ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994

Seria: MECHANIKA z. 116 Nr kol. 1231

Jerzy ŚWIDER, Józef WOJNAROWSKI
Katedra Mechaniki Robotów i Maszyn Roboczych Ciężkich
Politechnika Śląska

WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYK AMPLITUDOWO - CZĘSTOŚCIOWO - FAZOWYCH MODELU UKŁADU WIBROIZOLACJI KABINY OPERATORA SUWNICY

Streszczenie. W pracy przedstawiono metodykę postępowania i przykład wyznaczania charakterystyk dynamicznych układów wibroizolacji kabin operatorów suwnic przy zastosowaniu metody macierzowych grafów hybrydowych i utworzonego specjalistycznego oprogramowania. W szczególności opracowano wersję konwersacyjną tworzenia baz danych, współpracującą z Użytkownikiem w trybie zadawania pytań o strukturze modelowania układu, tworzącą samoczynnie zbiór danych do programu obliczeniowego, a także wersję edycyjnego wprowadzania zbioru danych cyfrowych o układzie, polegającą na wcześniejszym przygotowaniu zdefinowanej tablicy, zawierającej informacje o modelowanym układzie, niezbędne do utworzenia przez pakiet zbioru danych cyfrowych o strukturze, jak w wersji konwersacyjnej. Rozwiązano przykładowe zadanie badania opracowaną metodą dynamiki złożonego układu fizycznego, wyznaczając zbiór charakterystyk dynamicznych modelu układu wibroizolacji kabiny operatora suwnicy. Badany układ traktowano jako wielowymiarowy, wielowejściowy i wielowyjściowy układ dynamiczny, niejednorodny z uwagi na sprzężenia zmiennych mechanicznych.

DETERMINATION OF THE DYNAMICAL CHARACTERISTICS OF THE SYSTEM THE VIBROPROTECTIVE MODEL OF THE OVERHEAD CRANE OPERATOR'S CAGE

Summary. The papers deals with the formulation of the matrix hibrid graph method to test the dynamics of the vibro-protective system of the overhead crane operator's cage. The system that has been tested is regarded to be multidimensional, multiinput and multioutput dynamical system, heterogenous due to the configuration of mechanical variables.

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЗНАЧЕНИЙ МОЩНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО МИКСЕРА В ПРОЦЕССЕ СМЕШАНИЯ ПСЕВДОПЛАСТИЧНОЙ НЕНЬЮТОНОВСКОЙ ЖИДКОСТИ

Резюме. Работа касается поставления матрично-гибриддого графа, исследования динамики виброизоляцонной системы кабины оператора мостобого крана. Исследованную системы россмотривается как многомерной, многовходный и многовыходный динамической системы, которая являются неоднородной, ычитивая как переменые механические связи.

1. WPROWADZENIE

Układ wibroizolacji kabiny operatora suwnicy jest integralnym elementem złożonego układu mechanicznego, którym jest suwnica, działająca w konkretnych warunkach eksploatacyjnych, poddana działaniu rzeczywistych wzbudzeń kinematycznych, pochodzących od drgań podłoża hali fabrycznej oraz warunków współdziałania kół jezdnych i jezdni, a także wymuszeń dynamicznych, wynikających z wirowania elementów niewyważonych oraz realizowanego przez suwnicę procesu podnoszenia i opuszczania ładunków.

W pracy przedstawiono przykład zastosowań metodyki badania układów wibroizolacji kabiny operatora suwnicy przy użyciu macierzowych grafów hybrydowych [1]. Układem technicznym, przyjętym jako obiekt analizy, jest suwnica K1 wraz z podukładem wibroizolacji kabiny operatora, działająca w zakładach "Konstal" w Chorzowie [2].

W każdym przypadku tok postępowania przy zastosowaniu metody macierzowych grafów hybrydowych do wyznaczania zespolonych charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowo-fazowych (a-c-f) można sprowadzić do następującego algorytmu:

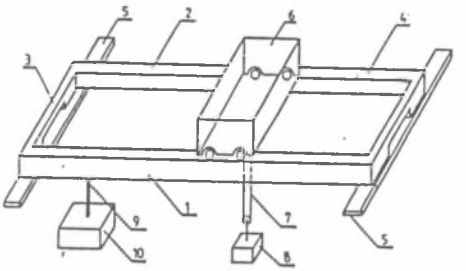
Tablica 1

1) Przyjęcie układu technicznego jako obiektu badań;
2) Idealizacja obiektu badań do modelu fenomenologicznego;
3) Transformacja modelu fenomenologicznego obiektu w macierzowy graf hybrydowy;
   3.1) Transformacja topologiczna;
   3.2) Transformacja parametrów fizykalnych;
4) Algebraizacja mgh;
5) Transformacja mgh → mgp;
6) Redukcja mgp do macierzowej ścieżki prostej;
7) Obliczenie cyfrowe właściwej zespolonej charakterystyki a-c-f;
8) Interpretacja wyników.

W zależności od rodzaju badanego obiektu i postawionego zadania, szczegółowe postępowanie w krokach 3) i 5) ulega odpowiednim modyfikacjom.

W ramach pracy przyjęto ciąg modeli obiektu badań, dokonano identyfikacji parametrów geometrycznych, sprężystych oraz inercyjnych modeli, utworzono niezbędne bazy danych cyfrowych, dokonano obliczeń numerycznych i wyznaczono zbiory charakterystyk a-c-f przyjętych do analizy modeli.

Rozważany układ suwnicy, przedstawiony poglądowo na rys.1, składa się z belek pomostowych 1 i 2, czołownic 3 i 4, wózka 6, zespołu lin 7, ładunku 8, układu wibroizolacji kabiny operatora 9 i kabiny wraz z operatorem 10. Cały układ suwnicy może poruszać się po jezdni podsuwnicowej 5. Tak złożony obiekt badań poddano dyskretyzacji, tworząc zdyskretyzowane modele samej suwnicy, wózka suwnicy oraz układu wibroizolacji kabiny operatora.



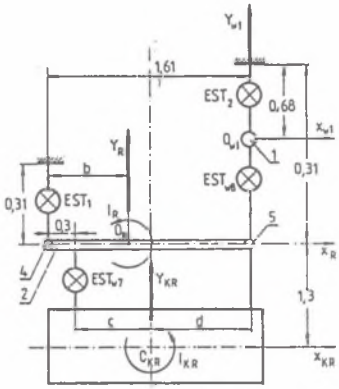
Rys.1. *Poglądowy schemat suwnicy wraz z układem wibroizolacji kabiny operatora*

Fig.1. *Pictorial diagram of the overhead crane and a vibroisolating system of the operator's cage*

Celem utworzenia zdyskretyzowanego modelu suwnicy z rys.1 podzielono jego belki dźwigara na szesnaście sztywnych elementów masowych, pomiędzy którymi wyróżniono oznaczone symbolicznie elementy sprężysto-tłumieniowe EST_E. Czołownice oraz wózek modelowano w postaci brył o sześciu stopniach swobody każda, sprzężonych z układem dźwigarów. Sztywność jezdni podsuwnicowej modelowano czterema elementami sprężysto-tłumieniowymi EST_J. Sztywność układu liniowego, na którym podwieszono ładunek, modelowano elementem sprężysto-tłumieniowym EST_L. Model ten poddano działaniu wymuszeń dynamicznych $F_w(t)$ oraz wymuszeń kinematycznych $W_{ik}(t)$ (i=1,2,3,4). Na podstawie charakterystyki techniczno-ruchowej przyjęto parametry suwnicy. Parametry te są następujące: masa suwnicy m_s=31500 [kg], masa belki dźwigara 1 m_{B1}=10758 [kg], masa belki dźwigara 2 m_{b2}=9892 [kg], geometryczny moment bezwładności przekroju dźwigara względem osi x: $I_x=7.71\ 10^{-4}[m^4]$, geometryczny moment bezwładności przekroju dźwigara względem osi y: $I_y=1.81\ 10^{-3}[m^4]$, geometryczny moment bezwładności przekroju

dźwigara względem osi z: I_z=6.53 10^{-3}[m^4], rozpiętość mostu suwnicy l=32 [m], pole przekroju dźwigara A=2.9 10^{-2}[m^2], rozstaw kół wózka b=1.8 [m].

Na rys.2 przedstawiono model podwieszenia kabiny operatora suwnicy na układzie wibroizolacji.



Rys.2. *Model podwieszenia kabiny operatora suwnicy na układzie wibroizolacji*

Fig.2. *Model of the vibroisolation operator's cage*

2. OBLICZENIA NUMERYCZNE CHARAKTERYSTYK AMPLITUDOWO-CZĘSTOTLIWOŚCIOWO-FAZOWYCH WYBRANEGO MODELU UKŁADU WIBROIZOLACJI KABINY OPERATORA SUWNICY

Do obliczeń przyjęto ciąg trzech wartości sztywności wibroizolacji 7 i 8 (10^4 [N/m], 10^5 [N/m] i 10^6 [N/m]), oddziaływanie wymuszeń kinematycznych 4 i 5 oraz sztywność wibroizolatora $c_w=10^5$ [N/m]. Przy tej sztywności wyznaczono siły bezwładności i przemieszczenia pionowe kabiny, siły w sprężynach wibroizolatora, ugięcia względne sprężyn wibroizolatorów.

Przyjmując równoczesne działanie wymuszeń kinematycznych 4 i 5 o parametrach: wymuszenie 4 - amplituda 0.2 10^{-4} [m], kąt przesunięcia fazowego 0°, wymuszenie 5 - amplituda 0.3 10^{-4} [m], kąt przesunięcia fazowego 0°, wyznaczono całkowite przemieszczenia środka masy kabiny oraz działającą na kabinę siłę bezwładności.

Niezbędne dane numeryczne do pakietu GRAHYB zestawiono w tablicy 2.

Tablica 2

```
2  1
4  4  9  1
1 31500.0 25000.0 2400000.0 2200000.0
6  1
9  16.2  -0.7  1.95  0.0  0.0  0.0
10  -16.2  -0.7  1.95  0.0  0.0  0.0
11  -16.2  -0.7  -1.95  0.0  0.0  0.0
12  16.2  -0.7  -1.95  0.0  0.0  0.0
13  0.5  -0.7  0.17  0.0  0.0  0.0
14  0,5  -0.7  1.78  0.0  0.0  0.0
18  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0
2  160.0  0.0  0.0  0.0
2  0
13  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0
15  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0
3  219.0  20.0  25.0  30.0
4  0
14  0.0  0.0  0.34  0.0  0.0  0.0
15  0.0  0.0 -1.27  0.0  0.0  0.0
16  0.0  0.0 -1.27  0.0  0.0  0.0
17  0.0  0.0  0.04  0.0  0.0  0.0
 4  1100.0  400.0  400.0  400.0
2  0
16  0.0  1.3 -0.75  0.0  0.0  0.0
17  0.0  1.3  0.56  0.0  0.0  0.0
5
1
9  0.0  0.0  0.0
6
1
10  0.0  0.0  0.0
7
1
11  0.0  0.0  0.0
8  1  12  0.0  0.0
 9 (1.0E12,0.0) (1.6E7,0.0) (1.0E12,0.0) (0.0,0.0) (0.0,0.0) (0.0,0.0)
10 (1.0E12,0.0) (1.6E7,0.0) (1.0E12,0.0) (0.0,0.0) (0.0,0.0) (0.0,0.0)
11 (1.0E12,0.0) (1.6E7,0.0) (1.0E12,0.0) (0.0,0.0) (0.0,0.0) (0.0,0.0)
12 (1.0E12,0.0) (1.6E7,0.0) (1.0E12,0.0) (0.0,0.0) (0.0,0.0) (0.0,0.0)
13 (2.0E9,0.0) (1.36E9,0.0) (2.0E09,0.0) (0.0,0.0) (0.0,0.0) (0.0,0.0)
14 (1.0E09,0.0) (1.5E9,0.0) (1.0E09,0.0) (0.0,0.0) (0.0,0.0) (0.0,0.0)
15 (1.0E12,0.0) (1.0E5,0.0) (1.0E12,0.0) (0.0,0.0) (0.0,0.0) (0.0,0.0)
16 (1.0E12,0.0) (1.0E12,0.0) (1.0E12,0.0) (0.0,0.0) (0.0,0.0) (0.0,0.0)
17 (1.0E12,0.0) (1.0E5,0.0) (1.0E12,0.0) (0.0,0.0) (0.0,0.0) (0.0,0.0)
5.0  0.1  100    0  0  0  1  0  0  0  0
```

Zestawione w tablicy 2 dane liczbowe przygotowano zgodnie z wymaganiami pakietu GRAHYB [1], ujętymi w tablicy 3.

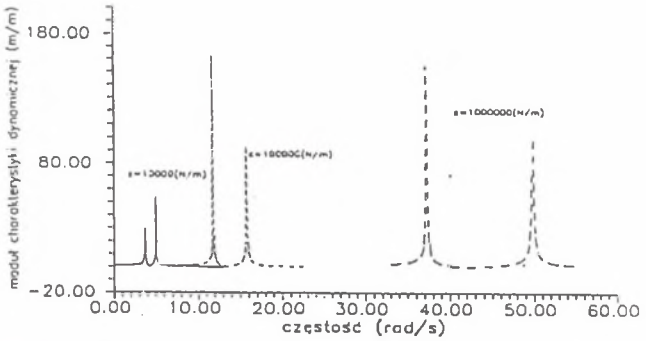
Tablica 3

Nr wiersza w pętli	Pozycja w wierszu	Opis parametrów (r - liczba rzeczywista) (c - liczba całkowita) (z - liczba zespolona)
SEGMENT DANYCH PODSTAWOWYCH		
1	1	rodzaj zagadnienia 1 - płaskie, 2 - przestrzenne
1	2	rodzaj wprowadzanych kątów 1 - kąty pomiędzy osiami elementów układu 2 - kąty Eulera obrotów układu
2	1	c) liczba elementów inercyjnych układu
2	2	c) liczba wymuszeń biegunowych
2	3	c) liczba elementów sprężysto-tłumieniowych
2	4	c) liczba wymuszeń przepływowych
PĘTLA CZYTANIA KOINCYDENCJI ELEMENTÓW INERCYJNYCH UKŁADU		
1	1	c) numer elementu inercyjnego
1	2	r) wartość masy
1	3 opcj.do 5	r) wartość momentu bezwładności (opcjonalnie względem trzech osi)
2	1	c) liczba elementów sprężysto-tłumieniowych zaczepionych na danym elemencie inercyjnym
2	2	c) liczba wymuszeń przepływowych działających na dany element inercyjny
PĘTLA WSPÓŁRZĘDNYCH I KĄTÓW		
1	1	c) numer elementu sprężysto-tłumieniowego; następnie wg numeracji nr wymuszenia przepływowego
1	2 do 3 opcj.do 4	r) współrzędne zaczepienia elementu sprężysto-tłumieniowego na elemencie inercyjnym lub współrzędne przyłożenia wymuszenia przepływowego
1	4 opcj.5 do 7	r) kąty pomiędzy osiami elementów

cd. tablicy 3

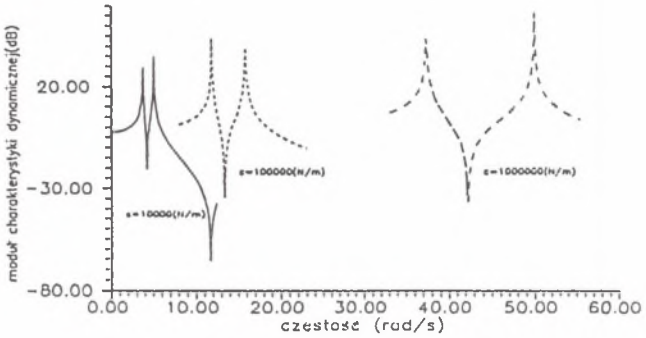
PĘTLA KOINCYDENCJI WYMUSZEŃ BIEGUNOWYCH UKŁADU ORAZ KĄTÓW POMIĘDZY OSIAMI TYCH WYMUSZEŃ A OSIAMI ELEMENTÓW SPRĘŻYSTO-TŁUMIENIOWYCH		
1	1	c) numer wymuszenia biegunowego
2	1	c) liczba elementów sprężysto-tłumieniowych, na który działa dane wymuszenie biegunowe
3	1	c) nr elementu sprężysto-tłumieniowego, na które działa dane wymuszenie biegunowe
3	2	r) kąty pomiędzy osiami wymuszeń biegunowych a osiami elementów sprężysto-tłumieniowych
PĘTLA WARTOŚCI PARAMETRÓW SPRĘŻYSTYCH I TŁUMIĄCYCH		
1	1	i) nr elementu sprężysto - tłumiącego
1	2 do 3 opcj.2 do 4	c) wartości sprężystości i tłumienia w ruchu postępowym (sprężystość, tłumienie)
1	4 opcj.5 do 7	c) wartości sprężystości i tłumienia w ruchu obrotowym (sprężystość, tłumienie)
SEGMENT PARAMETRÓW STERUJĄCYCH		
1	1	r) wartość początkowa częstości
1	2	r) wartość przyrostu częstości w pętli
1	3	i) liczba kroków do wykonania w pętli
2	1 do 8	i) parametr kierujący obliczenia do jednej z ośmiu ścieżek programu

Na rys. 3÷6 przedstawiono charakterystyki a-c-f przestrzennego modelu układu suwnicy i kabiny operatora o modelu jak na rys.2.

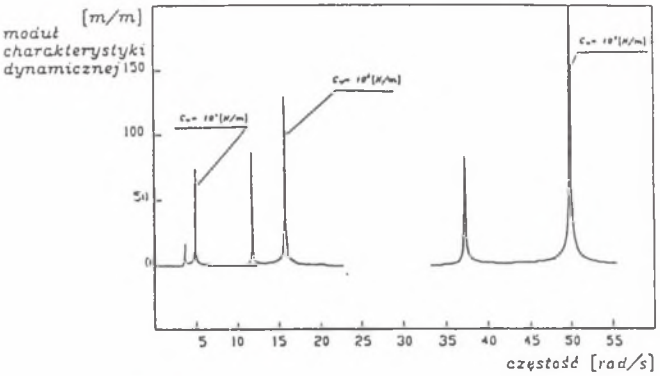


Rys.3. *Charakterystyka a-c-f przestrzennego modelu układu suwnicy i kabiny operatora*

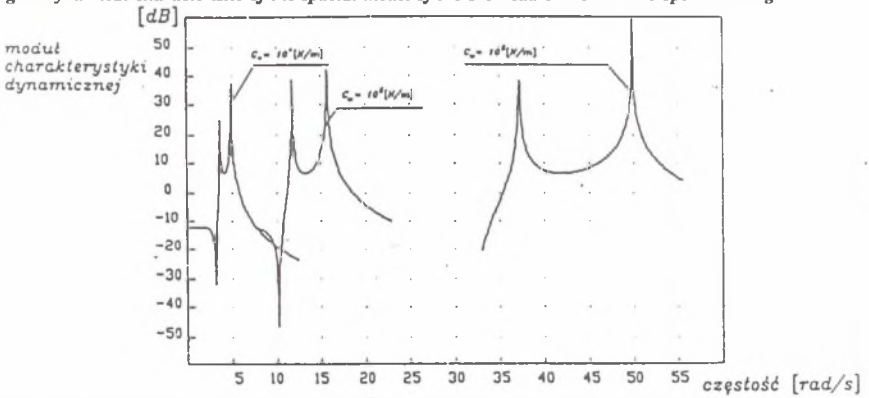
Fig.3. *Dynamical characteristic of the spacial model of the overhead crane and the operator's cage*



Rys.4. *Charakterystyka a-c-f przestrzennego modelu układu suwnicy i kabiny operatora*
Fig.4. *Dynamical characteristic of the spacial model of the overhead crane and the operator's cage*



Rys.5. *Charakterystyka a-c-f przestrzennego modelu układu suwnicy i kabiny operatora*
Fig.5. *Dynamical characteristic of the spacial model of the overhead crane and the operator's cage*



Rys.6. *Charakterystyka a-c-f przestrzennego modelu układu suwnicy i kabiny operatora*
Fig.6. *Dynamical characteristic of the spacial model of the overhead crane and the operator's cage*

3. ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

Zakładając równoczesne działanie wzbudzeń kinematycznych 4 i 5 na układ kabiny operatora suwnicy, przyjmując amplitudy wzbudzenia odpowiednio 0.2E-4[m] i 0.3E-4[m], wyznaczono bezwzględne, wypadkowe siły bezwładności i przemieszczenia środka masy kabiny operatora suwnicy, podwieszonej na układzie wibroizolacji, ze sprężynami o sztywnościach c=10E5 [N/m]. Stwierdzono, że dwie podstawowe częstości układu wibroizolacji kabiny operatora suwnicy leżą w zakresach ω_1=3.5 [rad/s] i ω_2=5 [rad/s], przy sztywności sprężyn wibroizolatorów c_w=10E4 [N/m]; ω_1'=11.8 [rad/s] i ω_2'=15.8 [rad/s], przy sztywności sprężyn wibroizolatorów c_w=10E5 [N/m] oraz ω_1''=37.5 [rad/s] i ω_2''=50 [rad/s], przy sztywności sprężyn wibroizolatorów c_w=10E6 [N/m]. Obserwuje się zatem zmiany częstości drgań własnych układu, proporcjonalne do pierwiastka z ilorazu sztywności sprężyny wibroizolatora (w tym przypadku $\sqrt{10}$). Zatem wpływ zmian sztywności na strefy rezonansowe badanego układu jest tak istotny, jak w przypadku układu jednomasowego z jednym elementem sprężystym. Maksymalną skuteczność układu wibroizolacji obserwuje się w strefie ω_0=11.8 [rad/s] przy c_w=10E4 [N/m], ω_0'=13.5 [rad/s] przy c_w=10E5 [N/m] oraz ω_0''=42 [rad/s] przy c_w=10E6 [N/m]. Wynika z tego wniosek, że możliwe jest obliczenie najskuteczniejszych parametrów sprężystych układu wibroizolacji, dostrajających układ do spodziewanych lub rozpoznanych badaniami rzeczywistych częstości wzbudzeń układu. Szerokości stref rezonansowych układu wibroizolacji kabiny są niewielkie - rzędu kilku rad/s - w każdym z rozważanych przypadków sztywności sprężyn wibroizolatorów, co może świadczyć o dużej skuteczności układu w przypadku izolacji kabiny od drgań pochodzących od wzbudzeń kinematycznych.

LITERATURA

[1] Świder J.: Macierzowe grafy hybrydowe w opisie drgających, złożonych układów mechanicznych. Zeszyty Politechniki Śląskiej, Mechanika, z. 106, Gliwice 1991.

[2] Praca NB-312/RMT-4/87 CPBP Nr 02.05 "Rozwój budowy, eksploatacji i badań maszyn roboczych ciężkich, w tym budowlanych". Podprogram 04: Niezawodność maszyn. Temat 04.09.01: "Opracowanie układów wibroizolacji kabin operatorów maszyn roboczych ciężkich", etap V, Gliwice 1990.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Maryniak

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1993 r.

Abstract

In the paper a new method of the analysis of dynamical systems by means of the matrix hybrid graphs has been presented. The formulated methods of the analisys of dynamical systems have been programmed and program packets have been implemented to IBM PC computers. Particulary, a conversational processing version of generating data bases has been worked out which cooperates with the user by asking questions about the structure of a model system and which automatically generates data sets required for a calculation program; also a version of the editional loading of digital sets of data about the system hea been created, consisting in the previous preparation of a defined problem board which contains information about the model system. This information is crucial to the generation of digital data sets by the packet, just as it is the care with the conversational processing version. Examples of testing the dynamics of complex physical characteristics of both the system and the vibro-protective model of the overhead crane operator's cage. The system that has been tested is regarded to be multidimensional, multiinput and multioutput dynamical system which is heterogeneous, due to the configuration of mechanical variables. The purpose of this research is to obtain satisfactory information about the dynamics of the object by making its dynamical charakteristics. It has been assumed that it is possible to test special models of vibrating systems, i.e: models characterised by linear dynamical couplings, which are both structurally and geometrically heterogeneous and which ara subjected to polar and flow sets of functions at the same time, with an arbitrary configuration of elements of the system, determined only by the coordinates of the convergence points of elements and by the angles between their axas.