ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1986
Seria: MECHANIKA z. 83 Nr kol. 879

Andrzej BUCHACZ, Jerzy ŚWIDER, Józef WOJNAROWSKI

BADANIE DRGAJĄCYCH UKŁADÓW DYNAMICZNYCH METODĄ GRAFÓW HYBRYDOWYCH

Część I. Wielowariantowy model dynamiczny przesiewacza

Streszczenie. Badany układ dynamiczny sprowadza się do modelu w postaci bryły sztywnej o sześciu stopniach swobody, podpartej sprężyście, poddanej działaniu wzbudzeń dynamicznych. Przyjęty model opisuje się wielkościami geometrycznymi, inercyjnymi, sprężystymi i dynamicznymi, traktowanymi jako parametry podlegające założonym zmianom. Tak przyjęty wielowariantowy model dynamiczny jest podstawą utworzenia grafu hybrydowego w postaci zbioru niezależnych konturów sprzężonych. Kontury te zawierają pełną informację zarówno o parametrach układu, jak i o jego strukturze, wyrażającej się wyróżnionym zbiorem elementów, ich relacji biegunowych i relacji sprzężeń.

Graf hybrydowy opisuje się zbiorem macierzy: sztywności dynamicznych cięciw, podatności dynamicznych gałęzi drzewa i rozpływu zmiennych biegunowych krawędzi. Macierze te są podzbiorami zbioru danych cyfrowych do obliczeń numerycznych.

Słowa kluczowe: Układ dynamiczny, przesiewacz, graf hybrydowy, kontur sprzężony, macierz sztywności dynamicznych, macierz podatności dynamicznych, macierz rozpływu zmiennych biegunowych.

1. Wprowadzenie

Stosowane w górnictwie przesiewacze działają w trudnych warunkach eksploatacyjnych. Jest to powodem częstych ich awarii. Obniżenie wydajności pracy zespołu przesiewaczy wynika nie tylko z postojów powodowanych awariami, lecz także ze zmian parametrów ich pracy, różnych od założonych w projekcie.

Rozróżnia się dwa zasadnicze typy przesiewaczy mechanicznych:

- przesiewacze liniowe, w których rzeszota powinny wykonywać prostoliniowy ruch drgający oraz
- przesiewacze kołowe, w których rzeszota powinny poruszać się ruchem postępowym o kołowych trajektoriach wszystkich punktów.

Rzeczywisty ruch rzeszot przesiewaczy podczas ich pracy często jednak różni się od teoretycznego. W takich przypadkach zmieniają się warunki prze-

siewania, co powoduje spadek wydajności oraz powstawanie niepożądanych odkształceń rzeszota, które można identyfikować poprzez badanie torów określonych jego punktów.

Przedmiotem niniejszej pracy jest przedstawienie metody umożliwiającej zarówno konstruktorom przesiewaczy, jak i ich użytkownikom szybkie i proste sprawdzenie wpływu założonych lub mogących wystąpić niesymetrii geometrycznych i dynamicznych przesiewacza na odchylenie torów jego punktów od toru teoretycznego.

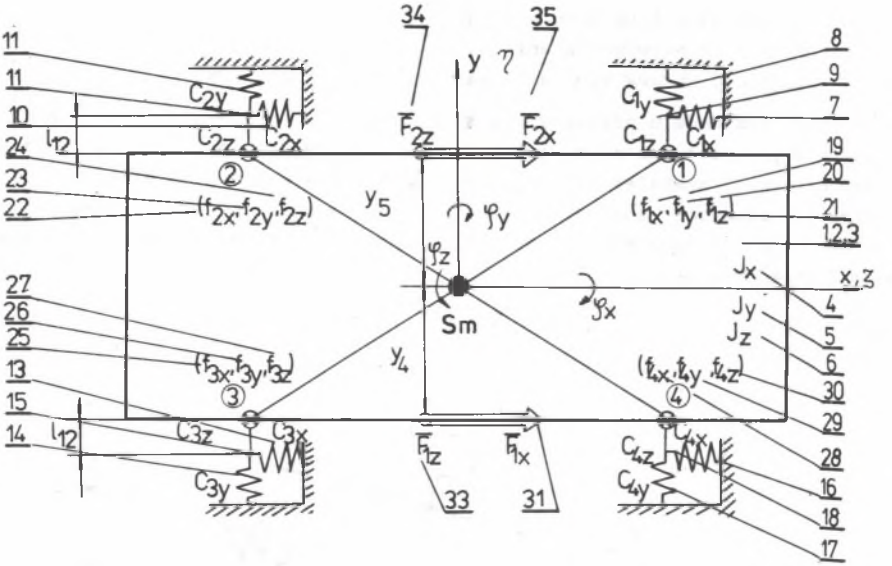
Przez niesymetrię geometryczną przesiewaczy będziemy rozumieć odchylenie wymiarów położenia środka masy układu i rozstawienia podpór sprężystych od teoretycznych - założonych w projekcie. Przez niesymetrię dynamiczną rozumiemy tu niesymetryczne oddziaływanie sił wymuszających na lewą i prawą burtę przesiewacza.

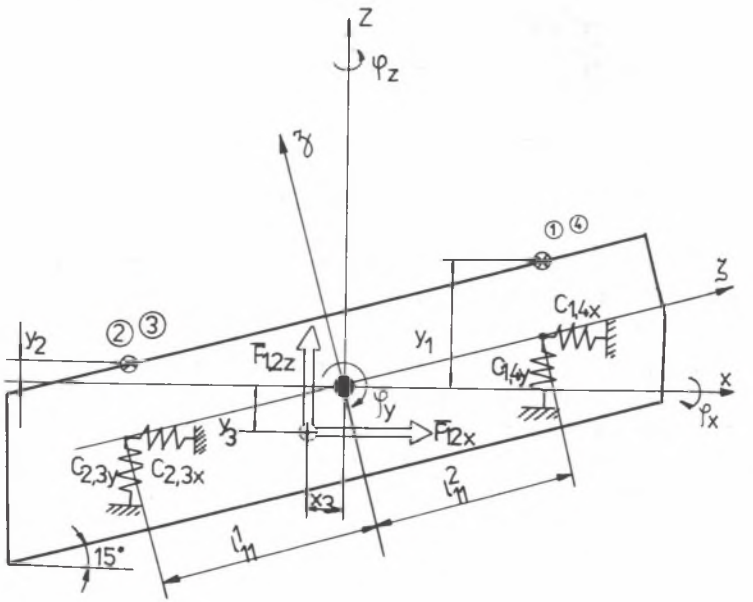
Do badań wpływu tych niesymetryczności na ruch przesiewacza zastosowano niekonwencjonalną metodę grafów hybrydowych, jednak rozważania w tej pracy ograniczono do przesiewacza kołowego WK-2. Proponowana tu metoda obliczeń charakterystyk dynamicznych oraz trajektorii ruchu wybranych punktów rzeszota przesiewacza jest szczególnie wygodna w praktycznym stosowaniu, gdyż nie wymaga układania i późniejszego rozwiązywania różniczkowych równań ruchu. Podstawą tworzenia zbiorów danych cyfrowych jest tu model sieciowy zwany grafem hybrydowym, którego struktura nie ulega zmianie, mimo zmian parametrów badanego modelu dynamicznego. Wynikiem kompleksowych obliczeń dynamicznych każdego przesiewacza może być utworzenie katalogu objawów jego niesymetrii. Charakterystyczne niesymetrie ruchu rzeszota przesiewacza mogą w ten sposób być identyfikowane podczas eksploatacji przez jego obsługę i w porę eliminowane.

2. Przyjęcie wielowariantowego modelu dynamicznego badanego układu

Badany przesiewacz WK-2 sprowadzono do modelu o sześciu stopniach swobody (rys. 1). W modelu tym uwzględniono masę ruchomej części przesiewacza m, momenty bezwładności względem trzech osi układu współrzędnych J_x, J_y, J_z, sztywności baterii sprężyn w kierunkach trzech osi układu współrzędnych c_{ix}, c_{iy}, c_{iz} (i=1,2,3,4) oraz wymuszenie dynamiczne. Przyjęto, że siły wzbudzające, leżące stale w płaszczyźnie xz, przenoszone są z wirujących wałów niewyrównoważonych, poprzez łożysko na burty przesiewacza (rys. 1). Założono następującą postać funkcji sił wzbudzających:

$$\begin{cases} F_{1x} = F_{2x} = m_r \cdot \rho\omega^2 \cos(\omega t + \phi_1), \\ F_{1z} = F_{2z} = m_r \rho\omega^2 \sin(\omega t + \phi_2), \end{cases} \tag{1}$$


34
35
y
11
11
10
24
23
22
27
26
25
13
15
14
l_{12}
C_{2y}
C_{2z}
C_{2x}
F_{2z}
F_{2x}
C_{1y}
C_{1z}
C_{1x}
8
9
7
19
20
21
12,3
(f_{2x}, f_{2y}, f_{2z})
(f_{1x}, f_{1y}, f_{1z})
y_5
φ_y
φ_z
φ_x
Sm
J_x
J_y
J_z
x, z
4
5
6
(f_{3x}, f_{3y}, f_{3z})
(f_{4x}, f_{4y}, f_{4z})
y_4
30
29
28
16
18
17
C_{3z}
C_{3x}
C_{3y}
F_{1z}
F_{1x}
C_{4z}
C_{4x}
C_{4y}
33
31


Z
φ_z
y
z
x
φ_x
φ_y
y_2
y_1
y_3
F_{12z}
F_{12x}
$C_{1,4x}$
$C_{1,4y}$
$C_{2,3y}$
$C_{2,3x}$
x_3
l_{11}^1
l_{11}^2
15°

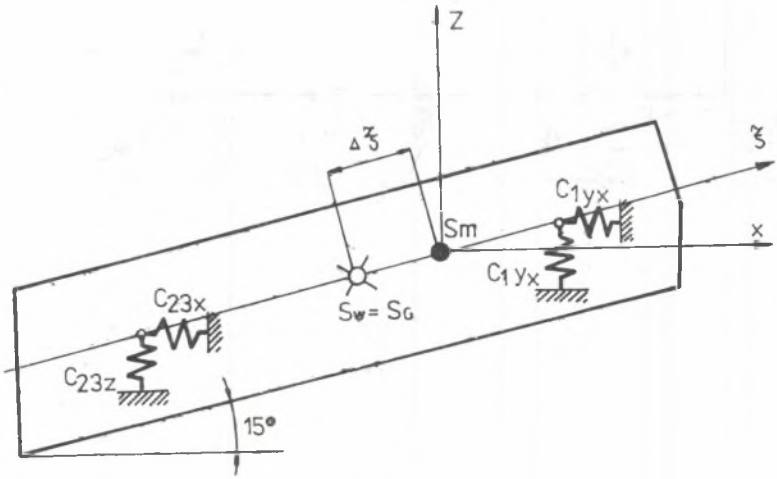
Rys. 1

gdzie:

dolny indeks 1 lub 2 oznacza siłę przenoszoną na lewą lub prawą burtę,
m_r - niewyrównoważoną masę wirującą[1],
ϱ - promień niewyrównoważenia[1],
ω - częstość kołową wirowania wału niewyrównoważonego.

W przyjętym modelu przesiewacza WK-2 wyróżniono ponadto cztery "punkty pomiarowe", usytuowane na burtach, przed bateriami sprężyn. Punkty te oznaczono na rys. 1 symbolem ⊗ i ponumerowano odpowiednio od 1 do 4.

Celem prowadzonej analizy numerycznej jest wyznaczenie trajektorii ruchu wyróżnionych "punktów pomiarowych" w przypadku różnych wariantów niesymetrii geometrycznej.



Rys. 2

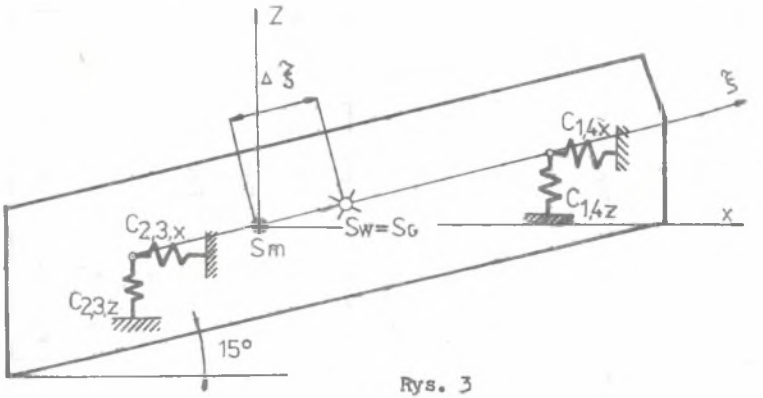
Do cyfrowego badania drgań modelu dynamicznego przesiewacza WK-2 zastosowano metodę grafów hybrydowych [2, 3].

Metoda ta polega na dokonaniu:

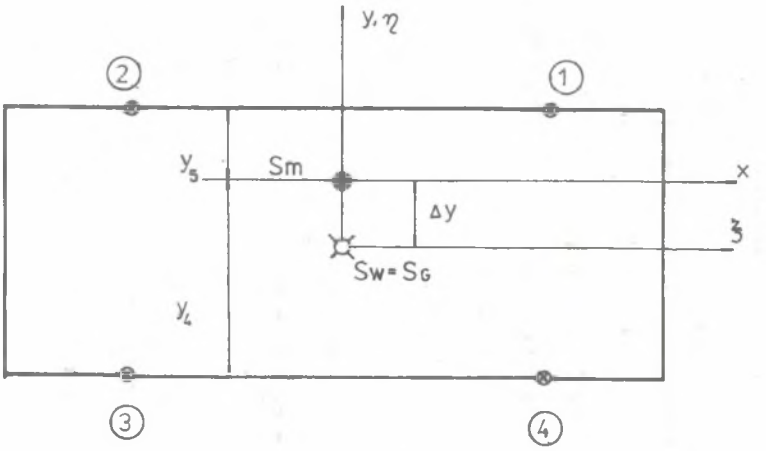
- transformacji modelu dynamicznego przesiewacza w jego graf hybrydowy,
- macierzowego opisu utworzonego grafu,
- utworzenia zbiorów danych do programów wyznaczających poszukiwane parametry odpowiedzi układu na zadane wzbudzenia dynamiczne,
- obliczeń cyfrowych.

Opis użytych do obliczeń programów zamieszczono w [3].

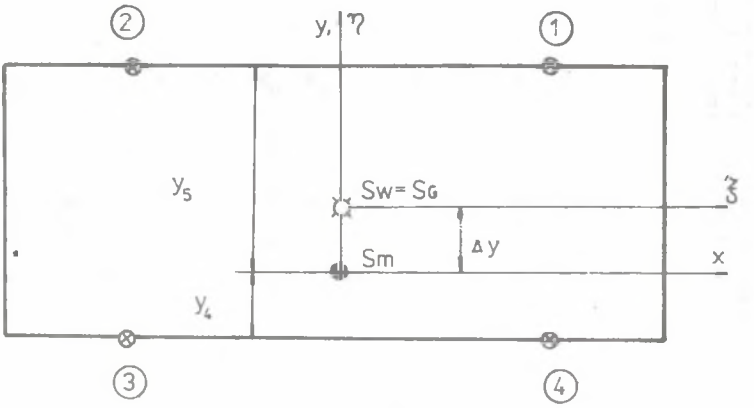
[1] Szczegółowe obliczenia znaleźć można w pracy [1].



Rys. 3



Rys. 4



Rys. 5

Tablica 1

Nr wariantu	Środek masy S_m	Środek sprężystości S_g	Środek zaczepienia wypadkowej siły wzbudzającej S_W	Sztywność baterii sprężyn c_1, c_2, c_3, c_4	Fazy sił wzbudzających ϕ_1, ϕ_2	Amplitudy sił wzbudzających F_1, F_2	
1	$S_m \neq$	$S_G \neq$	S_W	$c_1 = c_2 = c_3 = c_4$	$\phi_1 = \phi_2$	$F_1 = F_2$	Por. rys. 1
2	$S_m =$	$S_G =$	S_W	$c_1 = c_2 = c_3 = c_4$	$\phi_1 = \phi_2$	$F_1 = F_2$	Por. rys. 1
3	$S_m =$	$S_G =$	S_W	$c_1 = c_2 = c_3 = c_4$	$\phi_1 = \phi_2 + 10^\circ$	$F_1 = F_2$	Por. rys. 1
4	$S_m =$	$S_G =$	S_W	$c_1 = c_2 = c_3 = c_4$	$\phi_1 = \phi_2$	$F_1 = 1{,}1\ F_2$	Por. rys. 1
5	$S_m =$	$S_G =$	S_W	$c_1 = c_2 = c_3 = c_4$	$\phi_1 = \phi_2 + 10^\circ$	$F_1 = 1{,}1\ F_2$	Por. rys. 1
6	$S_m =$	S_G	S_W	$c_1 = c_2 = c_3 = c_4$	$\phi_2 = \phi_1 + 10^\circ$	$F_1 = 1{,}1\ F_2$	Por. rys. 1
7	$S_m =$	$S_G + \Delta\xi =$	$S_W\ \Delta\xi$	$c_1 = c_2 = c_3 = c_4$	$\phi_1 = \phi_2$	$F_1 = F_2$	Por. rys. 1 i 2
8	$S_m =$	$S_G - \Delta\xi =$	$S_W - \Delta\xi$	$c_1 = c_2 = c_3 = c_4$	$\phi_1 = \phi_2$	$F_1 = F_2$	Por. rys. 1 i 3
9	$S_m =$	$S_G + \Delta y =$	$S_W + \Delta y$	$c_1 = c_2 = c_3 = c_4$	$\phi_1 = \phi_2$	$F_1 = F_2$	Por. rys. 1 i 4
10	$S_m =$	$S_G - \Delta y =$	$S_W - \Delta y$	$c_1 = c_2 = c_3 = c_4$	$\phi_1 = \phi_2$	$F_1 = F_2$	Por. rys. 1 i 5
11	$S_m =$	$S_G =$	S_W	$c_1 = 1{,}3\ c_2 = 1{,}3\ c_3 = 1{,}3\ c_4$	$\phi_1 = \phi_2$	$F_1 = F_2$	Por. rys. 1
12	$S_m =$	$S_G =$	S_W	$c_1 = c_2 = 1{,}3\ c_3 = 1{,}3\ c_4$	$\phi_1 = \phi_2$	$F_1 = F_2$	Por. rys. 1
13	$S_m =$	$S_G =$	S_W	$c_1 = c_3 = 1{,}3\ c_2 = 1{,}3\ c_4$	$\phi_1 = \phi_2$	$F_1 = F_2$	Por. rys. 1
14	$S_m =$	$S_G =$	S_W	$c_1 = c_4 = 1{,}3\ c_2 = 1{,}3\ c_3$	$\phi_1 = \phi_2$	$F_1 = F_2$	Por. rys. 1

3. Sieciowy model przesiewacza

W celu utworzenia grafu hybrydowego modelu dynamicznego przesiewacza w tablicy 2 zestawiono[1] i uporządkowano jego parametry, dokonując odpowiedniego ich rozdzielenia pomiędzy elementy drzewa i przeciwdrzewa.

Graf hybrydowy modelu przesiewacza jest podstawą utworzenia zbioru niezależnych konturów sprzężonych [3], które zestawiono w tablicy 3.

Do przeprowadzenia analizy numerycznej modelu przesiewacza, jego graf hybrydowy $\tilde{X}^{s}_{01}$ (por. tabl. 3) opisano następującymi macierzami:

- rozpływu zmiennych biegunowych ${}_{1}^{s}\tilde{B}$,
- sztywności dynamicznych cięciw ${}_{1}^{o}W$,
- podatności dynamicznych gałęzi drzewa ${}_{1}^{o}W$.

Tablica 2

NUMER ELEMENTU MODELU	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SYMBOL PARAMETRU ELEMENTU	m	m	m	J_x	J_y	J_z	c_{1x}	c_{1y}	c_{1z}	c_{2x}	c_{2y}	c_{2z}	c_{3x}	c_{3y}	c_{3z}	c_{4x}	c_{4y}	c_{4z}
PODZBIÓR ZBIORU KRAWĘDZI GRAFU	ELEMENTY DRZEWA GRAFU (GAŁĘZIE O PARAMETRACH INERCYJNYCH)						ELEMENTY PRZECIWDRZEWA GRAFU (CIĘCIWY O PARAMETRACH SPRĘŻYSTOŚCI BATERII SPRĘŻYN)											
NUMER ELEMENTU MODELU	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	35		
SYMBOL PARAMETRU ELEMENTU	f_{1x}	f_{1y}	f_{1z}	f_{2x}	f_{2y}	f_{2z}	f_{3x}	f_{3y}	f_{3z}	f_{4x}	f_{4y}	f_{4z}	F_{1x}	F_{2x}	F_{1z}	F_{2z}		
PODZBIÓR ZBIORU KRAWĘDZI GRAFU	ELEMENTY PRZECIWDRZEWA GRAFU (CIĘCIWY REPREZENTUJĄCE FIKCYJNE ELEMENTY SPRĘŻYSTE O ZEROWEJ SZTYWNOŚCI)												ELEMENTY PRZECIWDRZEWA GRAFU (CIĘCIWY REPREZENTUJĄCE SIŁY WYMUSZAJĄCE)					

[1] Szczegółowe obliczenia można znaleźć w pracy [1].

Tablica 3

$C = [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34]$,

$D = [1, 2, 3, 1, 2, 3, 1, 2, 3, 1, 2, 3, 1, 2, 3, 1, 2, 3, 1, 2, 3, 1, 2, 3, 1, 1, 3, 3]$,

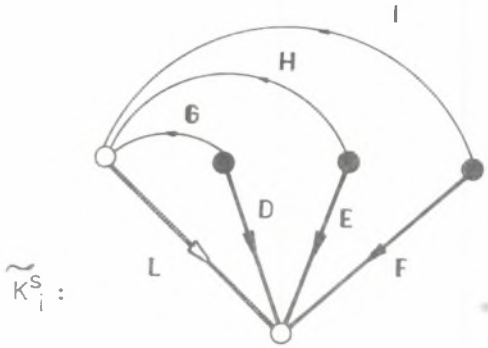
$E = [5, 4, 4, 5, 4, 4, 5, 4, 4, 5, 4, 4, 5, 4, 4, 5, 4, 4, 5, 4, 4, 5, 4, 4, 5, 4, 4]$,

$F = [6, 6, 5, 6, 6, 5, 6, 6, 5, 6, 6, 5, 6, 6, 5, 6, 6, 5, 6, 6, 5, 6, 6, 5, 6, 6, 5, 5]$,

$G = [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]$,

$$H = \Big[l_{11}^2 \sin\alpha,\ -l_{11}^2 \sin\alpha,\ (y_5+l_{12}),\ -l_{11}^1 \sin\alpha,\ l_{11}^1 \sin\alpha,$$
$$(y_5 + l_{12}), -l_{11}^1 \sin\alpha,\ l_{11}^1 \sin\alpha,\ -(y_4+l_{12}),\ l_{11}^2 \sin\alpha,\ -l_{11}^2 \sin\alpha,$$
$$-(y_4+l_{12}),\ y_1,\ -y_1,\ y_5,\ y_2,\ -y_2,\ y_5,\ y_2,\ -y_2,\ -y_4,\ y_1,\ -y_1,\ -y_4,$$
$$-y_3,\ -y_4,\ y_5\Big],$$

$$I = \Big[-(y_5+l_{12}),\ l_{11}^2 \cos\alpha,\ -l_{11}^2 \cos\alpha,\ -(y_5+l_{12}),\ -l_{11}^1 \cos\alpha,\ l_{11}^1 \cos\alpha,$$
$$(y_4+l_{12}),\ -l_{11}^1 \cos\alpha,\ l_{11}^1 \cos\alpha,\ (y_5 + l_{12}),\ l_{11}^2 \cos\alpha,\ -l_{11}^2 \cos\alpha,$$
$$-y_5,\ l_{11}^2 \cos\alpha,\ -l_{11}^2 \cos\alpha,\ -y_5,\ -l_{11}^1 \cos\alpha,\ l_{11}^1 \cos\alpha,\ y_4,\ -l_{11}^1 \cos\alpha,$$
$$l_{11}^1 \cos\alpha,\ y_4,\ l_{11}^2 \cos\alpha,\ -l_{11}^2 \cos\alpha,\ y_4,\ -y_5,\ x_3,\ x_3\Big].$$



Rys. do tablicy 3

Macierze $\overset{\circ}{W}$, $\underset{\circ}{W}$ oraz ${}_{1}{}^{s}\tilde{B}$ mają postać:

$$\overset{\circ}{W} = \mathrm{diag}\,[\![c_{1x}, c_{1y}, c_{1z}, c_{2x}, c_{2y}, c_{2z}, c_{3x}, c_{3y}, c_{3z}, c_{4x}, c_{4y}, c_{4z}, 0, 0, \ldots 0]\!]_{(28x28)}, \tag{2}$$

$${}_{1}\underset{\circ}{W} = \mathrm{diag}\,[\![(mp^2)^{-1}, (mp^2)^{-1}, (mp^2)^{-1}, (J_x p^{2^{-1}}), (J_y p^2)^{-1}, (J_z p^2)^{-1}]\!] \tag{3}$$

${}_{1}{}^{s}B =$

$-(y_5 + l_{12})$	$l_{11}^2 \sin\alpha$				1
$l_{11}^2 \cos\alpha$		$-l_{11}^2 \sin\alpha$		1	
	$-l_{11}^2 \cos$	$y_5 + l_{12}$	1		
$-(y_5 + l_{12})$	$-l_{11}^1 \sin\alpha$				1
$-l_{11}^1 \cos\alpha$		$l_{11}^1 \sin\alpha$		1	
	$l_{11}^1 \cos\alpha$	$y_5 + l_{12}$	1		
$y_4 + l_{12}$	$-l_{11}^1 \sin\alpha$				1
$-l_{11}^1 \cos\alpha$		$l_{11}^1 \sin\alpha$		1	
	$l_{11}^1 \cos\alpha$	$-y_4 + l_{12})$	1		
$y_4 + l_{12}$	$l_{11}^2 \sin\alpha$				1
$l_{11}^2 \cos\alpha$		$-l_{11}^2 \cos\alpha$		1	
	$-l_{11}^2 \cos\alpha$	$-(y_4 + l_{12})$	1		
$-y^5$	y_1				1
$l_{11}^2 \cos\alpha$		$-y_1$		1	

	$-l_{11}^{2}\cos\alpha$	y_5	1		
$-y_5$	y_2				1
$-l_{11}^{1}\cos\alpha$		$-y_2$		1	
	$l_{11}^{1}\cos\alpha$	y_5	1		
y_4	y_2				1
$-l_{11}^{1}\cos\alpha$		$-y_2$		1	
	$l_{11}^{1}\cos\alpha$	$-y_4$	1		
y_4	y_1				1
$l_{11}^{2}\cos\alpha$		$-y_1$		1	
	$-l_{11}^{2}\cos\alpha$	$-y_4$	1		
$-y_4$	$-y_3$				1
$-y_5$	$-y_3$				1
	x_3	$-y_4$	1		
	x_3	y_5	1		

(4)

i stanowią podstawę utworzenia zbioru danych do programu # GRAV.

4. Wnioski

Przyjęcie wielowariantowego modelu dynamicznego przesiewacza węgla, w przypadku zastosowań metody grafów hybrydowych sprowadza się do założenia rozważanych niesymetrii układu (por. rys. 2, 3, 4, 5 oraz tabl. 1), utworzenia grafu struktury układu (por. tabl. 3) i algebraizacji tego grafu (por. zależności (2), (3) i (4). Macierze (2), (3) oraz (4) stanowią podstawowy zbiór danych cyfrowych do obliczeń numerycznych trajektorii wszystkich przyjętych wariantów przesiewacza, a ich postać nie jest uzależniona od postaci niesymetrii badanego modelu.

LITERATURA

[1] Wpływ niesymetrii rozkładu parametrów przesiewaczy na zmiany trajektorii ruchu wybranych punktów rzeszota [W: Metoda ADS/2 wibroakustycznej diagnostyki przesiewaczy dla określenia prawidłowości pracy]. Praca naukowo-badawcza NB-107/RMT-4/83 wykonana na zlecenie Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach przez Instytut Mechaniki i PKM Politechniki Śląskiej, Gliwice 1983.

[2] Wojnarowski J.: Zastosowanie grafów w analizie drgań układów mechanicznych. PWN, Warszawa-Wrocław 1981.

[3] Świder J.: Grafy hybrydowe w modelowaniu drgających układów mechanicznych z liniowymi sprzężeniami. Praca doktorska, Pol. Śl., Gliwice 1981.

Wpłynęło do Redakcji 20.01.86.

Recenzent: Doc. dr inż. Roman KLAUS

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ПО МЕТОДУ ГИБРИДНЫХ ГРАФОВ

Часть I. МНОГОВАРИАНТНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОСЕВАТЕЛЯ

Р е з ю м е

В статье исследована динамическая система, которая сводится к модели в виде упругого тела с шести степенями свободы, с упругим подпором поверхностного действия динамических возмущений. Принятая модель описывается геометрическими, инерционными, упругими и динамическими величинами, принимаемыми в качестве параметров, подверженных заложенным изменениям. Таким образом созданная многовариантная динамическая модель является основной получения гибридного графа в виде множества независимых сопряженных контуров. Контуры эти дают полную информацию как о параметрах системы так и о её структуре, выделяющейся множеством элементов с их полными связными зависимостями.

Гибридный граф описывается множеством матриц: динамической жесткости хорд, динамической податливости рёбер дерева и расплыва полюсных переменных грани. Матрицы эти являются подмножествами множества цифровых данных для расчёта на ЭВМ.

Ключевые слова: Динамическая система, просеватель, гибридный граф, сопряженный контур, матрица жесткости, матрица динамической податливости, матрица расплыва полюсных переменных.

VIBRATORY SYSTEMS INVESTIGATION USING HYBRID GRAPES METHOD

Part I. Multivariant dynamic model of a screen

S u m m a r y

A dynamic system under consideration is a rigid bed with six degress of freedem, supperted elasticaly, excited dynamically the model is described by geometrical variables, inertial, elastic and dynamic, treated as parameters variated in given way. The multialternative dynamical model gives a base for the hybrid graph in the form of a set of independent conjugate circuits. These circuits content the whole information about the system parameters as well as about its structure expressed by the given of its elements, their polar relations and conjugate relations. The hybrid graph is disorbed by the set of matrices: dynamic stiffness of chords, dynamic flexibility of tree branches and flows of polar variables of odges These Matrices are subsets of the set of digital data of numerical calculations.