

Józef WOJNAROWSKI, Andrzej NOWAK

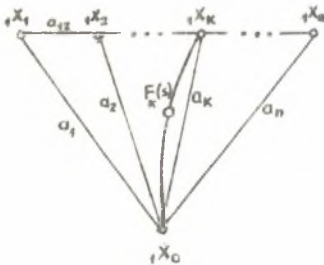
Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn

HIPERGRAFY I LICZBY STRUKTURALNE WYŻSZEJ KATEGORII
JAKO MODELE ZŁOŻONYCH UKŁADÓW ELIMINACJI DRGAŃ

Streszczenie. W pracy przedstawiono sposób modelowania układów eliminacji drgań, stosując metodę grafów i liczb strukturalnych wyższej kategorii. Korzystając z własności grafów i liczb strukturalnych kategorii drugiej oraz metod agregacji grafu pokazano wpływ zmian struktury układu na jego odpowiedź. Uzyskane wyniki potwierdziły efektywność tej metody dla układów o większej liczbie stopni swobody.

1. Wyznaczanie funkcji przejścia złożonych układów metodą hipergrafów i liczb strukturalnych kategorii drugiej

W pracy [6] sformułowano warunki nastrojenia układów eliminacji drgań za pomocą grafów i liczb strukturalnych kategorii pierwszej. Analizę bardziej złożonych struktur, można znacznie uprościć, stosując do ich opisu hipergrafy [2] oraz liczby strukturalne wyższej kategorii [1, 3, 4, 5].



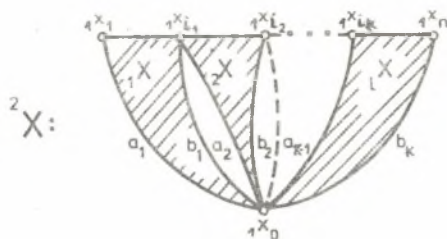
Rys. 1.1

W takim przypadku możliwa jest dekompozycja struktury układu przedstawionej grafem kategorii 1 na ciąg składowych hipergrafów (podgrafów - bloków) o znanych i prostych strukturach. Dokonując agregacji podgrafów uzyskuje się graf kategorii drugiej o jednym bloku, którego własności są znane.

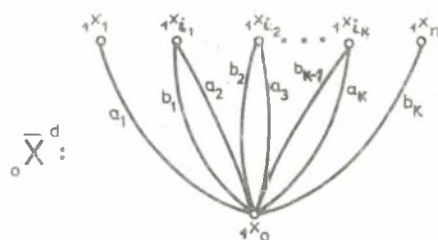
Dla ilustracji tej metody (graf rys.1.1) układu o n -stopniach swobody zastąpiono grafem kategorii drugiej o k -składowych blokach (rys. 1.2).

W celu wyznaczenia liczby strukturalnej grafu 2X wybiera się jeden ze szkieletów tego grafu (rys. 1.3). Wówczas liczba strukturalna kategorii drugiej ma postać [4]:

$${}^2A = {}_0A^d \left| \begin{array}{c} 1^A \\ \vdots \\ k^A \end{array} \right| \quad (1)$$



Rys. 1.2



Rys. 1.3

gdzie:

$${}_0A^d = [b_1 \ a_2] \cdot [b_2 \ a_3] \cdot \dots \cdot [b_{k-1} \ a_k]$$

jest liczbą strukturalną dopełniającą grafu szkieletowego

$${}_1A \quad (i = 1, 2, \dots, k)$$

jest liczbą strukturalną kategorii pierwszej i -tego bloku, symbol \downarrow oznacza operację przeniesienia wskaźników dolnych, co odpowiada obliczaniu pochodnej algebraicznej liczby strukturalnej.

W zastosowaniach najczęściej rozważa się przypadki, gdy:

- liczba składowych bloków $k=2$, wtedy

$${}_0A^d = [b_1 \ a_2] \quad \text{oraz} \quad {}_2A = \begin{bmatrix} 1^A b & 1^A \\ 2^A & 2^A a \end{bmatrix}; \quad (2)$$

- liczba składowych bloków $k=3$, wtedy

$${}_0A^d = [b_1 \ a_2] \cdot [b_2 \ a_3] = \begin{bmatrix} b_1 & b_1 & a_2 & a_2 \\ b_2 & a_3 & b_2 & a_3 \end{bmatrix}; \quad (3)$$

oraz

$${}^2A = \begin{bmatrix} 1^A_b & 1^A_b & 1^A & 1^A \\ 2^A_b & 2^A & 2^A_{ab} & 2^A_a \\ 3^A & 3^A_a & 3^A & 3^A_a \end{bmatrix} \quad (4)$$

Należy podkreślić, że grafy blokowe kategorii drugiej stosuje się głównie do opisu struktury układów o parametrach rozłożonych w sposób ciągły, przy czym analizę przeprowadza się na obciążonym grafie zastępczym zupełnym, którego krawędziom przyporządkowano podaności lub sztywności dynamiczne podukładów [3, 5].

Jeżeli złożony układ mechaniczny jest połączeniem elementów o parametrach skupionych i ciągłych, to również opisujemy go grafem kategorii drugiej, tak że metodę tę można uważać za ogólną.

Funkcje charakterystyczne układu w reprezentacji liczb strukturalnych i grafów wyższej kategorii daje się łatwo wyznaczyć z pominięciem żmudnego na ogół etapu wyszukiwania wszystkich drzew grafu kategorii pierwszej. Funkcja przejścia przyjmuje tutaj postać:

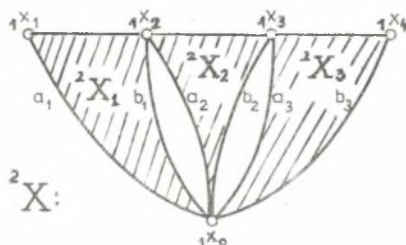
$$H_{ik}(s) = \frac{\text{Sim}({}^2A_{a_i}, {}^2A_{b_k})}{\det {}^2A_{b_k}} \cdot z_{b_k} \quad (5)$$

gdzie:

$${}^2A_{b_k} \equiv \frac{\partial A}{\partial b_k}, \quad {}^2A_{a_i} \equiv \frac{\partial A}{\partial a_i}$$

symbol \equiv oznacza równość strukturalną liczby kategorii drugiej 2A z liczbą strukturalną kategorii pierwszej.

Wyznamy funkcje przejścia dla układu dyskretnego modelowanego grafem o trzech blokach (rys. 2) przy założeniu, że wymuszenie działa w kierunku zmiennej 1x_1 .



Rys. 2

Obliczając pochodne algebraiczne liczby strukturalnej (4)

$$\frac{\partial z_A}{\partial a_1} = \begin{bmatrix} 1^A_{ba} & 1^A_{ba} & 1^A_a & 1^A_a \\ 2^A_b & 2^A & 2^A_{ab} & 2^A_a \\ 3^A & 3^A_a & 3^A & 3^A_a \end{bmatrix}, \quad (6)_1$$

$$\frac{\partial z_A}{\partial b_1} = \frac{\partial z_A}{\partial a_2} = \begin{bmatrix} 1^A_b & 1^A_b \\ 2^A_{ab} & 2^A_a \\ 3^A & 3^A_a \end{bmatrix}, \quad (6)_2$$

$$\frac{\partial z_A}{\partial b_2} = \frac{\partial z_A}{\partial a_3} = \begin{bmatrix} 1^A_b & 1^A \\ 2^A_b & 2^A_{ab} \\ 3^A_a & 3^A_a \end{bmatrix}, \quad (6)_3$$

$$\frac{\partial z_A}{\partial b_3} = \begin{bmatrix} 1^A_b & 1^A_b & 1^A & 1^A \\ 2^A_b & 2^A & 2^A_{ab} & 2^A_a \\ 3^A_b & 3^A_{ab} & 3^A_b & 3^A_{ab} \end{bmatrix}, \quad (6)_4$$

i stosując wzór (5) otrzymujemy następujące wyrażenia na funkcje przejścia układu:

$$H_{11}(s) = \frac{\det \frac{\partial z_A}{\partial a_1}}{\det z_A} = \frac{D_{a_1}}{D}, \quad (7)_1$$

$$H_{21}(s) = \frac{D_{21}}{D}, \quad D_{21} = \det \begin{bmatrix} 1^A_c & 1^A_c \\ 2^A_{ab} & 2^A_a \\ 3^A & 3^A_a \end{bmatrix}, \quad (7)_2$$

$$H_{31}(s) = \frac{D_{31}}{D}, \quad D_{31} = \det \begin{bmatrix} 1^A_c \\ 2^A_c \\ 3^A_a \end{bmatrix}, \quad (7)_3$$

$$H_{41} = \frac{D_{41}}{D}, \quad D_{41} = \det \begin{bmatrix} 1^A_c \\ 2^A_c \\ 3^A_c \end{bmatrix}, \quad (7)_4$$

gdzie:

$$i^A_c = i^A_{a_i} \cap i^A_{b_i}, \quad i = 1, 2, 3$$

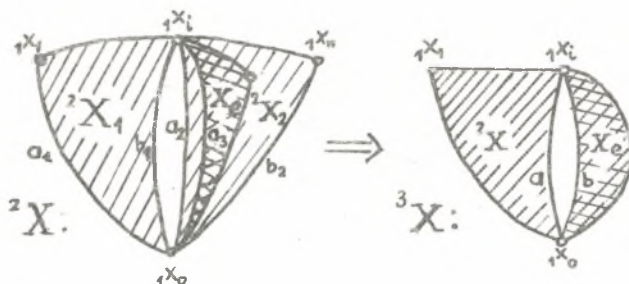
jest przekrojem liczb strukturalnych kategorii pierwszej podukładów prostych, a D jest funkcją wyznacznikową liczby strukturalnej 2A .

2. Grafy i liczby strukturalne kategorii drugiej jako modele złożonych układów eliminacji drgań

Przedstawimy modele najczęściej występujących typów układów eliminacji drgań w ujęciu grafów blokowych kategorii drugiej.

Modyfikacji własności układu głównego przez dołączenie do niego układu eliminatora dokonuje się następującymi sposobami:

- przez przyłączenie eliminatora E bezpośrednio do jednej z mas głównych, zachowując spójność struktury układu głównego U (rys. 3). Dokonując agregacji bloków ${}^2X_1, {}^2X_2$, opisujących układ główny, otrzymano graf kategorii trzeciej o dwóch składowych blokach 3X , który jest wygodniejszy przy analizie dynamicznej;

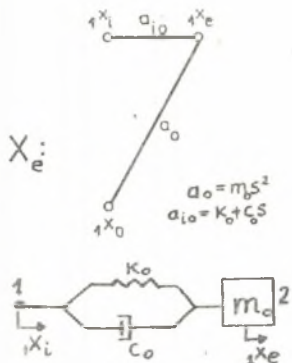


Rys. 3

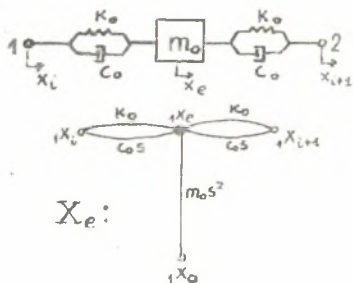
- przez wstawienie eliminatora pomiędzy dwie kolejne masy główne, co powoduje naruszenie spójności układu U , który jest rozdzielony na dwa rozłączne podukłady U_1 oraz U_2 . Układ eliminacji drgań modeluje się grafem o trzech składowych blokach (rys. 2), przy czym układowi eliminatora odpowiada podgraf 2X_2 .

Dla dyskretnych modeli układ eliminatora E może posiadać różne struktury, wśród których wyróżnimy:

1. Elementarny eliminator jednomasowy, złożony z pojedynczej masy m , do której dołączono amortyzatory sprężynowe oraz tłumiki drgań (rys. 4.1, rys. 4.2).

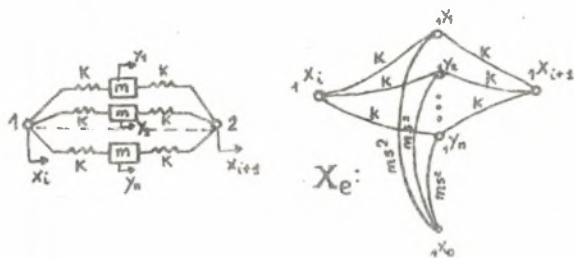


Rys. 4.1

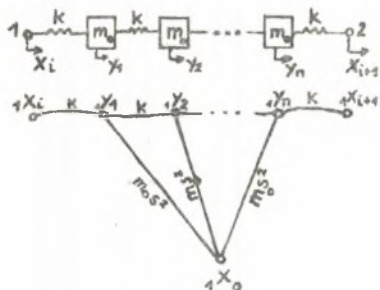


Rys. 4.2

2. Wielomasowy eliminator o strukturze równoległej składający się z n -elementarnych eliminatorów połączonych równoległe (rys. 5).



Rys. 5.1

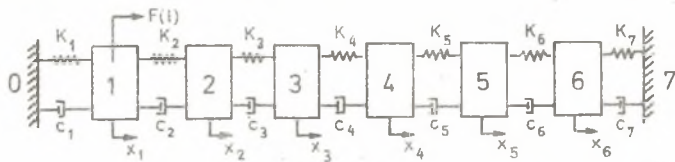


Rys. 6

3. Wielomasowy eliminator o strukturze szeregowej (rys. 6). Tego rodzaju eliminator nosi nazwę filtra niskich częstotliwości ze względu na przenoszenie przez niego drgań w ograniczonym zakresie częstotliwości wzbudzenia.

3. Przykład zastosowania metody grafów i liczb strukturalnych kategorii drugiej w analizie złożonego układu eliminacji drgań.

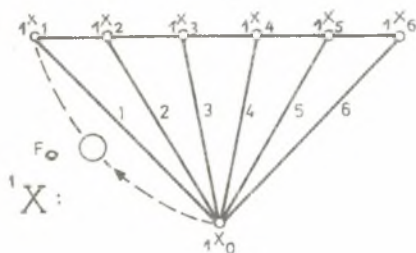
Rozpatruje się układ główny o sześciu stopniach swobody, mający strukturę szeregową (rys. 7), przy wymuszeniu harmonicznym $F(t)$ działającym na jedną z mas. Dla uproszczenia rozważań założono przypadek układu jednorodnego o identycznych wartościach para-



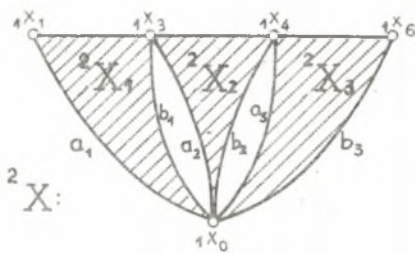
Rys. 7

metrów dynamicznych, czyli $\mu_{i1} = m$ dla $i = 1, 2, \dots, 6$, $c_{i1} = c$, $k_{i1} = k$ dla $i = 1, 2, \dots, 7$.

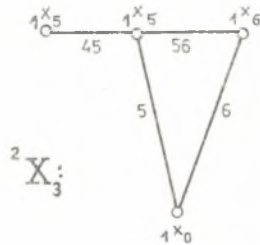
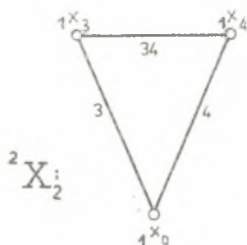
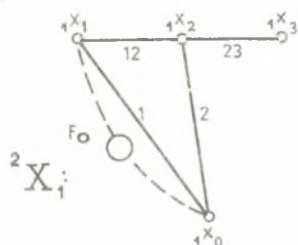
Graf biegunowy układu przedstawiony na rys. 8.1 zastąpiono grafem blokowym kategorii drugiej (rys. 8.2), którego struktury składowych bloków są znane i pokazane na rys. 8.3.



Rys. 8.1



Rys. 8.2



Rys. 8.3

Liczba strukturalna kategorii drugiej grafu blokowego $2X$ układu wyraża się podanym wcześniej wzorem (4). Poszczególne elementy tej liczby są liczbami strukturalnymi odpowiadającymi blokom grafu $2X$ i wynoszą:

$$1^A = [1 \ 12] [2 \ 12 \ 23] [23] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 2 & 12 & 12 \\ 23 & 23 & 23 \end{bmatrix}, \quad (8)_1$$

$${}^1A_b = \begin{bmatrix} 1 & 12 \\ 2 & 12 & 23 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & 12 & 23 \\ 1 & 1 & 1 & 2 & 12 \end{bmatrix}, \quad (8)_2$$

$${}^2A = \begin{bmatrix} 3 & 34 \\ 4 & 34 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4 & 34 \\ 3 & 3 & 4 \\ 4 & 34 & 34 \end{bmatrix}, \quad (8)_3$$

$${}^2A_a = \begin{bmatrix} 34 & 4 \end{bmatrix}, \quad {}^2A_b = \begin{bmatrix} 3 & 34 \end{bmatrix}, \quad {}^2A_{ab} = \begin{bmatrix} \emptyset \end{bmatrix}, \quad (8)_4$$

$${}^3A_a = \begin{bmatrix} 5 & 45 & 56 \\ 6 & 56 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 6 & 56 \\ 5 & 5 & 6 & 6 & 45 \\ 6 & 56 & 45 & 56 & 56 \end{bmatrix}, \quad {}^3A = \begin{bmatrix} 5 & 5 & 6 \\ 6 & 45 & 45 \\ 45 & 56 & 56 \end{bmatrix}, \quad (8)_5$$

gdzie $[\emptyset]$ jest modułem mnożenia liczb strukturalnych.

Przyjmując oznaczenia:

$$s = jr, \quad r = \omega/\omega_1, \quad \omega_1 = \sqrt{k/m}, \quad h = \frac{c}{\sqrt{km}},$$

kody krawędzi wyrażono w wielkościach bezwymiarowych

$$a_1 = a_6 = s^2 + hs + 1, \quad a_2 = a_3 = a_4 = a_5 = s^2, \\ a_{12} = a_{23} = a_{34} = a_{45} = a_{56} = hs + 1. \quad (9)$$

Wyznacznik liczby strukturalnej (4), przyrównany do zera, określa równanie charakterystyczne układu:

$${}^1A_b {}^2A_b {}^3A + {}^1A_b {}^2A {}^3A_a + {}^1A {}^2A_{ab} {}^3A + {}^1A {}^2A_a {}^3A_a = 0. \quad (10)$$

Dla układu bez tłumienia równanie (10) przy uwzględnieniu zależności (8, 9) prowadzi do następującego równania charakterystycznego:

$$r^{12} - 12r^{10} + 55r^8 - 120r^6 + 126r^4 - 56r^2 + 7 = 0. \quad (11)$$

Założono, że częstość siły wymuszającej jest równa jednej z częstości rezonansowych układu, która wyznaczona z równania (11) ma wartość $r = 1,21$ ($\omega = 1,21\omega_1$). Przyjęto do dalszych obliczeń również wartość współczynnika tłumienia $h = 0,01$.

Wówczas:

$$a_1 = a_6 = -0,45 + 1,21 \cdot 10^{-2}j, \quad (12)$$

$$a_2 = a_3 = a_4 = a_5 = -1,45, \quad (12)$$

$$a_{12} = a_{23} = a_{34} = a_{45} = a_{56} = 1 + 1,21 \cdot 10^{-2}j.$$

Bezwymiarowe amplitudy rezonansowe układu wyrażają się następującymi zależnościami:

$$\alpha_1 = H_{11}(r), \quad \alpha_3 = H_{21}(r), \quad \alpha_4 = H_{31}(r), \quad \alpha_6 = H_{41}(r),$$

które są opisane odpowiednio wzorami $(7)_1$, $(7)_3$, $(7)_4$ oraz:

$$\alpha_2 = \left| \frac{\text{Sim}({}^2A_{a_1}, {}^2A_{d_1})}{z \det {}^2A} \right|, \quad \alpha_5 = \left| \frac{\text{Sim}({}^2A_{a_1}, {}^2A_{d_3})}{z \det {}^2A} \right|, \quad (13)$$

gdzie $|\cdot|$ jest znakiem wartości bezwzględnej, $d_1 = [2]$, $d_3 = [5]$.

Funkcje wyznacznikowe występujące w wyrażeniach (7), (13) dla rozważanego przykładu mają postać:

$$D_{21} = \det \begin{bmatrix} [12] & [12] \\ [23] & [23] \\ 2^A_a & \emptyset \\ 3^A_a & 3^A_a \end{bmatrix} \quad (14)_1$$

$$D_{31} = \det \begin{bmatrix} [12] \\ [23] \\ [34] \\ 3^A_a \end{bmatrix} \quad (14)_2$$

$$D_{41} = \det \begin{bmatrix} [12] \\ [23] \\ [34] \\ [45] \\ [56] \end{bmatrix} \quad (14)_3$$

$$\frac{\text{Sim}({}^2A_{a_1}, {}^2A_{d_3})}{z} = \det \begin{bmatrix} [12] \\ [23] \\ [34] \\ [6 \ 56] \\ [45 \ 45] \end{bmatrix} \quad (14)_4$$

$$\text{Sim}({}^2A_{a_1}, {}^2A_{d_1}) = \det \begin{bmatrix} [12] & [12] & [12] & [12] \\ {}^2A_b & {}^2A & \emptyset & {}^2A_a \\ 3^A & 3^A_a & 3^A & 3^A_a \end{bmatrix} \quad (14)_5$$

Do dalszych obliczeń wyznaczono następujące funkcje wyznacznikowe:

$$\begin{aligned} \det {}^1A &= \det {}^3A = -1,25 - 4,5 \cdot 10^{-2}j, \\ \det {}^1A_a &= \det {}^3A_b = -0,45 + 0,66 \cdot 10^{-2}j, \\ \det {}^1A_b &= \det {}^3A_a = -0,70 + 0,77 \cdot 10^{-2}j, \\ \det {}^1A_{ba} &= 0,55 + 2,42 \cdot 10^{-2}j, \\ \det {}^2A &= -0,81 - 3,5 \cdot 10^{-2}j, \\ \det {}^2A_a &= \det {}^2A_b = -0,45 + 1,21 \cdot 10^{-2}j. \end{aligned} \quad (15)$$

Po uwzględnieniu (12) oraz (15) we wzorach (7), (13), (14) otrzymano wartości bezwymiarowych amplitud rezonansowych układu:

$$\alpha_1 = 9,75, \quad \alpha_2 = 2,46, \quad \alpha_3 = 8,93, \quad \alpha_4 = 6,96, \quad \alpha_5 = 5,47, \quad \alpha_6 = 9,95.$$

Modyfikacja układu przez dołączenie do jednej z jego mas dynamicznego eliminatora drgań o parametrach (m_o , c_o , k_o) prowadzi do uzyskania grafu o strukturze pokazanej na rys. 3. Graf eliminatora x_e (rys. 4.1) posiada następujące wartości kodów krawędzi:

$$a_o = \mu s^2, \quad a_{10} = \mu (q^2 + h_o q s), \quad (16)$$

gdzie:

$$\mu = m_o/m, \quad h_o = \frac{c_o}{\sqrt{k_o m_o}}, \quad q = \omega_o/\omega_1, \quad \omega_o = \sqrt{\frac{k_o}{m_o}}, \quad s = jr.$$

Liczba strukturalna grafu 2x (rys. 3) układu zmodyfikowanego wynosi:

$${}^2A^* = [a \ b] \left\| \begin{array}{c} {}^2A \\ {}^oA \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} {}^2A_a & {}^2A_b \\ {}^oA_a & {}^oA_b \end{bmatrix}, \quad (17)$$

gdzie:

$$z_{A_a} = \frac{\partial^2 z_A}{\partial a_1^2}, \quad {}_0A = \begin{bmatrix} 0 \\ (10) \end{bmatrix}, \quad {}_0A_b = \begin{bmatrix} 0 \\ (10) \end{bmatrix}.$$

Pokażemy, że tak określona liczba strukturalna (17) pozwala w prosty sposób wyznaczyć amplitudy drgań układu zmodyfikowanego z wykorzystaniem wprowadzonych wcześniej zależności (13), (14), (15).

Obliczając pochodne algebraiczne liczby strukturalnej (17)

$$\frac{\partial z_A^*}{\partial [a_1]} = \begin{bmatrix} z_{A_{a_1}} \\ {}_0A_b \end{bmatrix} \quad (18)_1$$

$$\frac{\partial z_A^*}{\partial [a_1]} = \begin{bmatrix} z_{A_{a_1} a_1} & z_{A_{c_1}} \\ {}_0A & {}_0A_b \end{bmatrix} \quad (18)_2$$

oraz wyznaczając przekrój liczb (18)₁, (18)₂

$$\frac{\partial z_A^*}{\partial [a_1]} \cap \frac{\partial z_A^*}{\partial [a_1]} = (z_{A_{a_1}} \cap z_{A_{a_1}}) {}_0A_b \quad (19)$$

uzyskuje się następującą zależność dla funkcji jednoczesności liczby strukturalnej układu zmodyfikowanego:

$$\text{Sim}^*(a_1, a_1) = \text{Sim}(a_1, a_1) \cdot D_{ob}, \quad (20)$$

gdzie:

$$D_{ob} = \det {}_0A_b = a_0 + a_{10} = 2\mu(s^2 + q^2 + h_0qs). \quad (21)$$

Amplituda i-tej masy układu z eliminatorem drgań wyraża się zatem wzorem:

$$\alpha_1^* = \left| \frac{\text{Sim}(a_1, a_1) \cdot D_{ob}}{\det z_A^*} \right|. \quad (22)$$

Amplitudę przemieszczenia eliminatora można wyznaczyć ze związku:

$$\alpha_0 = \left| \frac{\text{Sim}(a_1, a_0)}{\det Z_A^*} \right| = \left| \frac{\det \begin{bmatrix} Z_A \\ a_1 \end{bmatrix}}{\det Z_A^*} \right| \quad (23)$$

Rozważmy przypadek, gdy eliminator dołączono do pierwszej masy układu ($a_1 = a_1$). Liczba strukturalna jest określona wzorem (17), przy czym jej składowe mają postać:

$$Z_{A_a} = \frac{\partial Z_A}{\partial a_1} - \text{wyrażona zależnością (6)}_1,$$

$$o^A = \begin{bmatrix} 0 \\ 10 \end{bmatrix}, \quad o^A_b = [0 \quad 10]. \quad (24)$$

Do szczegółowych obliczeń przyjęto następujące wartości parametrów eliminatora: $h_0 = 0,1$, $\mu = 0,1$, $q = r = 1,21$. Wówczas kody krawędzi grafu X_e są równe:

$$a_0 = -0,146, \quad a_{10} = 0,146 + 1,46 \cdot 10^{-2}j.$$

Wyznaczone na podstawie zależności (17), (22), (23) amplitudy układu zmodyfikowanego wynoszą:

$$\alpha_1^* = 0,45, \quad \alpha_2^* = 0,125, \quad \alpha_3^* = 0,43, \quad \alpha_4^* = 0,325, \quad \alpha_5^* = 0,26, \quad \alpha_6^* = 0,54,$$

$$\alpha_0^* = 5,68.$$

4. Wnioski

Zaproponowana w pracy analiza układów mechanicznych za pomocą grafów i liczb strukturalnych wykazała dużą efektywność i użyteczność tych metod w modelowaniu złożonych układów. Dzięki metodom agregacji grafu i operowaniu liczbami strukturalnymi kategorii drugiej można znacznie uprościć sposób wyznaczania funkcji charakterystycznych dowolnego liniowego układu mechanicznego. Ma to szczególnie duże znaczenie w modelowaniu złożonych układów, co zilustrowano na wybranym przykładzie układu eliminacji drgań.

LITERATURA

- [1] S. Bellert, H. Woźniacki: Analiza i synteza układów elektrycznych metodą liczb strukturalnych, WNT, Warszawa 1968.
- [2] C. Berge: Graphes et hypergraphes. Monographies Universitaires de Mathematiques, Dunod, Paris 1970.
- [3] J. Wojnarowski, A. Buchacz: Badanie dynamicznych własności maszyn metodą grafów blokowych i liczb strukturalnych. Referaty X Konferencji Dynamiki Maszyn, Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1976.
- [4] J. Wojnarowski: Grafy i liczby strukturalne jako modele układów mechanicznych. Politechnika Śląska - PTMTiS, z. 38, Gliwice 1977.
- [5] J. Wojnarowski, A. Buchacz: Zastosowanie grafów i liczb strukturalnych wyższej kategorii w modelowaniu układów mechanicznych. Referaty XVI Sympozjonu - Modelowanie w Mechanice, PTMTiS, Gliwice 1977.
- [6] J. Wojnarowski, A. Nowak: Modelowanie układów eliminacji drgań metodą grafów i liczb strukturalnych kategorii pierwszej. ZN Politechniki Śląskiej "Energetyka" z. 65, Gliwice 1978.

ГИПЕРГРАФЫ И СТРУКТУРНЫЕ ЧИСЛА ВЫСШЕЙ КАТЕГОРИИ
КАК МОДЕЛИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ЭЛИМИНАЦИИ КОЛЕБАНИЙ

Р е з ю м е

В работе, при использовании метода графов и структурных чисел высшей категории, даётся способ моделирования систем элиминации колебаний. Используя метод агрегации графов и принимая структурные числа второй категории были определённые характеристики сложной системы элиминации колебаний. Полученные результаты показали эффективность этой методы для систем с большим числом степени свободы.

GRAPHS AND STRUCTURAL NUMBERS HIGHER CATEGORY AS MODELLS
OF COMPLEX SYSTEMS FOR THE ELIMINATION OF VIBRATIONS

S u m m a r y

Applying the method of graphs and structural numbers, the paper presents a new way modelling systems of the elimination of vibrations. Basing on the properties of the graphs and structural numbers of the second category, as well as on the methods of graphs aggregations, it has been shown to what extent changes in the structure of the systems affect its response. The obtained results confirm the effectivity of this method in the case of systems with a multiple degree of freedom.