

колебания массы  $M_{II_k}^* = M_{II_k} + m_k^*$  и определяется собственная частота  $\omega_{k2}$ :

$$\omega_{k2}^2 = c_k / M_{II_k}^* = c_k / \sum_{i=k}^n (m_i + m_k^*). \quad (14)$$

(k+2) - й этап. Из соотношений (13), (14) получим формулы для определения искомых параметров  $m_k, c_k$ :

$$m_k = m_k^* \frac{\omega_{k2}^2}{\omega_{k1}^2 - \omega_{k2}^2} - \sum_{i=k+1}^n m_i, \quad (15)$$

$$c_k = m_k \omega_{k1}^2 + \omega_{k1}^2 \sum_{i=k+1}^n m_i = m_k^* \frac{\omega_{k1}^2 \omega_{k2}^2}{\omega_{k1}^2 - \omega_{k2}^2}. \quad (16)$$

Для получения явного соотношения для  $m_k$  согласно (15) следует принять во внимание соотношение (8).

Структуры для формирования алгоритма параметрической идентификации модели в виде консервативной МКС с  $n$  степенями свободы приведены на рис.2.

Таким образом, в работе обоснован подход, сформулирован метод и приведен алгоритм при введении ограничений на топологию распределения масс в колебательной системе с конечным числом степеней свободы, позволяющие решить задачу параметрической идентифицируемости.

## SUMMARY

The research gives a valid approach, formulated theorem and algorithm on setting limits for topology of mass distribution in mechanical oscillation systems with finite number of natural exponents that enables to solve problems of parametric identifiability.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Божко А.Е., Личкатый Е.А., Полищук О.Ф. и др. Резонансные виброиспытательные системы/ Под ред. А.Е. Божко:АН Украины, ин-т проблем машиностроения. - Киев: Наук. думка, 1992. - 248 с.
2. Редько С.Ф., Ушкалов В.Ф., Яковлев В.П. Идентификация механических систем. Определение динамических характеристик и параметров. - Киев: Наук. думка, 1985. - 216 с.
3. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. - М.: Высш. школы, 1980. - 408с.

Поступила в редколлегию 21 сентября 1998 г.

УДК 539.4: 620.178.32

## К ВОПРОСУ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЕЙ

И.Д. Пузько, доц.

При разработке систем воспроизведения вибраций на основе вибростендов электродинамического типа (ЭДВ) необходимо обеспечить постоянство амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) в возможно

более широком диапазоне частот [1,2,3].

Однако в известных исследованиях коррекции АЧХ ЭДВ уделено недостаточно внимания. Поэтому разработанные устройства на основе ЭДВ не удовлетворяют в полном объеме требованиям практики [1,2,3].

Результаты фундаментальных исследований, приведенные в [2], позволяют значительно расширить класс задач параметрической коррекции ЭДВ за счет учета частотного диапазона воспроизводимых вибраций и влияния характера крепления испытуемого объекта на модель подвижной системы ЭДВ.

Однако некоторые аспекты вопросов параметрической коррекции остались вне поля зрения исследователей.

Проведем анализ и представим алгоритмы для формирования структурных схем параметрической коррекции ЭДВ для различного типа моделей ЭДВ, которые определяются диапазоном частот воспроизводимых вибраций.

**Случай 1** Коррекция для упрощенной модели ЭДВ в виде неоднородного дифференциального уравнения второго порядка

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + cx = F(t) \quad (1)$$

или в операторной форме

$$(mp^2 + bp + c)x(p) = F(p). \quad (2)$$

Сформируем операционное изображение сигнала после преобразования с выхода задающего генератора

$$V_c(p) = (k_1p^2 + k_2p + k_3)V_r(p). \quad (3)$$

Сравнивая (2) и (3), получим соотношение

$$V_r(p)/x(p) = (k_1p^2 + k_2p + k_3)/(mp^2 + bp + c). \quad (4)$$

При условии  $k_1 = m$ ,  $k_2 = b$ ,  $k_3 = c$  из (4) следует соотношение

$$V_r(p) = x(p). \quad (5)$$

При изменении инерционно-жесткостных и диссипативных параметров:

$$m^* = m \pm \Delta m, \quad b^* = b \pm \Delta b, \quad k^* = k \pm \Delta k \quad (6)$$

уравнение (2) принимает вид

$$\left[ p^2(m \pm \Delta m) + p(b \pm \Delta b) + (c \pm \Delta c) \right] x(p) = F(p) \pm \Delta F(p) = F^*(p). \quad (7)$$

Для выполнения условия (5) необходимо скорректировать операционное изображение сигнала  $V_c(p)$  за счет изменения коэффициентов  $k_1, k_2, k_3$  и сформировать  $V_c^*(p)$  в виде

$$V_c^*(p) = V_c(p) \pm \Delta V(p) = \left[ p^2(k_1 \pm \Delta_1 k) + p(k_2 \pm \Delta_2 k) + (k_3 \pm \Delta_3 k) \right] V_r(p). \quad (8)$$

Для выполнения условия  $V_c^*(p) = F^*(p)$  при учете (7), (8) необходимо обеспечить систему равенств:

$$\left. \begin{aligned} m \pm \Delta m &= k_1 \pm \Delta_1 k, \\ b \pm \Delta b &= k_2 \pm \Delta_2 k, \\ c \pm \Delta c &= k_3 \pm \Delta_3 k. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Выполнение условия

$$V_r \pm \Delta V_r = x \pm \Delta x \quad (10)$$

обеспечивается структурной схемой, приведенной на рис. 1, где введены обозначения: ЗГ - задающий генератор периодических сигналов; СМ - сумматор; УМ - усилитель мощности; БОС - блок обратной связи; ВИП - виброизмерительный преобразователь перемещения; БД<sub>i</sub> ( $i = \overline{1,4}$ ) - блоки дифференцирования; УС<sub>i</sub> ( $i = \overline{1,3}$ ) - усилители с регулируемыми коэффициентами усиления; СУ<sub>i</sub> ( $i = \overline{1,3}$ ) - согласующие усилители; В<sub>i</sub> ( $i = \overline{1,6}$ ) - выпрямители; Ф<sub>i</sub> ( $i = \overline{1,6}$ ) - сглаживающие фильтры; БС<sub>i</sub> ( $i = \overline{1,3}$ ) - блоки сравнения.

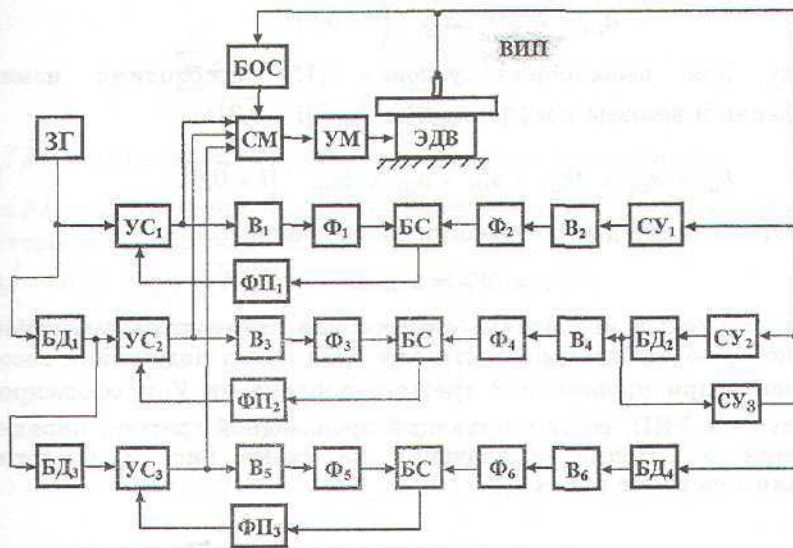


Рисунок 1

Случай 2 Коррекция для модели в виде неоднородного дифференциального уравнения третьего порядка, соответствующего низкочастотной области воспроизведения вибраций.

Операционное изображение уравнения в этом случае имеет вид [1,2]

$$\left( \sum_{i=0}^3 a_{iH} p^i \right) x(p) = F(p), \quad (11)$$

где  $a_{iH}$  - коэффициенты, зависящие от параметров ЭДВ.

Для решения задачи параметрической коррекции операционное изображение сигнала на выходе ЗГ следует скорректировать в соответствии с операционным изображением необходимого для этого случая силового воздействия (11)

$$\left( \sum_{i=0}^3 k_{iH} p^i \right) V_r(p) = V_y(p), \quad (12)$$

где  $k_{iH}$  ( $i = \overline{0,3}$ ) - весовые коэффициенты.



**Случай 3** Коррекция для модели в виде неоднородного дифференциального уравнения пятого порядка, соответствующего высокочастотной области воспроизведения вибраций.

Операционное изображение уравнения, описывающего динамику ЭДВ, в этом случае имеет вид [1,2]

$$\left( \sum_{i=0}^5 a_{iB} p^i \right) x(p) = \left( \sum_{j=0}^1 b_{jB} p^j \right) F(p), \quad (19)$$

где  $a_{iB} (i = \overline{0,5})$ ,  $b_{jB} (j = \overline{0,1})$  - коэффициенты, определяемые параметрами ЭДВ. Выражения для этих коэффициентов приведены в [1,2].

Для решения задачи параметрической коррекции операционное изображение сигнала  $V_y$  с выхода задающего генератора должно иметь вид, соответствующий соотношению (19)

$$\left( \sum_{i=0}^5 k_{iB} p^i \right) V_r(p) = \left( \sum_{j=0}^1 d_{jB} p^j \right) V_y(p), \quad (20)$$

где  $V_y(p)$  - операционное изображение сигнала управления;

$V_r(p)$  - операционное изображение сигнала с выхода задающего генератора до преобразования;

$k_{iB} (i = \overline{0,5})$ ,  $d_{jB} (j = \overline{0,1})$  - весовые коэффициенты.

Из (19), (20) следует, что выполнение условия

$$V_y(p) = F(p) \quad (21)$$

или

$$V_r(p) / x(p) = \left( \sum_{i=0}^5 a_{iB} p^i \right) / \left( \sum_{i=0}^5 k_{iB} p^i \right) \quad (22)$$

осуществляется при такой настройке коэффициентов  $k_{iB} (i = \overline{0,5})$ , которая обеспечивает равенство

$$k_{iB} = a_{iB} \quad (i = \overline{0,5}). \quad (23)$$

При изменении параметров ЭДВ изменяются коэффициенты  $a_{iB} (i = \overline{0,5})$  в соответствии с соотношением

$$a_{iB}^* = a_{iB} \pm \Delta a_{iB} \quad (i = \overline{0,5}). \quad (24)$$

Поэтому для выполнения условия (21) или (22) необходимо изменить соответственно и весовые коэффициенты  $k_{iB} (i = \overline{0,5})$ . Равенство (23) в этом случае принимает вид

$$k_{iB}^* = k_{iB} \pm \Delta k_{iB} = a_{iB}^* = a_{iB} \pm \Delta a_{iB} \quad (i = \overline{0,5}). \quad (25)$$

Структурная схема для реализации параметрической коррекции в этом случае аналогична структурной схеме, приведенной на рис.2, в которую необходимо дополнительно ввести еще каналы подстройки весовых коэффициентов при производных четвертого и пятого порядков от  $V_r$ .

Таким образом, в работе рассмотрен вопрос параметрической

коррекции систем воспроизведения вибраций на основе электродинамических вибровозбудителей. Приведены структурные схемы амплитудно-частотной коррекции для различных участков частотного диапазона воспроизводимых вибраций.

## SUMMARY

*The research deals with problems of the reproduction systems' parametric correction on the basis of electrodynamic vibrio-exciter. Structural schemes of amplitude-frequency correction for different sections over the frequency range of the reproducing vibrations are represented.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Божко А.Е. Оптимальное управление в системах воспроизведения вибраций. - Киев: Наук. думка, 1977. - 219 с.
2. Божко А.Е., Пермяков В.И., Путыл В.А. Методы проектирования электромеханических вибровозбудителей. - Киев: Наук. думка, 1989. - 208 с.
3. Божко А.Е., Личкатый Е.А., Полищук О.Ф. и др. Резонансные виброиспытательные системы. - Киев: Наук. думка, 1992. - 248 с.

*Поступила в редколлегию 21 сентября 1998 г.*

УДК 621.57

## АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ГРУНТА

*В.И.Шевель, асп.*

Проблема обеспечения растущих потребностей в топливоэнергетических ресурсах включает комплекс задач по поиску и разработке альтернативных источников энергии и внедрению рациональных способов сокращения расхода топлива.

Одним из эффективных мероприятий по экономии топлива, а также по защите окружающей среды представляется широкое использование теплонасосных установок, преобразующих природную низкопотенциальную теплоту и тепловые отходы в теплоту более высокой температуры, пригодную для теплоснабжения. Грунт является одним из таких источников теплоты.

В верхних слоях земной оболочки, называемой почвами, или грунтами, в течение года происходят непрерывные изменения температурного и влажностного режимов. Совокупность этих изменений, главным образом, нагревание и охлаждение, увлажнение и высыхание, таяние и промерзание, существенно отражается на поступлении тепла на испаритель теплонасосной установки. Поэтому необходимо иметь полное представление о таких процессах, как поступление солнечной энергии на земную поверхность, её трансформирование в поверхностном слое, изменение теплового и влажностного режимов слоя от сезонных колебаний температуры. Иначе говоря, необходимо знать тепловой баланс земной поверхности.

Большая часть территории Украины представляет собой область с сезонно промерзающим слоем почв и горных пород. При промерзании и оттаивании грунтов происходят их пучение и осадка, достигающие в природных условиях 20-30 см, и другие опасные для целостности сооружений явления. Тепловой режим подпочвенного слоя формируется в результате процессов тепло- и массообмена с атмосферным и лежащими глубже слоями, а также вследствие переноса тепла грунтовыми водами. К сожалению, до сих пор очень мало внимания уделялось изучению составляющих теплового баланса за зимний период, особенно теплового