

Данная модель вполне может быть успешно реализована именно для специалистов, которые нуждаются в переподготовке или повышении квалификации, так как они более мотивированы, чем студенты, получающие первое высшее образование, и они обладают необходимыми навыками самоорганизации и управления вре-

менем, способностью к коммуникации в письменной форме, инициативностью и установкой на высокий стандарт достижений. Такая модель образования позволяет свести к минимуму временные затраты, связанные с организацией обучения, и перенести их на сам образовательный процесс.

### Технические науки

#### СМЕШАННЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ВИБРОПОЛЕЙ

Крупенин В.Л.

Учреждение Российской академии наук  
ИМАШ РАН им. А.А. Благодирова, Москва,  
e-mail: krupeninster@gmail.com

Рассмотрим класс достаточно общих объектов, анализ которых осуществляется в рамках классических воззрений линейно механики сплошной среды. Ставится задача о распространении в таких объектах (протяженных машинных конструкциях) сильно нелинейных упругих волн, генерируемых виброударными процессами.

Моделирование данной системы «в целом» – весьма трудоемко [1]. Можно, однако, указать некоторые достаточно общие модели, сочетающие в себе аксиоматику разных разделов физики и механики, позволяющие получить приемлемые, даже аналитические описания интересных динамических эффектов (модель типа «сплошная среда – вибровод»).

Вначале предполагается существование упругой среды, описываемой вектором перемещений  $u(x, t)$  ( $x \in R^3$ ,  $t \in R$ ), и описываемой классическим уравнением Ламе:

$$\rho u_{tt} = (\lambda + \mu) \operatorname{grad} \operatorname{div} u + \mu \Delta u + F, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность несущей среды, существование которой постулируется, параметры Ламе характеризуют ее упругость. Интенсивность объемных сил имеет следующую структуру:

$$F = F_1 + F_0,$$

где  $F_1$  – заданный вектор, а

$$F_0(x, t) = -c_1(u - y_n^{(1)}) - c_2(u - y_n^{(II)}). \quad (2)$$

С каждой точкой упругой несущей среды связана ударная пара, состоящая из двух взаимодействующих линейных склерономных подсистем  $A^{(I)}(x)$  и  $A^{(II)}(x)$ , определяемых системами операторов динамической податливости  $L_{qj}^{(I)} = O(p^{-2})$ ;  $L_{lk}^{(II)} = O(p^{-2})$ , где  $p \equiv d/dt$  оператор дифференцирования; индексы  $q, j, l$  и  $k$  изменяются на некоторых множествах, определяемых размерностями взаимодействующих подсистем, параметры которых могут, вообще говоря, зависеть от координат  $x$ . Для замыкания системы (1), (2) добавим соотношения

$$y_n^{(I,II)} = L_{nn}^{(I,II)}(p)c_{1,2}u \pm \pm L_{kn}^{(I,II)}(p)\Phi_1(y^0, y^0_t) + f_n^{(I,II)}; \quad (3)$$

$$y_k^{(I,II)} = L_{nk}^{(I,II)}(p)c_{1,2}u \pm \pm L_{kk}^{(I,II)}(p)\Phi_1(y^0, y^0_t) + f_k^{(I,II)}, \quad (4)$$

где  $y_n^{(I,II)}(x, t)$  и  $y_k^{(I,II)}(x, t)$  – перемещения точек подвеса и взаимодействия,  $y^0 = y_k^{(II)} - y^{(I)}$  – относительное сближение ударников взаимодействующих подсистем, к которым приведены плотности  $m_{II}(x)$  и  $m_I(x)$ ;  $\Phi_1(y^0, y^0_t)$  – плотность силы удара (для системы  $A^{(I)}$  в (3) и (4) выбираем знак «плюс», для  $A^{(II)}$  – «минус»); в эти же уравнения могут быть внесены какие-либо функции  $f_s^{(I,II)}, \dots$ , описывающие дополнительные внешние воздействия.

Граничные условия становятся точно так же, как и в классическом варианте – для уравнения (1), моделирующего несущую конструкцию (ее физические и геометрические качества). Частотные свойства амортизированного оборудования, генерирующего виброударные процессы, дает модель присоединенной части среды, содержащей распределенный ударный элемент.

Механизм связи несущей и присоединенной частей определяет структуру искомого глобального вибрационного поля. Данный подход – весьма общий, но возможно жертвует информацией об особенностях каких-либо конкретных элементов системы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 10-08 – 00500).

#### Список литературы

1. Крупенин В.Л. Модель сильно нелинейной вибропроводящей среды с распределенным ударным элементом // ДАН. – 1995. – Т. 343, №6. – С. 759-763.

#### К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ

Стельмах В.О., Ковалев Д.И.,  
Лайков А.Н., Реутов А.А.

Сибирский федеральный университет, Красноярск,  
e-mail: stelmakh.vladimir@gmail.com

Разработка отказоустойчивого программного обеспечения (ПО) – отдельный аспект разработки надежных информационно-управляющих систем (ИУС), так как системная надежность зависит от надежности как аппаратных, так и программных компонент [1]. Как правило, надежностное проектирование ИУС фокусируется на критичных частях аппаратного обеспечения системы. Однако во многих областях науки и