stosunku do położenia bazowego

4. Proces rozwoju niestabilności.

Niezauważalny wpływ sił generowanych w uszczelnieniach na własności dynamiczne dużej maszyny energetycznej sprawia, że należy odpowiedzieć na pytanie, czy przy badaniu procesów zachodzących w takich maszynach metodami symulacji komputerowych uwzględnienie uszczelnień ma szerszy sens. Próbę odpowiedzi na to pytanie stanowi badanie procesu rozwoju niestabilności turbos zespołu 13K215 przeprowadzone z uwzględnieniem wpływu uszczelnień labiryntowych i bez jego uwzględnienia.

Destabilizację układu zamodelowano realizując spadek sztywności kinetostaticznej podpory nr 6, newralgicznej dla całego układu, poprzez obniżenie wartości jej pionowego położenia geodezyjnego w stosunku do położenia bazowego.



Rys.4. Trajektorie drgań wybranych węzłów układu łożyskowy model uszczelnień, podpora nr 6 obniżona o 0.6 mm w stosunku do położenia bazowego

W badaniach zagęszczanie punktów parametrycznej analizy przeprowadzono w sposób umożliwiający płynną obserwację procesu destabilizacji trajektorii i rozwoju subharmonicznych składowych drgań. W celu przeprowadzenia porównań ograniczymy się do dwóch charakterystycznych przypadków obniżenia podpory o 0.6 mm i o 0.9 mm.

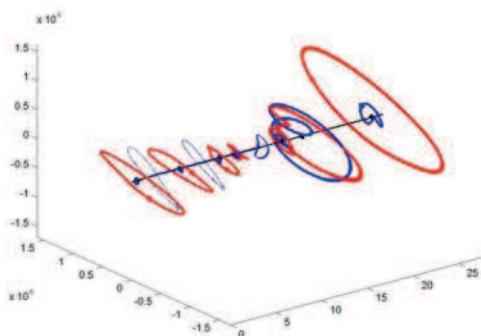
Wyniki obliczeń programem NLDW dla modelu bez uszczelnień przedstawiają rys.4 i 5. Wynika z nich, iż obniżenie podpory nr 6 o 0.6 mm (rys.4) w stosunku do położenia „bazowego” daje się zauważyć w obrazie drgań obiektu (por. z przypadkiem „bazowym” – rys.1) nie powodując jeszcze utraty stabilności. Natomiast obniżenie podpory o 0.9 mm powoduje wyraźne już symptomy w postaci charakterystycznego „rozszczenia się” trajektorii. Trajektorie przemieszczeń łożysk 6 i 7 są już wyraźnie niestabilne.

Taki sam obraz trajektorii drgań otrzymujemy dla obydwu przypadków z uszczelnieniami. Ze względu na identyczność otrzymanych wykresów nie zamieszczamy ich w pracy.

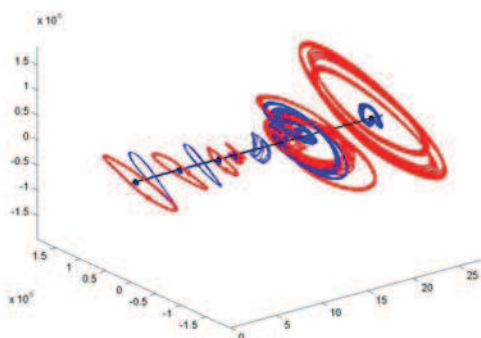
Podkreślić należy, że brak wpływu uszczelnień na pracę układu w warunkach nominalnych i przy zmniejszeniu sił tłumiących układu wynika z symulacji przeprowadzonych zarówno dla modelu łożyskowego, jak i modelu blaszkowego. Dodatkowo ekscentryczny model łożyskowy pozwolił na przeprowadzenie badań w taki sposób, aby wymusić możliwie największe spodziewane oddziaływania, tzn. przyjęto skrajnie dużą mimośrodowość względną $\epsilon = 0.9$.

Ponieważ można się było spodziewać, że siły generowane w uszczelnieniach będą oddziaływały na zdestabilizowany układ, podjęto dalsze badania, mające na celu określenie wielkości sił, których wpływ byłby zauważalny z punktu widzenia własności dynamicznych turbos zespołu.. Pozostawiając niezmienną wartość współczynników sztywności i tłumienia otrzymanych przy zastosowaniu łożyskowego modelu uszczelnień kolejno dwa, trzy, ..., -razy. Okazało się, że dopiero dziesięciokrotne zwiększenie wpłynęło na kształt trajektorii węzłów leżących w środku części WP, SP i NP. wywierając prawie niezauważalny wpływ na trajektorie drgań łożysk. Rys. 6, 7 i 8 pokazują, że wpływ ten jest widoczny zarówno przy nominalnej pracy układu,

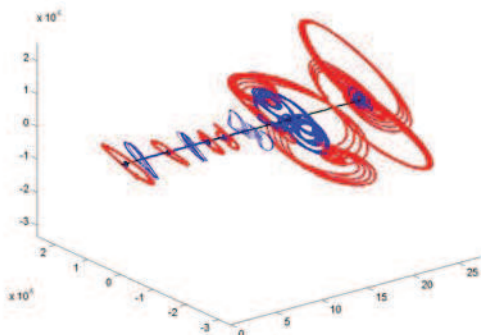
jak i dla układu pracującego w warunkach zmniejszonej rezerwy stabilności.



Rys. 6. Trajektorie drgań wybranych węzłów układu hipotetyczny model uszczelnień. Współczynniki sztywności i tłumienia zwiększone dziesięciokrotnie



Rys. 7. Trajektorie drgań wybranych węzłów układu przy obniżeniu podpory nr 6 o 0.6 mm hipotetyczny model uszczelnień. Współczynniki sztywności i tłumienia zwiększone dziesięciokrotnie.



Rys. 8. Trajektorie drgań wybranych węzłów układu przy obniżeniu podpory nr 6 o 0.9 mm hipotetyczny model uszczelnień. Współczynniki sztywności i tłumienia zwiększone dziesięciokrotnie

5. Wnioski

W świetle przeprowadzonych badań okazało się, że przy przyjęciu wspomnianych w pracy

założeń i zastosowaniu omówionych narzędzi badawczych wpływ uszczelnień labiryntowych na własności dynamiczne dużej maszyny energetycznej może być pomijalny nawet wtedy, kiedy układ pracuje z niewielką rezerwą stabilności.

Taki wynik symulacji numerycznych otrzymano stosując dwa różne modele uszczelnień. Można powiedzieć, że są to modele skrajne, jeden koncentryczny dający możliwość uwzględnienia blaszek labiryntowych, drugi ekscentryczny pozwalający uwzględnić niesymetryczne położenie uszczelnień względem powierzchni zewnętrznej kanałów.

Dopiero dziesięciokrotne zwiększenie wartości bezwzględnych współczynników sztywności i tłumienia otrzymanych przy zastosowaniu łożyskowego modelu uszczelnień wpływa na zmianę trajektorii drgań węzłów układu, w których spodziewano się największego wpływu uszczelnień, tzn. węzłów leżących w środku części WP, SP i NP. prawie nie wpływając na trajektorie drgań węzłów łożyskowych. Wpływ o takim samym charakterze odnotowujemy zarówno w warunkach stabilnej pracy jak i przy obniżeniu rezerwy stabilności. Podkreślić należy, że obniżenie rezerwy stabilności, czyli tłumienia układu zamodelowano zmniejszając sztywność kinetostatyczną szóstej podpory, niewrażliwej dla rozpatrywanego układu.

LITERATURA

- [1] Kiciński J., Walczyk Z., *Dynamika turbosopłów energetycznych*, Wydawnictwo PG, Gdańsk 2001
- [2] Prońska A., Wyznaczanie współczynników sztywności i tłumienia w oparciu o łożyskowy model uszczelnień labiryntowych turbosopłu 13K215. *Tribologia* Nr 2/2002
- [3] Walczyk M., Walczyk Z., Obliczenia współczynników sztywności i tłumienia uszczelnień labiryntowych turbosopłu 13K215 programami LABIR i WIR, opr. PBZ K015/T10/2001/54.
- [4] Kiciński J., Markiewicz-Kicińska A., Program „NLDW-USZCZ” umożliwiający analizę porównawczą wpływu uszczelnień labiryntowych przy zastosowaniu różnych modeli (model łożyskowy, model Walczyka). oprac. wew. IMP PAN w Gdańsku, nr arch. 2273/2002.

Anna PROŃSKA