

1. Предложен метод высокоточной аппроксимации петли гистерезиса материала ферромагнитного сердечника электромагнита. В основу метода положено представление петли гистерезиса в виде двух составляющих: кривой намагничивания и "эллипсоподобной" замкнутой кривой и построение развертки этой кривой в декартовой системе координат.

2. Получены соотношения для определения коэффициентов разложения в ряд Фурье "эллипсоподобной" замкнутой кривой.

3. Метод позволяет повысить точность аппроксимации петли гистерезиса ферромагнитного материала за счет увеличения числа учитываемых членов ряда Фурье разложения "эллипсоподобной" замкнутой кривой.

Список литературы: 1. ДСТУ 2465-94. Сумісність технічних засобів електромагнітна: Стійкість до магнітних полів частоти мережі. Технічні вимоги та методи випробувань. Введ. 01.01.95. – Київ: Держстандарт України, 1994. – 29 с. 2. IEC 1000-4-8: 1993. "Electromagnetic compatibility. Part 4: Testing and measuring techniques – Section 8: Power frequency magnetic field immunity test. Basic EMC Publication". Edition 1.1. – 2001. – 61 p. 3. *Лушков В.С.* Наукові основи технології компенсації магнітного поля поблизу низьковольтних комплектних пристроїв. – Автореф. дис...д-ра техн. наук: 05.09.01. – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут". – Харків, 2003. – 36 с. 4. *Сахаров П.В.* Проектирование электрических аппаратов. – М.: Энергия, 1971. – 560 с. 5. *Король Е.Г.* Анализ методов моделирования магнитных характеристик электромагнитов для компенсации магнитного поля электрооборудования // Електротехніка і електромеханіка. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2007. – №2. – С. 31-34. 6. *Король Е.Г.* Анализ методов моделирования петли гистерезиса ферромагнитных материалов // Електротехніка і електромеханіка. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2007. – №6. – С. 44-47. 7. *Бессонов Л.А.* Электрические цепи со сталью. – М.: Госэнергоиздат, 1948. – 344 с. 8. *Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1955. – 607 с.

Поступила в редколлегию 31.05.08

УДК 624.04: 621.313.04: 534.1

Н.А. ЛЕЛЮК, аспирант

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВИРАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДАМИ ЯЧЕЕК И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ КОНТУРОВ

Розглянуті два методи формування рівнянь стану для дослідження вібрації механічної системи. На прикладі однієї механічної системи доведено ідентичність цих методів. Наведені правила формування рівнянь моделі механічної системи на основі методу комірок.

Рассмотрены два метода формирования уравнений состояния для исследования вибрации механической системы. На примере одной механической системы доказана идентичность этих методов. Приведены правила формирования уравнений модели механической системы на основе метода ячеек.

Введение. Работа электрического аппарата (ЭА) во многом зависит от процессов происходящих на его контактах. Эти процессы сопровождаются целым рядом электрических, механических и климатических воздействий, под действием которых происходит изменение формы и разрушение контактов, что в свою очередь ведет к нарушению нормальной работы ЭА [1]. Одной из основных причин, вызывающих износ контактов, является их вибрация при нормальной работе ЭА. Этот процесс остается недостаточно исследованным из-за сложности описания вибрации. При моделировании и расчетах вибрации используются два метода, рассматривающие ЭА как механическую систему: метод ячеек и метод фундаментальных контуров (метод хорд).

Цель работы – доказать идентичность методов ячеек и фундаментальных контуров при моделировании процесса вибрации ЭА как механической системы.

Метод ячеек. Формирование уравнений состояния механической системы (рис. 1) осуществляется на основе схемы замещения ЭА (рис. 2), либо ее графа (рис. 3) [2]. Исходными данными для моделирования процесса вибрации системы являются топологическая и компонентная матрицы. На основе этих матриц формируются уравнения, представляющие математическую модель системы. Используя этот метод для формирования уравнений состояния механической системы, граф представляется в виде ячеек, которые представляют собой отдельные контуры, непересекающиеся между собой. Элементы графа записываются в операторной форме, что дает возможность записать уравнения модели механической системы.

На рис. 4 приведен модифицированный граф механической системы, полученный из графа на рис. 3 путем введения эквивалентных операторных элементов.

этим методом необходимо составить граф механической системы, выбрать дерево графа и определить фундаментальные контуры [3]. На рис. 5 дерево графа выделено утолщенными линиями, и с использованием хорд получены шесть независимых контуров, положительное направления обхода каждого из которых (по часовой стрелке) показано частью окружности со стрелкой. Узлы графа показаны в виде окружности с номером.

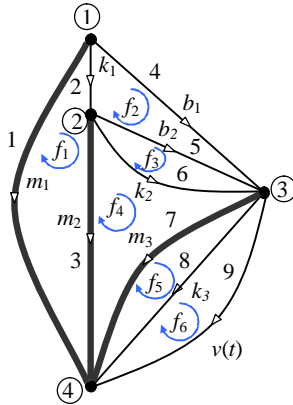


Рис. 5. Граф и дерево механической системы

Уравнения фундаментальных контуров в матричной форме имеют вид

$$F_c = 0, \quad (4)$$

где F_c – матрица фундаментальных контуров.

Формирование матрицы F_c проводится в соответствии с методикой, приведенной в [3]:

- составляется матрица коэффициентов, число строк которой равно числу хорд (числу фундаментальных контуров), а число столбцов – числу элементов графа;

- заполняется матрица-столбец в следующем порядке: заданные переменные ветвей, незадаанные переменные ветвей, незадаанные переменные хорд, заданные переменные хорд;

- нумеруются римскими цифрами фундаментальные контуры в матрице-столбце;

- заполняется матрица коэффициентов.

В развернутой форме система уравнений (4) имеет вид:

$$F_c = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 3 & 7 & 2 & 4 & 5 & 6 & 8 & 9 \end{matrix} \\ \begin{matrix} I \\ II \\ III \\ IV \\ V \\ VI \end{matrix} & \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \end{matrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_3 \\ v_7 \\ v_2 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \\ v_8 \\ v_9 \end{pmatrix} = 0. \quad (5)$$

где $v_{1,3,7}$ – незадаанные переменные ветвей; $v_{2,4,5,6,8}$ – незадаанные переменные хорд; v_9 – заданная переменная хорды.

Полусные уравнения в матричной форме

$$P = CF \quad (6)$$

в развернутом виде представляются как:

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_3 \\ v_7 \\ v_2 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \\ v_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{pm_1} & & & & & & & & \\ & \frac{1}{pm_2} & & & & & & & \\ & & \frac{1}{pm_3} & & & & & & \\ & & & \frac{p}{k_1} & & & & & \\ & & & & \frac{1}{b_1} & & & & \\ & & & & & \frac{1}{b_2} & & & \\ & & & & & & \frac{p}{k_2} & & \\ & & & & & & & \frac{p}{k_3} & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_1 \\ f_3 \\ f_7 \\ f_2 \\ f_4 \\ f_5 \\ f_6 \\ f_8 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Преобразование уравнений фундаментальных контуров дает следующую систему уравнений:

$$\begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_3 \\ v_7 \\ v_2 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \\ v_8 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix} v_9 = 0. \quad (8)$$

Подставляем полюсное уравнение P в уравнение фундаментальных контуров F_c :

$$\begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \frac{1}{pm_1} & & & & & & & & \\ & \frac{1}{pm_2} & & & & & & & \\ & & \frac{1}{pm_3} & & & & & & \\ & & & \frac{p}{k_1} & & & & & \\ & & & & \frac{1}{b_1} & & & & \\ & & & & & \frac{1}{b_2} & & & \\ & & & & & & \frac{p}{k_2} & & \\ & & & & & & & \frac{p}{k_3} & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_1 \\ f_3 \\ f_7 \\ f_2 \\ f_4 \\ f_5 \\ f_6 \\ f_8 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix} v_9 = 0. \quad (9)$$

Для получения уравнений механической системы необходимо вычислить тройное матричное произведение:

$$(F_c C F_c^T) F = A \cdot F = V, \quad (10)$$

где F_c – матрица связей; F_c^T – транспонированная матрица связи; C – компонентная матрица; F – вектор-столбец контурных сил f_i ($i = \overline{1,6}$); A – матрица коэффициентов; V – вектор-столбец скоростей v_i движения элементов системы.

Уравнения механической системы принимают окончательный вид:

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{pm_1} + \frac{1}{pm_2} + \frac{p}{k_1} & & & & & & & & \\ & \frac{1}{pm_1} & -\frac{1}{pm_2} & -\frac{1}{pm_2} & 0 & 0 & & & \\ & & & & & & & & \\ & \frac{1}{pm_1} + \frac{1}{pm_3} + \frac{1}{b_1} & \frac{1}{pm_3} & \frac{1}{pm_3} & -\frac{1}{pm_3} & -\frac{1}{pm_3} & & & \\ & & & & & & & & \\ -\frac{1}{pm_2} & \frac{1}{pm_3} & \frac{1}{pm_2} + \frac{1}{pm_3} + \frac{1}{b_2} & \frac{1}{pm_2} + \frac{1}{pm_3} & -\frac{1}{pm_3} & -\frac{1}{pm_3} & & & \\ & & & & & & & & \\ -\frac{1}{pm_2} & \frac{1}{pm_3} & \frac{1}{pm_2} + \frac{1}{pm_3} + \frac{p}{k_2} & \frac{1}{pm_2} + \frac{1}{pm_3} & -\frac{1}{pm_3} & -\frac{1}{pm_3} & & & \\ & & & & & & & & \\ 0 & -\frac{1}{pm_3} & -\frac{1}{pm_3} & -\frac{1}{pm_3} & \frac{1}{pm_3} + \frac{p}{k_3} & \frac{1}{pm_3} & & & \\ & & & & & & & & \\ 0 & -\frac{1}{pm_3} & -\frac{1}{pm_3} & -\frac{1}{pm_3} & \frac{1}{pm_3} & \frac{1}{pm_3} & & & \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} f_2 \\ f_4 \\ f_5 \\ f_6 \\ f_8 \\ f_9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix} v_9. \quad (11)$$

Идентичность методов ячеек и фундаментальных контуров. Доказательство идентичности этих методов проводится путем приведения к одинаковому виду систем уравнений ячеек и фундаментальных контуров. Преобразования проводятся по известным правилам преобразования строк и столбцов расширенной матрицы для системы уравнений (11) [4, 5].

Первый шаг – из второй строки вычитается первая:

$\frac{1}{pm_1} +$						0	(12)
$+\frac{1}{pm_2} +$	$\frac{1}{pm_1}$	$-\frac{1}{pm_2}$	$-\frac{1}{pm_2}$	0	0	0	
$+\frac{p}{k_1}$							
$-\frac{1}{pm_2} -$	$\frac{1}{pm_3} +$	$\frac{1}{pm_3} +$	$\frac{1}{pm_3} +$	$-\frac{1}{pm_3}$	$-\frac{1}{pm_3}$	0	
$-\frac{p}{k_1}$	$+\frac{1}{b_1}$	$+\frac{1}{pm_2}$	$+\frac{1}{pm_2}$				
		$\frac{1}{pm_2} +$	$\frac{1}{pm_2} +$				
$-\frac{1}{pm_2}$	$\frac{1}{pm_3}$	$+\frac{1}{pm_3} +$	$+\frac{1}{pm_3} +$	$-\frac{1}{pm_3}$	$-\frac{1}{pm_3}$	0	
		$+\frac{1}{b_2}$	$+\frac{1}{pm_3}$				
		$\frac{1}{pm_2} +$	$\frac{1}{pm_2} +$				
$-\frac{1}{pm_2}$	$\frac{1}{pm_3}$	$+\frac{1}{pm_3} +$	$+\frac{1}{pm_3} +$	$-\frac{1}{pm_3}$	$-\frac{1}{pm_3}$	0	
		$+\frac{p}{pm_3}$	$+\frac{p}{k_2}$				
0	$-\frac{1}{pm_3}$	$-\frac{1}{pm_3}$	$-\frac{1}{pm_3}$	$\frac{1}{pm_3} +$	$\frac{1}{pm_3}$	0	
				$+\frac{p}{k_3}$			
0	$-\frac{1}{pm_3}$	$-\frac{1}{pm_3}$	$-\frac{1}{pm_3}$	$\frac{1}{pm_3}$	$\frac{1}{pm_3}$	v_9	

Второй шаг – из второй строки вычитается третья строка, из шестой строки вычитается пятая строка, а из третьей строки вычитается четвертая строка:

$\frac{1}{pm_1} +$							(13)
$+\frac{1}{pm_2} +$	$\frac{1}{pm_1}$	$-\frac{1}{pm_2}$	$-\frac{1}{pm_2}$	0	0	0	
$+\frac{p}{k_1}$							
$-\frac{p}{k_1}$	$\frac{1}{b_1}$	$-\frac{1}{b_2}$	0	0	0	0	
0	0	$\frac{1}{b_2}$	$-\frac{p}{k_2}$	0	0	0	
$-\frac{1}{pm_2}$	$\frac{1}{pm_3}$	$\frac{1}{pm_2} +$	$\frac{1}{pm_2} +$	$-\frac{1}{pm_3}$	$-\frac{1}{pm_3}$	0	
		$+\frac{1}{pm_3} +$	$+\frac{1}{pm_3} +$				
		$+\frac{p}{pm_3}$	$+\frac{p}{k_2}$				
0	$-\frac{1}{pm_3}$	$-\frac{1}{pm_3}$	$-\frac{1}{pm_3}$	$\frac{1}{pm_3} +$	$\frac{1}{pm_3}$	0	
				$+\frac{p}{k_3}$			
0	0	0	0	$-\frac{p}{k_3}$	0	v_9	

Третий шаг – из шестого столбца вычитается пятый столбец, из второго столбца вычитается третий столбец, а из третьего столбца вычитается четвертый столбец:

$\frac{1}{pm_1} +$	$\frac{1}{pm_1} +$	0	$-\frac{1}{pm_2}$	0	0	0	(14)	0
$+\frac{1}{pm_2} +$	$+\frac{1}{pm_2}$	0	$-\frac{1}{pm_2}$	0	0	0	0	0
$+\frac{p}{k_1}$	$+\frac{1}{pm_2}$	0	$-\frac{1}{pm_2}$	0	0	0	0	0
$-\frac{p}{k_1}$	$+\frac{1}{b_1} +$	$-\frac{1}{b_2}$	0	0	0	0	0	0
0	$+\frac{1}{b_2}$	$-\frac{1}{b_2}$	0	0	0	0	0	0
0	$-\frac{1}{b_2}$	$+\frac{1}{b_2} +$	$-\frac{p}{k_2}$	0	0	0	0	0
0	$-\frac{1}{b_2}$	$+\frac{p}{k_2}$	$-\frac{p}{k_2}$	0	0	0	0	0
$-\frac{1}{pm_2}$	$-\frac{1}{pm_2}$	$-\frac{p}{k_2}$	$+\frac{1}{pm_2} +$	$+\frac{1}{pm_3} +$	$-\frac{1}{pm_3}$	0	0	0
0	0	0	$+\frac{p}{k_2}$	$+\frac{p}{k_2}$	0	0	0	0
0	0	0	$-\frac{1}{pm_3}$	$+\frac{1}{pm_3} +$	$-\frac{p}{k_3}$	0	0	0
0	0	0	$-\frac{1}{pm_3}$	$+\frac{p}{k_3}$	$-\frac{p}{k_3}$	0	0	0
0	0	0	0	$-\frac{p}{k_3}$	$\frac{p}{k_3}$	v_9	0	0
0	0	0	0	$-\frac{p}{k_3}$	$\frac{p}{k_3}$	v_9	0	0

Четвертый шаг – из второго столбца вычитается первый столбец:

$\frac{1}{pm_1} +$	$\frac{1}{pm_1} +$	0	$-\frac{1}{pm_2}$	0	0	0	(15)	0
$+\frac{1}{pm_2} +$	$-\frac{p}{k_1}$	0	$-\frac{1}{pm_2}$	0	0	0	0	0
$+\frac{p}{k_1}$	$-\frac{p}{k_1}$	0	$-\frac{1}{pm_2}$	0	0	0	0	0
$-\frac{p}{k_1}$	$+\frac{1}{b_1} +$	$-\frac{1}{b_2}$	0	0	0	0	0	0
0	$+\frac{1}{b_2} +$	$-\frac{1}{b_2}$	0	0	0	0	0	0
0	$+\frac{p}{k_1}$	$-\frac{1}{b_2}$	0	0	0	0	0	0
0	$-\frac{1}{b_2}$	$+\frac{1}{b_2} +$	$-\frac{p}{k_2}$	0	0	0	0	0
$-\frac{1}{pm_2}$	0	$+\frac{p}{k_2}$	$-\frac{p}{k_2}$	0	0	0	0	0
0	0	$-\frac{1}{b_2}$	$+\frac{1}{pm_2} +$	$+\frac{1}{pm_3} +$	$-\frac{1}{pm_3}$	0	0	0
0	0	0	$+\frac{1}{pm_2} +$	$+\frac{1}{pm_3} +$	$-\frac{1}{pm_3}$	0	0	0
0	0	0	$+\frac{1}{pm_3} +$	$+\frac{1}{pm_3} +$	$-\frac{1}{pm_3}$	0	0	0
0	0	0	$-\frac{1}{pm_3}$	$+\frac{1}{pm_3} +$	$-\frac{1}{pm_3}$	0	0	0
0	0	0	$-\frac{1}{pm_3}$	$+\frac{p}{k_3}$	$-\frac{p}{k_3}$	0	0	0
0	0	0	0	$-\frac{p}{k_3}$	$\frac{p}{k_3}$	v_9	0	0
0	0	0	0	$-\frac{p}{k_3}$	$\frac{p}{k_3}$	v_9	0	0

Полученная матрица свидетельствует об идентичности двух методов. Различие методов лишь в том, что метод ячеек дает возможность не составлять дерево графа и уравнения фундаментальных контуров. Это позволяет существенно ускорить формирование уравнений модели в матричной форме.

Правила формирования уравнений модели на основе метода ячеек.

Применение метода ячеек позволяет формализовать процесс формирования матрицы коэффициентов и, соответственно, уравнений системы. Для установления правил формализации предварительно необходимо рассмотреть вопрос о том, как влияет выбор направления ветви графа на вид элементов матрицы коэффициентов.

Для этого рассматривается две матрицы коэффициентов, сформированных для графа, в котором одна из ветвей меняет направление. В этом случае меняется знак соответствующего элемента в топологической матрице T . Для упрощения преобразований принято допущение, что ненулевые элементы компонентной матрицы C равны единице:

$$\begin{matrix}
 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\
 \begin{matrix} I \\ II \\ III \\ IV \\ V \\ VI \end{matrix} & \begin{pmatrix}
 -1 & 1 & 1 & & & & & \\
 & -1 & & 1 & -1 & & & \\
 & & & 1 & 1 & & & \\
 & & -1 & & & -1 & 1 & \\
 & & & & & & & -1 & 1 \\
 & & & & & & & & & -1
 \end{pmatrix} \\
 C = & \begin{pmatrix}
 1 & & & & & & & \\
 & 1 & & & & & & \\
 & & 1 & & & & & \\
 & & & 1 & & & & \\
 & & & & 1 & & & \\
 & & & & & 1 & & \\
 & & & & & & 1 & \\
 & & & & & & & 1
 \end{pmatrix}
 \end{matrix} \quad (16)$$

По формуле (3) находится тройное матричное произведение. В результате математическая модель механической системы, сформированная на основе графа с измененным направлением ветви, представится следующей системой уравнений:

$$\begin{matrix}
 \begin{matrix} \xi \\ \zeta \\ \zeta \\ \zeta \\ \zeta \\ \zeta \\ \zeta \\ \xi \\ \xi \end{matrix} & \begin{pmatrix}
 1+1 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\
 -1 & 1+1+1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -1 & 1+1 & -1 & 0 & 0 \\
 -1 & 0 & -1 & 1+1+1 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -1 & 1+1 & -1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1
 \end{pmatrix} & \begin{matrix} \ddot{u} \\ \ddot{u} \\ \ddot{u} \\ \ddot{u} \\ \ddot{u} \\ \ddot{u} \\ \ddot{u} \\ \ddot{u} \\ \ddot{u} \end{matrix} \\
 \begin{matrix} \xi \\ \zeta \\ \zeta \\ \zeta \\ \zeta \\ \zeta \\ \zeta \\ \xi \\ \xi \end{matrix} & \begin{matrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \\ f_5 \\ f_6 \\ v(t) \end{matrix} \\
 \begin{matrix} \xi \\ \zeta \\ \zeta \\ \zeta \\ \zeta \\ \zeta \\ \zeta \\ \xi \\ \xi \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix}
 \end{matrix} \quad (17)$$

Как видно из уравнений (17), диагональные элементы матрицы коэффициентов остаются положительными, а внедиагональные ненулевые элементы имеют знак "-".

На основании этого можно сформулировать правила, упрощающие формирование элементов матрицы коэффициентов:

1. При изменении направления одной из ветвей топологическая матрица изменяется, а компонентная остается прежней;
2. Диагональные элементы матрицы коэффициентов представляют собой сумму элементов соответствующей ячейки, взятых со знаком "+" и не зависят от направления ветвей;
3. Внедиагональные элементы матрицы коэффициентов представляют собой общие элементы смежных ячеек и берутся со знаком "-";
4. Изменение направления одной из ветвей не влияет на результат получения матрицы коэффициентов.

Выводы.

Показано, что формирования уравнений состояния для исследования вибрации механической системы проще проводить с использованием метода ячеек.

Предложены правила формирования матричных уравнений модели механической системы на основе метода ячеек. Эти правила позволяют формализовать процесс формирования элементов матрицы коэффициентов системы и упростить его за счет исключения операций умножения матриц.

Список литературы: 1. Шевченко С.М. Движение и удары в электрических аппаратах автоматического управления. – М.: Энергия, 1979. – 144 с. 2. Лелюк Н.А., Лутиков В.С. Исследование вибрации механических систем на основе аналогии с электрическими схемами замещения // Электротехника и электромеханика. – 2008. – №2. – С. 35-38. 3. Ильинский Н.Ф., Цаценкин В.К. Приложение теории графов к задачам электромеханики. – М.: Энергия, 1968. – 200с. 6. 4. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. – К.: Техніка, 1975. – 768 с. 5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1968. – 720 с.

Поступила в редколлегию 26.05.08