3. Караганов Л.Т., Прямицын Е.И. Расчет основных параметров жидкостнокольцевых вакуум-компрессоров // Сб. "Аппараты и машины кислородных и криогенных установок". - М.: Машиностроение, вып. 4, 1974. - С. 56 - 71.
4. Лукьянова А.И., Райзман И.А. Расчет усилий, действующих на ротор жидкостнокольцевой машины // Реф. сб. «Компрессорное и холодильное машиностроение». - М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1973. -№ 4.- С. 4 - 5.
5. Вертепов Ю.М., Григоров В.П. Экспериментальное определение газовых давлений в жидкостнокольцевых компрессорных машинах // Сб. трудов ЛТИХП. - Л., 1982. - С. !20 - 124.

Поступила в редколлегию 2 июня 1998 г.

УДК 534.1: 681.5

ИДЕНТИФИЦИРУЕМОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С КОНЕЧНЫМ ЧИСЛОМ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ

И.Д.Пузько, доц.; В.А.Хворост, доц.

В режимах вибрационной диагностики при проведении вибрационных испытаний машин, конструкций, узлов, деталей и приборов решаются задачи операторной, параметрической или функциональной идентифицируемости моделей, описывающих поведение различных классов механических колебательных систем (МКС) с конечным числом степеней свободы (МКСКЧСС) [1, 2] .

В частности, достаточное внимание обращается на применение методов декомпозиции, а также на методы и алгоритмы, основанные на применении ЭВМ [2].

В то же время имеет существенное значение разработка аналитических методов идентификации или гибридных экспериментально-аналитических методов [2].

В данном исследовании разработан метод, алгоритм реализации которого в некоторой степени аналогичен методу динамических жесткостей [3] и базируется на следующей теореме.

Теорема. Параметрическая идентифицируемость МКС с n степенями свободы имеет место при условии преобразования исходной МКС к множеству редуцированных МКС с одной степенью свободы путем формирования двух групп масс при жестком соединении масс в каждой группе, гибком соединении между группами масс, дискретном изменении массы в каждой группе при постоянной величине суммарной массы в обеих группах масс, равной суммарной массе МКСКЧСС.

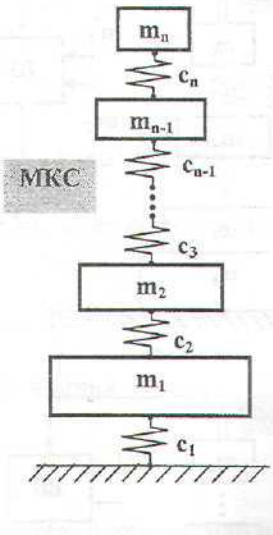

Рисунок 1

Доказательство теоремы основано на приведенном ниже алгоритме параметрической идентифицируемости МКС.

Доказательство. Рассмотрим модель в виде МКС с конечным числом степеней свободы, содержащей n масс $m_1, m_2, \ldots, m_n$, соединенных между собой упругими связями с коэффициентами жесткости $c_1, \ldots, c_n$ (рис.1).

Множество M масс $m_i \in M(i = \overline{1,n})$ разделяется на две группы M_I и M_{II} масс.

В частности, формируются ряды, соответствующие дискретно изменяемым массам M_I, M_{II}, в виде:

$$M_{I_1} = \sum_{i=1}^{n-1} m_i\,,\ M_{I_2} = \sum_{i=1}^{n-2} m_i\,,\ \dots\ M_{I_k} = \sum_{i=1}^{k} m_i\,,\dots\ M_{I_n} = 0\,;$$

$$M_{II_1} = m_n\,,\ M_{II_2} = \sum_{i=n-1}^{n} m_i\,,\ \dots\ M_{II_k} = \sum_{i=k+1}^{n} m_i\,,\dots\ M_{II_n} = \sum_{i=1}^{n} m_i$$

или формируются ряды, соответствующие дискретно изменяемым массам M_I, M_{II}, в виде:

$$M_{I_1} = 0,\ \ M_{I_2} = m_1, \dots M_{I_k} = \sum_{i=1}^{k} m_i, \dots M_{I_n} = \sum_{i=1}^{n-1} m_i\,;$$

$$M_{II_1} = \sum_{i=1}^{n} m_i\,,\ \ M_{II_2} = \sum_{i=2}^{n} m_i\,;\dots\ M_{II_k} = \sum_{i=k+1}^{n} m_i\,,\ \dots\ \ M_{II_n} = m_n\,.$$

Причем при любом характере формирования последовательности масс выполняется условие $M_I + M_{II} = \sum_{i=1}^{n} m_i$.

К одной из двух групп масс M_I или M_{II} приложено возбуждающее ее воздействие F.

Приведем алгоритм параметрической идентифицируемости консервативной МКС с n степенями свободы по этапам (рис.2).

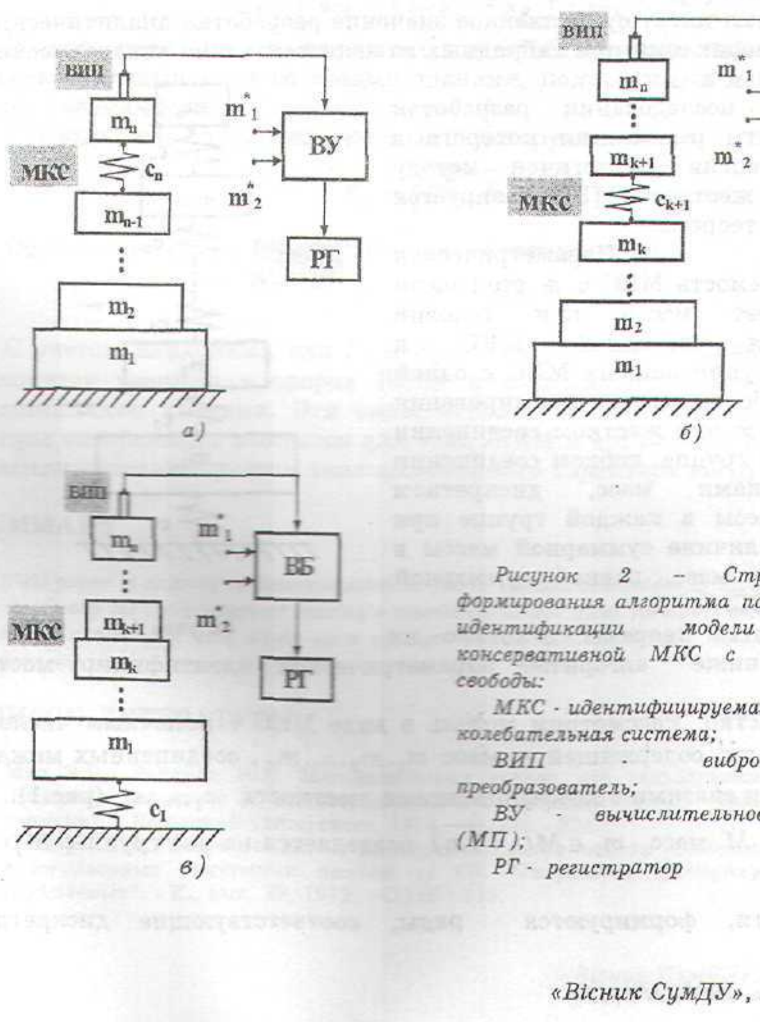

Рисунок 2 – Структуры для формирования алгоритма параметрической идентификации модели в виде консервативной МКС с n степенями свободы:

МКС - идентифицируемая механическая колебательная система;

ВИП - виброизмерительный преобразователь;

ВУ - вычислительное устройство (МП);

РГ - регистратор

Первый этап. Массы $m_1, ..., m_{n-1}$ жестко соединяются между собой и формируется первая группа масс, имеющая массу $M_I = \sum_{i=1}^{n-1} m_i$ и вторая группа масс, имеющая массу $M_{II} = m_n$ (рис.2а).

Группа масс M_I жестко соединяется с платформой источника возбуждающего воздействия F. Между массами M_I и M_{II} сохраняется гибкая связь c_n. Таким образом, формируется модель КС с одной степенью свободы, имеющая массу m_n и коэффициент жесткости c_n.

Возбуждаются свободные колебания массы m_n и определяется собственная частота ω_{n1}, равная

$$\omega_{n1}^2 = c_n / m_n . \tag{1}$$

Второй этап. На массе m_n устанавливается пробная масса m_1^*, жестко соединенная с массой $m_n = M_{II}$.

Возбуждаются свободные колебания массы $M_{II}^* = m_n + m_1^*$ и определяется собственная частота ω_{n2}, равная

$$\omega_{n2}^2 = c_n / (m_n + m_1^*) . \tag{2}$$

Третий этап. Из соотношений (1), (2) определяются искомые параметры m_n, c_n по формулам:

$$m_n = m_1^* / (\omega_{n1}^2 / \omega_{n2}^2 - 1) , \tag{3}$$

$$c_n = m_1^* / (\omega_{n2}^{-2} - \omega_{n1}^{-2}) . \tag{4}$$

Четвертый этап. Формируется масса M_{II}, равная сумме масс m_n и m_{n-1} $M_{II} = \sum_{h=n-1}^{n} m_h$ при жестком их соединении, и возобновляется гибкая связь между массами m_{n-1} и $M_I = \sum_{i=1}^{n-2} m_i$. Возбуждаются свободные колебания массы M_{II} и определяется собственная частота $\omega_{n-1,1}$ по формуле

$$\omega_{n-1,1}^2 = c_{n-1} / (m_n + m_{n-1}) . \tag{5}$$

Пятый этап. На массе M_{II} устанавливается пробная масса m_2^*, в общем случае не равная m_1^*. Хотя может быть и выполнено условие $m_2^* = m_1^*$. Возбуждаются свободные колебания массы $M_{II} + m_2^* = M_{II}^*$ и определяется собственная частота $\omega_{n-1,2}$ по формуле

$$\omega_{n-1,2}^2 = c_{n-1} / M_{II}^* = c_{n-1} / (m_n + m_{n-1} + m_2^*) . \tag{6}$$

Шестой этап. Из соотношений (3), (4), (5), (6) определяются искомые параметры m_{n-1}, c_{n-1}:

$$m_{n-1} = m_2^* \frac{\omega_{n-1,2}^2}{\omega_{n-1,1}^2 - \omega_{n-1,2}^2} - m_1^* \frac{\omega_{n2}^2}{\omega_{n1}^2 - \omega_{n2}^2}. \qquad (7)$$

В случае $m_1^* = m_2^*$ из (6) и (7) имеем:

$$m_{n-1} = m_1^* \frac{\omega_{n1}^2\omega_{n-1,2}^2 - \omega_{n2}^2\omega_{n-1,1}^2}{(\omega_{n1}^2 - \omega_{n2}^2)(\omega_{n-1,1}^2 - \omega_{n-1,2}^2)}, \qquad (8)$$

$$c_{n-1} = \omega_{n-1,1}^2(m_n + m_{n-1}) = m_2^* \frac{\omega_{n-1,1}^2\omega_{n-1,2}^2}{(\omega_{n-1,1}^2 - \omega_{n-1,2}^2)}. \qquad (9)$$

В случае $m_1^* = m_2^*$ имеем

$$c_{n-1} = m_1^* \frac{\omega_{n-1,1}^2\omega_{n-1,2}^2}{(\omega_{n-1,1}^2 - \omega_{n-1,2}^2)}. \qquad (10)$$

Таким образом, для определения параметров $m_n, c_n, m_{n-1}, c_{n-1}$ необходимо пройти шесть этапов, два из которых аналитически-вычислительные, а четыре формировочные. Для определения каждого параметра необходим один формировочный этап, а на каждые два параметра - один аналитически-вычислительный. Поэтому для определения оставшихся $m = 2n - 4$ параметров, где m - четное, необходимо пройти $m = 2n - 4$ формировочных этапа и $r = n - 2$ аналитически-вычислительных. Следовательно, число s дополнительных этапов равно

$$s = m + r = 2n - 4 + n - 2 = 3n - 6 = 3(n - 2).$$

В частности, рассмотрим промежуточный k - *этап* (рис.2б). На k-м этапе жестко соединяются между собой массы $m_n, m_{n-1}, \ldots, m_k$, формируя массу M_{II} в виде

$$M_{II} = \sum_{i=k}^{n} m_i, \qquad (11)$$

и жестко соединяются между собой массы $m_1, \ldots, m_{k-1}$, формируя массу M_I в виде

$$M_I = \sum_{i=1}^{k-1} m_i. \qquad (12)$$

Возобновляется гибкая связь c_k между массами M_{II} и M_I. Возбуждаются свободные колебания массы M_{II} и определяется собственная частота ω_{k1} по формуле

$$\omega_{k1}^2 = c_k \Big/ \sum_{i=k}^{n} m_i. \qquad (13)$$

***(k+1)* - *й этап*.** На массе M_{II} устанавливается пробная масса m_k^*, жестко соединенная с массой M_{II}. В общем случае $m_k^* \neq m_1^*$, хотя это условие может быть заменено другим $m_k^* = m_1^*$. Возбуждаются свободные