$$c_i^{отн} = \frac{\overline{C}_{ід}}{\sum_{i=1}^{n} \overline{C}_{ід}} = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i} = \left[i \sum_{i=1}^{n} (i)^{-1} \right]^{-1}. \tag{5}$$

Ця величина легко піддається розрахунку як для заданої, так і для скороченої (внаслідок застосування інших рішень) кількості функцій; не залежить від коректності визначення рангу функції із середньою функціональною значущістю і оптимальності витрат на неї; може бути використана при різнорівневому декомпонуванні функцій в межах різних блоків. Значення має тільки ранг, присвоєний даній функції, що спрощує процедуру розрахунку і робить її більш коректною. Більше того, ці частки можуть бути розраховані попередньо, що зводить процес оцінки функціональної доцільності витрат до простого порівняння реальної частки витрат, що припадає на дану функцію, з табличним значенням для функції відповідного рангу. Графічне відображення сукупності цих табличних значень для функцій 1÷5-го рангів і n = 3÷20 наведене нижче, на рис. 4.

Отримані нами криві допустимої частки витрат на функції різних рангів при різній кількості функцій (рис. 4) можуть бути інструментом приведення витрат на функції до функціонально необхідних як перерозподілом витрат між функціями, так і усуненням деяких функцій разом з носіями

1. Гліненко Л.К., Смердов А.А., Вибойщик О.М. Моделювання евристичних задач проектування. Львів, 1997. 2. Техника ФСА. Справочник. К., 1990.

УДК 621.396.6:681.3

В. Каркульовський, І. Мотика
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра систем автоматизованого проектування

МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ. ГЕОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ

Розглядаються особливості застосування методу діакоптики при моделюванні складних механічних систем на етапі аналізу структури системи.

Для підвищення ефективності застосування сучасних інформаційних технологій проектування при аналізі складних механічних систем доцільним є використання методів діакоптики та теорії мереж, які широко застосовуються для аналізу електричних кіл. Однак, на жаль, в електричних мережах геометрія системи не має особливого значення, окрім, звичайно, кіл НВЧ, де геометричні розміри елемента суттєво впливають на характеристики системи. У механічних системах метричні характеристики відіграють вирішальну роль. Ці системи необхідно розглядати у тривимірному просторі із врахуванням кутів повороту окремих елементів. Тому виникає необхідність у проведенні геометричного аналізу (ГА) перед розрахунком статичного та динамічного режимів.

Для аналізу складна механічна система розчленовується плоскими перерізами на окремі складові – базові елементи та шарніри, які, відповідно, відображають компоненти механічної системи та способи їх з’єднання.

Тоді механічну систему можна подати як неорієнтований граф, тобто у вигляді вершин S і сімейства дуг L. При цьому кожній компоненті механічної системи S_i ставиться відповідна вершина графа, а кожному зв'язку (S_j, S_k) – дуга L_i.

Цикломатичне число υ, тобто кількість незалежних контурів, для графа, який має m дуг, s вершин і зв'язність c, визначається із співвідношення:

$$\upsilon = m - s + c \qquad (1)$$

Застосувавши метод діакоптики, для кожного базового елемента чи шарніра як багатополюсника можна побудувати співвідношення:

$$\begin{Vmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \ldots \\ T_m \end{Vmatrix} = M\left(\left\|L_e\right\|\right), \qquad (2)$$

де m – кількість плюсів (перерізів) багатополюсника; T_I – вектор координат і-го перерізу багатополюсника в локальній системі координат; M(Le) – функція від матриці характеристичних параметрів.

Тоді для механічної системи рівняння, які описують її геометрію в матричній формі, записуються у вигляді:

$$\mathbf{H}\,\mathbf{D}\,\mathbf{T} = 0 \qquad (3)$$

Дані рівняння відображають умови нерозривності. Для електричних кіл аналогом цих рівнянь є рівняння другого закону Кірхгофа.

У рівняннях (3):

$$\mathbf{H} = \begin{array}{|c|}\hline \mathbf{H}^* \\ \hline \mathbf{H}^{**} \\ \hline \end{array} \qquad (4)$$

де **H** – матриця контурів мережі з багатополюсниками; $\mathbf{H}^*$– контурна матриця включень багатополюсників; $\mathbf{H}^{**}$ – допоміжна матриця для побудови рівнянь, що описують багатополюсники в координатах; **D** – матриця перетворення координат із локальної системи в глобальну декартову систему.

Отже, в рівняння (3) входять:

•рівняння нерозривності механічної системи;

•рівняння, які описують геометричні моделі базових елементів та шарнірів.

Матриця **H**, яка складається із матриць $\mathbf{H}^*$і $\mathbf{H}^{**}$, будується за такою схемою. Контурна матриця включення багатополюсників $\mathbf{H}^*$має вигляд:

$\mathbf{H}_1$*	$\mathbf{H}_2$*	……..	**Hi***	……..	**Hк***	……	**Hк+n***

(5)

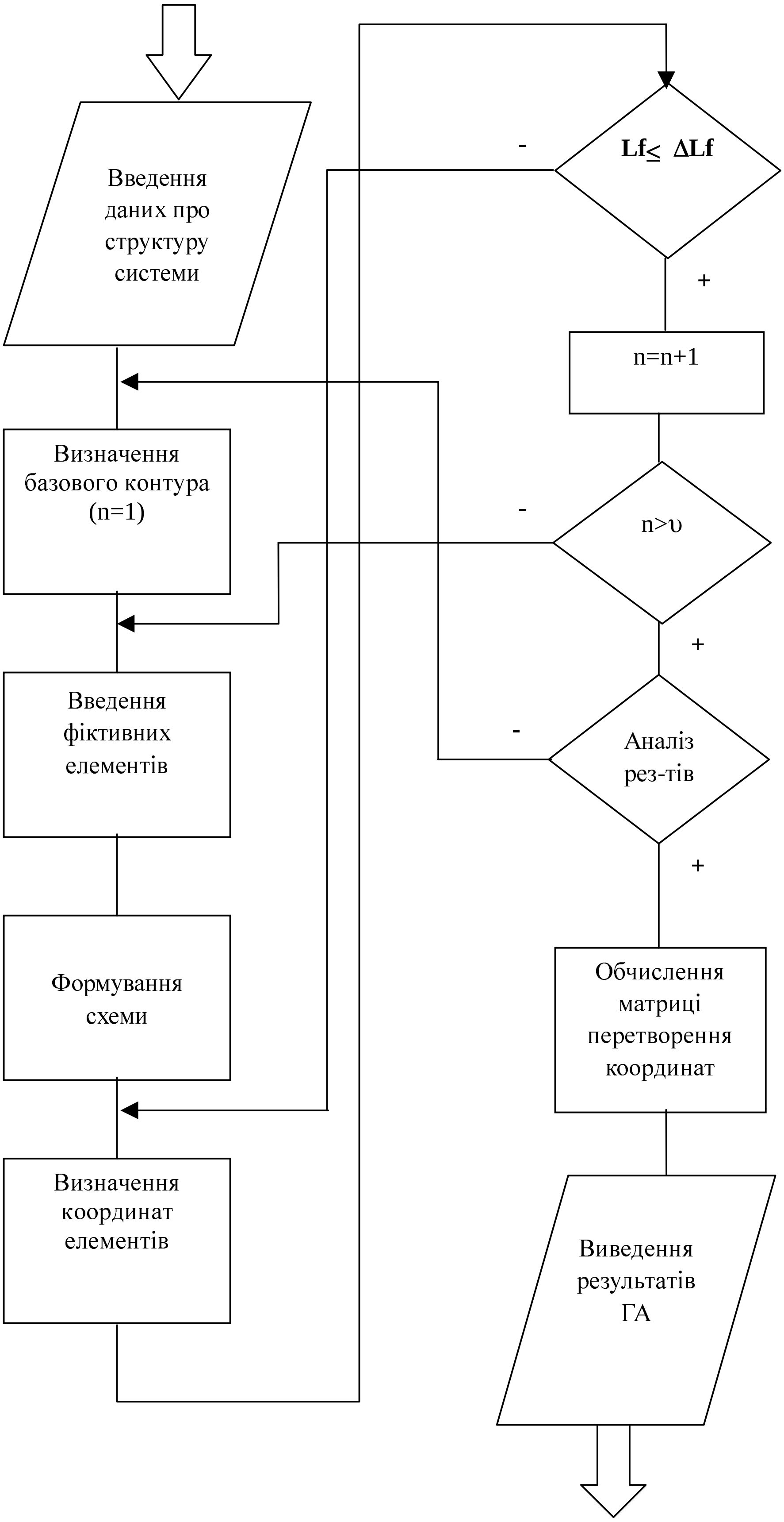
де і – номер багатополюсника; к – кількість багатополюсників в системі; $\mathbf{H}_i$* – підматриця для і-го багатополюсника; $\mathbf{H}_{к+1}$* – підматриці для фіктивних елементів (n = υ).

Кожному незалежному контуру системи в підматриці $\mathbf{H}_i$* відповідає 6 рядків, кількість стовпців дорівнює 6m, де m – кількість полюсів даного багатополюсника.

Контурна підматриця включення має таку структуру:

•+1 стоїть на перетині рядків 6m – 5 – і до 6m – і із 6*l* – 5-им до 6*l*-го стовпця, відповідно, якщо компонента вектора координат *l*-го полюса входить в m-ий контур;

•нуль свідчить про те, що даний полюс (переріз) багатополюсника не входить у контур, який розглядається.



Структурна схема геометричного аналізу

У кожний із незалежних контурів включається фіктивний елемент у вигляді абсолютно жорсткого стрижня, необхідного для замикання контура.
Матриця $\mathbf{H}^{**}$має вигляд:

H_1**	H_2**	………..	Hj**	………..	Hк**	………..	Hк+n**

(6)

де j – номер багатополюсника; к – кількість багатополюсників у системі; **Hj**** – підматриця для і-го багатополюсника, яка має розміри 6(к+n)р*6m, (m – кількість полюсів і-го багатополюсника, р – сумарна кількість полюсів всіх багатополюсників, включаючи і фіктивні елементи).

Всі елементи підматриці $\mathbf{H}_j$** нульові, крім діагональних елементів блоку, обмеженого рядками n_p і n_p+6m+1 ($n_p = \sum_{i+1}^{j-1} n_i$), n_I – кількість полюсів і-го багатополюсника), які дорівнюють 1; $\mathbf{H}_{к+1}$**і $\mathbf{H}_{к+n}$** – підматриці для фіктивних елементів.Оскільки вибрати базовий цикл може бути складно для механічних систем, то поступають так:

•обчислюють цикломатичне число υ із (1);

•здійснюють довільний вибір циклу графа, який стане першим елементом бази; вибір довільного циклу, який вміщує хоча б одну дугу (зв'язок), ще не використану в базі; процес продовжується доти, поки не будуть використані всі дуги графа;

•якщо кількість отриманих таким чином циклів дорівнює υ, то база знайдена; якщо ж отримана кількість циклів менша за υ, то необхідно вибрати інші цикли.

Структурна схема процедури геометричного аналізу наведена на рисунку.

Процедура геометричного аналізу передбачає таку послідовність етапів:

•введення даних про структуру системи (кількість елементів, склад системи, взаємне розташування елементів);

•призначення базового (початкового циклу), який стане першим елементом бази, а також визначення бази;

•введення фіктивних елементів у кожний цикл бази;

•формування схеми із врахуванням структури системи і введених фіктивних елементів;

•наступні етапи дозволяють організовувати ітераційний процес визначення координат елементів зведенням довжин фіктивних елементів до нуля (чи заданої похибки монтажу) і вирівнюванням кутів нахилу перерізів кріплення фіктивних елементів;

•матриця перетворення координат, яка буде використовуватись для статичного аналізу, обчислюється після повного завершення геометричного аналізу і отримання прийнятних результатів;

•етап виведення результатів геометричного аналізу передбачає можливість передачі його результатів як вхідних даних для статичного аналізу і їх збереження при потребі на зовнішніх носіях.

З точки зору об'єктно-орієнтованого проектування запропонований метод геометричного аналізу та процедура його реалізації дозволяють побудувати послідовний ітераційний процес, який повністю вкладається в розроблену загальну методику моделювання складних механічних систем.[*]

---

[*] *Каркульовський В.І., Мотика І.І. Об'єктно-орієнтований підхід в проектуванні складних механічних систем // Вісник ДУ "Львівська політехніка". 1998. № 327. С.26-30.*