

Lech MURAWSKI

Osrodek Mechaniki Konstrukcji Okreту
Centrum Techniki Okreтowej

DRGANIA WZDLUŻNE WAŁÓW KORBOWYCH WOLNOOBROTOWYCH SILNIKÓW OKREТOWYCH

Streszczenie. W pracy zawarto algorytm obliczeń sprzężonych drgań osiowych wałów korbowych wolnoobrotowych silników okreтowych. Istotą pracy jest oszacowanie deformacji wzdlużnej poszczególnych wykorbień, pod działaniem momentów skręcających i sił promieniowych. Obliczenia przeprowadzono metodą elementów skończonych. Obliczenia testowe wykazały dobrą zgodność z pomiarami weryfikującymi.

AXIAL VIBRATION OF MARINE SLOW SPEED ENGINE SHAFTING

Summary. The method of the computer calculations of coupled axial vibrator of marine slow speed engine shafting is presented. Estimation of axial deformation coupled with torque moments and radial forces, for each crank, is the essence of the paper. Above-mentioned quantity are obtained using a linear finite element method. The results of test calculations are well compability with revision measurement.

ПРОДОЛНЫЕ КОЛЕБАНИЯ КРИВОШИПНЫХ ВАЛОВ ТИХОХОДНЫХ ЦУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Резюме. Эта работа помещает метод нумерических вычислений сопряжённых вибраций осевых коленчатых валов вольнообращательных судовых двигателей. Существо работы это оценка продольной деформации частных колен под действием скручивающих моментов и радиальных сил. Вычисления переведено методом конечных элементов. Испалненные вычисления показали хорошую согласность из проверочными измерениями.

1. WSTĘP

W pracy zawarto próbę kompleksowego rozwiązania problemu sprzężonych drgań wzdłużnych wałów korbowych wolnoobrotowych silników okrętowych. Ze względu na złożone sprzężenia kinematyczne, jak dotąd problem ten nie został zadowalająco rozwiązany. Typowy układ napędowy statku składa się z linii wałów (wraz ze śrubą napędową) połączonej szeregowo z wałem korbowym silnika głównego. Drgania wzdłużne wału korbowego rozpatrywane będą wspólnie z całą linią wałów. Wymuszenia kadłuba i nadbudówki statku, pochodzące od drgań wzdłużnych linii wałów są transmitowane poprzez łożysko oporowe. Stanowią one jedno z głównych źródeł drgań mechanicznych na statkach.

Autor przedstawia w pracy metodę obliczeniową pozwalającą na określenie amplitud drgań wzdłużnych układów napędowych jednostek morskich. Wymuszenia drgań wzdłużnych linii wałów pochodzą głównie od gazowych i masowych sił promieniowych układu tłokowo-korbowego oraz od zmiennych momentów skrętnych wału korbowego. W celu oszacowania sił wymuszających autor pracy przeprowadził obliczenia sprzężonej deformacji wzdłużnej wałów korbowych, na przykładzie silników SULZER-a typu RTA-76. Wykorzystując uzyskane współczynniki sprzęgające przeprowadzono obliczenia drgań wzdłużnych linii wałów. W trakcie rejsu próbnego jednostki dokonano pomiarów weryfikujących obliczenia oraz pomiarów wpływu drgań wzdłużnych linii wałów na drgania korpusu silnika głównego i drgania nadbudówki.

2. SPRZEŻONA DEFORMACJA WZDŁUŻNA WAŁÓW KORBOWYCH SILNIKÓW SULZER-a TYPU RTA-76

Celem analizy jest określenie względnych odkształceń osiowych wałów korbowych silników SULZER-a typu RTA-76, związanych z oddziaływaniem na nie momentów skręcających i sił promieniowych.

Autor proponuje dwuetapowe podejście do problemu. W pierwszym etapie, zamodelować $\frac{1}{4}$ pojedynczego wykorbienia za pomocą trójwymiarowych, odkształcalnych elementów skończonych. W drugim etapie, model dyskretny całego wału korbowego przedstawić za pomocą elementów belkowych. Celem obliczeń statycznych modelu trójwymiarowego jest określenie charakterystyk geometrycznych elementów belkowych modelujących wał korbowy. Względne odkształcenia osiowe wału korbowego, związane z oddziaływaniem momentów

skręcających i sił promieniowych, zostaną określone za pomocą belkowego modelu wału.

Pojedyncze wykorbienie zamodelowano elementem trójwymiarowym. Jest to element szesnastowęzłowy, krzywoliniowy, izoparametryczny, o trzech stopniach swobody w węźle. Model dyskretny wykorbienia posiada 338 stopni swobody. Wał korbowy zamodelowano belkami pryzmatycznymi o sześciu stopniach swobody w węźle. Model wału korbowego posiada 241 stopni swobody. Według szacunków autora, model całego wału korbowego złożonego z trójwymiarowych elementów bryłowych zawierałby powyżej 12 tysięcy stopni swobody.

Obliczenia przeprowadzono na mikrokomputerze IBM-PC korzystając z programu SAP-4. W programie tym rozwiązywanie równań statycznych przeprowadza się wykorzystując eliminację Gaussa dodatkowo zdefiniowanego, symetrycznego układu równań.

W celu uzyskania zbliżonych wartości charakterystyk sztywnościowych pojedynczego wykorbienia zaproponowanych modeli, skorygowano przekroje i geometryczne momenty bezwładności belek. Ostatecznie, jako zadowalające przyjęto następujące, zastępcze wartości charakterystyk geometrycznych belek:

- przekrój poprzeczny ramion wału korbowego zwiększono 1,5 raza;
- osiowe momenty bezwładności ramion korby zwiększono $(1,5)^2$ raza;
- biegunowy moment bezwładności czopów wału korbowego zmniejszono o 20%.

W dalszym etapie autor skontrolował poprawność przyjętego modelu belkowego całego wału korbowego, poprzez obliczenia sztywności osiowych i skrętnych. Następnie porównano uzyskane wielkości z danymi producenta silników.

W porównywanych modelach wału korbowego (model trójwymiarowy oraz model belkowy), uzyskane sztywności wykazują zgodność z dokładnością $\pm 10\%$. Dalszego dopasowywania modeli nie prowadzono, gdyż w danych producenta brak jest wiarygodnej sztywności pojedynczej korby.

Współczynnik sprzężenia przemieszczeń osiowych wału korbowego z siłami promieniowymi zdefiniowano jako iloraz wzdłużnego odkształcenia odcinka wału przez siłę promieniową działającą na pojedynczą korbę. Współczynnik sprzężenia przemieszczeń osiowych wału korbowego z momentami skręcającymi zdefiniowano jako iloraz wzdłużnego odkształcenia odcinka wału przez moment skręcający przyłożony do wolnego końca wału korbowego. W tab.1 zawarto obliczone współczynniki sprzężeń z siłami promieniowymi oraz z momentami skręcającymi.

Tablica 1

Współczynniki sprzężeń silnika 6 RTA-76

	Numer wykorbienia					
	1	2	3	4	5	6
Z siłami promieniowymi [N/m × 10 ³]	12.93	7.85	7.78	7.78	7.81	7.43
Z momentami skręcającymi [Nm/m × 10 ³]	16.97	8.28	-30.01	-29.60	8.30	11.35

* Znak "-" oznacza skrócenie wykorbienia

3. OBLICZENIA SPRZEŻONYCH DRGAŃ WZDŁUŻNYCH LINII WAŁÓW

Celem przeprowadzonej w tym rozdziale analizy jest określenie amplitud drgań wolnego końca wału korbowego w funkcji obrotów silnika. W obliczeniach zostaną uwzględnione wymuszenia pochodzące od 6. harmonicznej (w proponowanej metodzie analizy brak jest możliwości wiarygodnego uwzględnienia innych częstotliwości wymuszeń dla silnika 6-cylindrowego).

W modelu dyskretnym linii wałów wraz z wałem korbowym zastosowano 32 elementy belkowe z ograniczeniem do jednego stopnia swobody w węźle. Sztywności wzdłużne odcinków wałów (K) zamodelowano poprzez dobór przekroju poprzecznego belek (S), uwzględniając moduł Younga (E) oraz długość odcinka wału (L), wg wzoru:

$$S = \frac{K}{E} \times L \quad (1)$$

Gęstość (ρ) materiału elementów belkowych dobrano w ten sposób aby odcinek linii wałów miał masę (M) zgodną z modelem fizycznym; tzn wg wzoru:

$$\rho = M / (S \times L) \quad (2)$$

Wzdłużne siły wymuszające, sprzężone z deformacjami wału korbowego, wyznaczono za pomocą sztywności sprzężonych. Siły promieniowe obliczono na podstawie danych producenta. Momenty skrętne przyjęto z obliczeń drgań skrętnych.

Pierwsze dwie wartości własne drgań wzdłużnych linii wałów są

następujące: $f_1=10.77$ Hz, $f_2=19.89$ Hz. Obliczone amplitudy drgań wzdłużnych wolnego końca wału korbowego (z rozbiciem na poszczególne typy wymuszeń) przedstawiono na rys.1.

4. POMIARY DRGAŃ WZDŁUŻNYCH LINII WAŁÓW, KORPUSU SILNIKA I NADBUDÓWKI

Pomiary drgań wzdłużnych linii wałów i nadbudówki wykonano w trakcie rejsu próbnego jednostki. Pomiary wykonał zespół pracowników Ośrodka Mechaniki Konstrukcji Okrętu, Centrum Techniki Okrętowej, w skład którego wchodził autor pracy.

Celem pomiarów drgań wzdłużnych linii wałów (rys.2) jest weryfikacja metody obliczeniowej zaprezentowanej w pracy. Pomiar drgań nadbudówki (rys.3) wykazuje istnienie istotnej korelacji z drganiami skrętno-wzdłużnymi linii wałów.

Częstotliwość wzdłużnych drgań własnych linii wałów wyznaczono na podstawie rezonansu 9. i 12. harmonicznej. Wartość jej wynosi ≈ 10.96 Hz.

5. WNIOSKI

Pomiary weryfikacyjne wykazały, że jednym z podstawowych źródeł wymuszeń drgań statków są drgania wzdłużne linii wałów sprzężone z drganiami skrętnymi. W fazie projektowania jednostek morskich konieczne jest uwzględnianie ich wpływu na podstawowe konstrukcje okrętu.

Zaprezentowana procedura pozwala na poprawne oszacowanie poziomów drgań wzdłużnych linii wałów, za pomocą standardowych programów komputerowych. Identyfikacja tych drgań jest niezbędna dla wyznaczenia reakcji na łożysku oporowym i na łożyskach ramowych silnika.

LITERATURA

- [1] Brydum L., Jakobsen S.B. : Vibration characteristics of two - stroke low speed diesel engines. MAN - B&W Diesel a/s, Copenhagen 1987.
- [2] Jenzer J.: Vibration analysis for modern ship machinery. Sulzer, Winterthur 1987.

- [3] Tsuda K., Teon H.: Theoretical analysis of coupled torsional - axial undamped vibration of marine engine shafting. Japan Shipbuilding & Marine Engines, vol.4, no.5, 1969.
- [4] Volcy G.C., Garnier H., Masson J.C.: Chain of static and vibratory calculations of propulsive plants and engine rooms of ships. Bureau Veritas, Paris 1976.

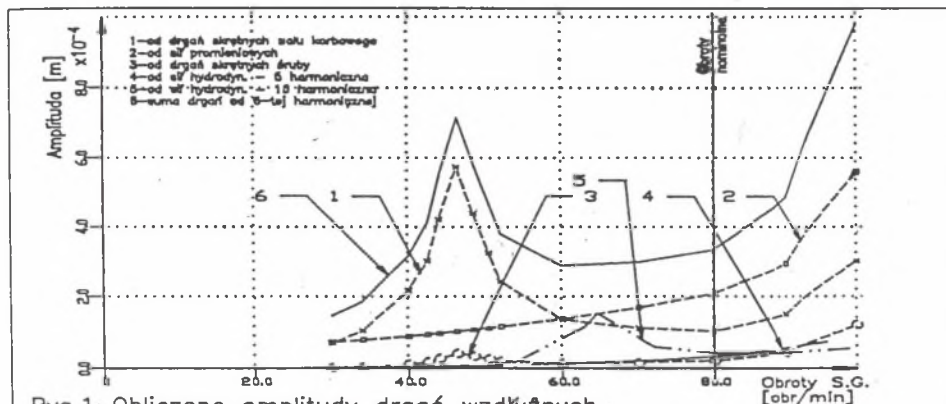
Recenzent: Doc. dr hab. Andrzej Buchacz

Wpłynęło do Redakcji dnia 6. 09. 1992

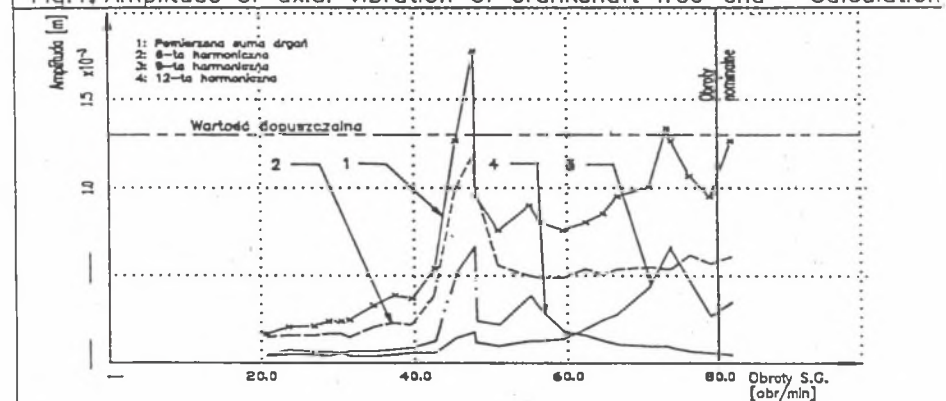
Abstract

The purpose of the present paper is to study coupled axial vibration of marine slow speed engine shafting. Torque moments and radial forces in the crankshaft are main type of acting axial vibration. Axial vibration is transmitted to another ship's structure through thrust bearing. In the paper is used a linear finite element method.

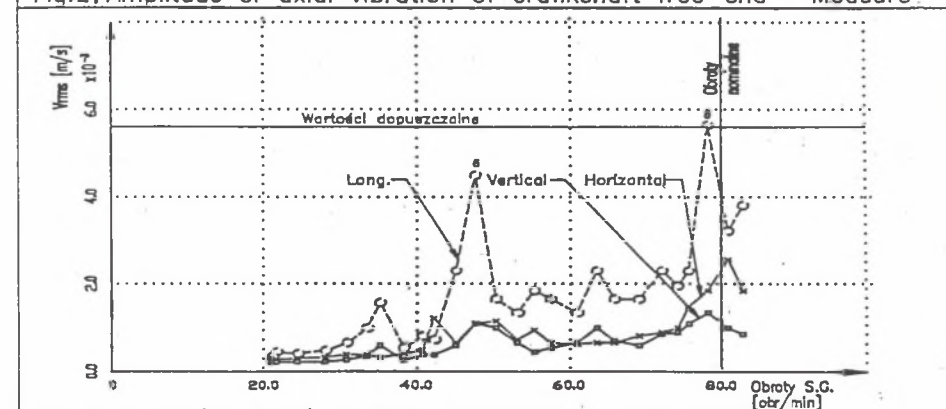
The present writer calculates geometrical characteristics for each crank for beam elements. Afterwards, beam model of crankshaft is used for calculates axial deformation coupled with torque moments and radial forces (Tab.1). Test results of complete calculations of axial vibration are given in the paper (Fig.1). The computer results were thoroughly investigated and some comparisons with experimental test enclosed (Fig.2). The results of velocity of ship's deckhouse are introduced (Fig.3) and showed importance to skill calculate this kind of vibration.



Rys.1. Obliczone amplitudy drgań wzdłużnych
 Fig.1. Amplitude of axial vibration of crankshaft free-end - Calculation



Rys.2. Pomierzone amplitudy drgań wzdłużnych wolnego końca wału.
 Fig.2. Amplitude of axial vibration of crankshaft free-end - Measure



Rys.3. Prędkości drgań pokładu namiarowego nadbudówki
 Fig.3. Velocity of vibration of the deckhouse - Measurement