Автором для оценки возможностей построения структуры вибрационного поля использована передаточная функция межпарциальных связей:

$$\underset{\bar{z}_1=\bar{z},\,\bar{z}_2=\bar{z}_3=\bar{z}}{W_{12}(p)} = \frac{\bar{y}_2}{\bar{y}_1} = \frac{(Ma^2 + Jc^2 + m_1 i_1^2)p^2 + k_1 + k_{10} i_1^2 + (Jc^2 - Mab)p^2}{(Mb^2 + Jc^2 + m_2 i_2^2)p^2 + k_2 + k_{20} i_2^2 + (Jc^2 - Mab)p^2}. \quad (1)$$

При построении коэффициента связности амплитуд колебаний (1) рабочего органа учитывается совместное действие двух внешних сил. Технология выбора параметров вибрационной машины предполагает возможности изменения параметров дополнительных связей в виде рычажных механизмов, имеющих возможность регулирования значений приведенных масс и передаточных отношений рычажных механизмов.

2 Особенности динамических свойств системы. Разработана методика выбора параметров, при которых коэффициент связности амплитуд колебаний [выражение (1)] приравнивается единице. Такой вариант структуры вибрационного поля может использоваться в конкретных технологических процессах. Подход, предлагаемый автором, позволяет также и другие формы реализации структуры вибрационного поля.

Заключение. На основе проведенных исследований показано, что вибрационное поле вибрационной технологической машины формируется под действием нескольких факторов, которые определяются одновременностью совместного действия нескольких силовых возмущений, несимметричностью инерционных и упругих свойств механической системы, наличием дополнительных связей и др.

Автором предлагается метод формирования структуры и параметров вибрационного поля технического объекта на основе введения дополнительных связей, реализуемых рычажными механизмами. Разработана технология построения математических моделей для оценки возможностей корректировки и настройки вибрационных полей путем выбора параметров дополнительных связей. Показано, что использование передаточных функций парциальных связей дает возможность получения аналитических соотношений параметров системы, обеспечивающих необходимый режим функционирования, в том числе и с возможностями реализации режима создания однородного поля, не зависящего от частоты силового возмущения, что требуется для многих технологических и транспортных объектов.

Показаны возможные использования метода и технологий его реализации для формирования структур вибрационных полей частного вида, когда определенные условия распределения амплитуд колебаний точек рабочего органа создаются в ограниченных частотных границах.

Список литературы

1 **Елисеев, С. В.** Прикладная теория колебаний в задачах динамики линейных механических систем / С. В. Елисеев, А. И. Артюнин. – Новосибирск : Наука, 2016. – 459 с.

2 Патент 2654276 RUS, МПК F16F 15/04, F16F 7/08. Способ динамического гашения колебаний тягового двигателя локомотива и устройство для его осуществления / С. В. Елисеев, А. В. Елисеев, Е. В. Каимов, Р. С. Большаков, Е. В. Филатов, А. С. Миронов, К. Ч. Выонг. – 2017109361 ; заявл. 20.03.2017 ; опубл. 17.05.2018. Бюл. № 14.

3 Некоторые возможности динамического гашения колебаний в системах с несколькими степенями свободы / С. В. Елисеев [и др.] // Вестник Брянского гос. технич. ун-та. – 2017. – № 1(54). – С. 290–301.

4 **Кинаш, Н. Ж.** Связность движения элементов и формы внешних воздействий: математические модели взаимодействий в цепных структурах / Н. Ж. Кинаш, В. Б. Кашуба, К. Ч. Выонг // Системы. Методы. Технологии. – Братск. – 2016. – № 4(32). – С. 28–38.

УДК 539.3, 539.8

МОДЕЛЬ НЕСТАЦИОНАРНЫХ УПРУГОДИФФУЗИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ БАЛКИ ТИМОШЕНКО

У. С. ГАФУРОВ, А. В. ЗЕМСКОВ
Московский авиационный институт (НИУ)

Д. В. ТАРЛАКОВСКИЙ
НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, Российская Федерация

Рассматривается задача о нестационарных колебаниях балки Тимошенко. Схема приложенных сил и изгибающих моментов, а также ориентация осей прямоугольной декартовой системы координат представлена на рисунке 1.

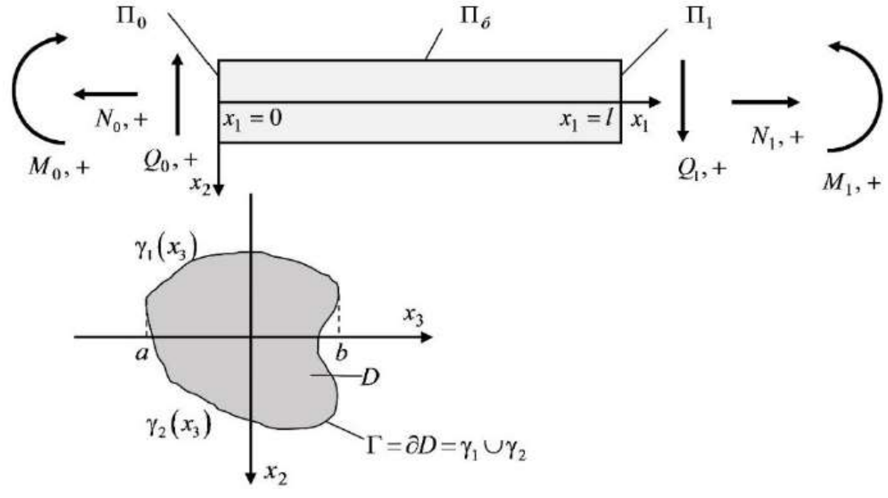

Рисунок 1 – Иллюстрация к постановке задачи

Для математической постановки задачи используется модель упругодиффузионных процессов в сплошных средах в прямоугольной декартовой системе координат, которая в случае однородной среды имеет вид [1, 2]

$$\ddot{u}_i = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + F_i, \quad \dot{\eta}^{(q)} = -\frac{\partial J_i^{(q)}}{\partial x_i} + Y^{(q)} \quad \left(q = \overline{1, N}\right), \tag{1}$$

где σ_{ij} и $J_i^{(q)}$ – компоненты тензора напряжений и вектора диффузионного потока, которые определяются следующим образом $\left(q = \overline{1, N}\right)$:

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl}\frac{\partial u_k}{\partial x_l} - \sum_{q=1}^{N} \alpha_{ij}^{(q)} \eta^{(q)}, \quad J_i^{(q)} = -\sum_{t=1}^{N} D_{ij}^{(q)} g^{(qt)} \frac{\partial \eta^{(t)}}{\partial x_j} + \Lambda_{ijkl}^{(q)} \frac{\partial^2 u_k}{\partial x_j \partial x_l}. \tag{2}$$

Здесь точки обозначают производную по времени. Все величины в (1) и (2) являются безразмерными. Для них приняты следующие обозначения:

$$x_i = \frac{x^*_i}{l}, \quad u_i = \frac{u^*_i}{l}, \quad \tau = \frac{Ct}{l}, \quad C_{ijkl} = \frac{C^*_{ijkl}}{C_{1111}}, \quad C^2 = \frac{C^*_{1111}}{\rho}, \quad \alpha_{ij}^{(q)} = \frac{\alpha_{ij}^{*(q)}}{C_{1111}};$$
$$D_{ij}^{(q)} = \frac{D_{ij}^{*(q)}}{Cl}, \quad \Lambda_{ijkl}^{(q)} = \frac{m^{(q)} D_{ij}^{*(q)} \alpha_{kl}^{*(q)} n_0^{(q)}}{\rho R T_0 C l}, \quad F_i = \frac{F_i^*}{C_{1111}}, \quad Y^{(q)} = \frac{l Y^{*(q)}}{C}, \tag{3}$$

где t – время; x_i^* – прямоугольные декартовы координаты; u_i^* – компоненты вектора перемещений; l – длина балки; $\eta^{(q)} = n^{(q)} - n_0^{(q)}$ – приращение концентрации q-й компоненты вещества в составе N – компонентной среды; $n^{(q)}$ и $n_0^{(q)}$ – актуальная и начальная концентрации q-го вещества; C_{ijkl}^* – компоненты тензора упругих постоянных; ρ – плотность; $\alpha_{ij}^{*(q)}$ – коэффициенты, характеризующие объёмное изменение среды за счёт диффузии; $D_{ij}^{*(q)}$ – коэффициенты самодиффузии; R – постоянная Больцмана; T_0 – температура среды; $m^{(q)}$ – молярная масса q-го вещества.

Замыкают постановку задачи начально-краевые условия на пространственно-временном множестве $G \times \{\tau \geq t_0\}$, где G – геометрическая область с границей $\Pi = \partial G$.

Начальные условия:

$$u_i\big|_{\tau=t_0} = u_{i0}, \quad \frac{\partial u_i}{\partial \tau}\bigg|_{\tau=t_0} = v_{i0}, \quad \eta^{(q)}\big|_{\tau=t_0} = \eta_0^{(q)}, \; q = \overline{1, N}. \tag{4}$$

Здесь u_{i0}, v_{i0}, $\eta_0^{(q)}$ – заданные функции пространственных координат. Далее будем полагать, что $t_0 = 0$, $u_{i0} = 0$, $v_{i0} = 0$, $\eta_0^{(q)} = 0$.

Граничные условия (область G ограничена; n_i – компоненты единичного вектора внешней нормали к ∂G, $\partial G = \Pi_u \bigcup \Pi_\sigma$, $\partial G = \Pi_\eta \bigcup \Pi_J$):

$$u_i\big|_{\Pi_u} = U_i, \quad \sigma_{ij} n_j\big|_{\Pi_\sigma} = P_i, \quad \eta^{(q)}\big|_{\Pi_\eta} = N^{(q)}, \quad J_i^{(q)}\big|_{\Pi_J} = I_i^{(q)} \left(\tau > 0,\ q = \overline{1, N}\right). \tag{5}$$

Величины, стоящие в правых частях граничных условий, – поверхностные кинематические U_i, $N^{(q)}$ и динамические P_i, $I_i^{(q)}$ возмущения.

Для построения уравнений изгиба балки переходим к вариационной формулировке задачи (1)–(5). Согласно вариационному принципу Гамильтона соотношения (1)–(5) можно рассматривать как условие стационарности некоторого функционала $H\left(u_i, \eta^{(q)}\right)$, вариация которого имеет вид

$$\delta H = \int_{t_1}^{t_2} \left(\delta L - \delta E\right) d\tau, \tag{6}$$

где $L\left(u_i, \eta^{(q)}\right)$ – функционал Лагранжа, $E\left(\dot{u}_i, \dot{\eta}^{(q)}\right)$ – кинетическая энергия системы.

Применительно к задаче (1)–(5) вариация (6) записывается так:

$$\delta H = \int_{t_1}^{t_2} d\tau \int_G \left(\ddot{u}_i - \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} - F_i \right) \delta u_i dG + \sum_{q=1}^{N} \int_{t_1}^{t_2} d\tau \int_G \left(\dot{\eta}^{(q)} + \frac{\partial J_i^{(q)}}{\partial x_i} - Y^{(q)} \right) \delta \eta^{(q)} dG +$$

$$+ \int_{t_1}^{t_2} \iint_{\Pi_\sigma} \left(\sigma_{ij} n_j - P_i \right) \delta u_i dS d\tau + \sum_{q=1}^{N} \int_{t_1}^{t_2} \iint_{\Pi_J} \left(J_i^{(q)} - I_i^{(q)} \right) n_i \delta \eta^{(q)} dS d\tau.$$

Далее, для построения уравнений изгиба принимаются, что:

– поперечные прогибы балки малы;

– сечения, перпендикулярные к оси балки до деформации, остаются плоскими и после деформации (гипотеза плоских сечений).

Используя необходимое условие стационарности функционала Гамильтона, получаем модель нестационарного плоского изгиба упругодиффузионной балки Тимошенко. Для решения полученной задачи применяется интегральное преобразование Лапласа по времени и разложение в ряды Фурье.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 17-08-00663 А).

Список литературы

1 **Князева, А. Г.** Задачи теории термоупругой диффузии в процессах поверхностной обработки материалов / А. Г. Князева, Е. С. Ильина, В. Н. Демидов // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики, Казань, 20–24 августа 2015 г. – С. 1818–1820.

2 **Земсков, А. В.** Постановка задачи о нестационарных упругодиффузионных колебаниях балки Эйлера-Бернулли / А. В. Земсков, Д. В. Тарлаковский // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXIV Междунар. симпозиума, посвящ. А. Г. Горшкову. – Т. 2. – М. : ООО «ТРП», 2018. – С. 152–157.

УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ЭПОКСИДНО-ПОЛИЭФИРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИН

А. Г. ГЕТМАНОВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

В работе исследовались объемные значения механических свойства органических покрытий на основе эпоксидной смолы (DGEBA DER 332) и двух диаминов сомономеров (IPD и 3DCM). Покрытия наносились на подложки из алюминиевых и титановых сплавов. Для изучения влияния толщины покрытия на степень реакции подложки из обоих сплавов и сравнения с объемными значениями использовался метод дифференциальной сканирующей калометрии и около инфракрасной спектроскопии. Остаточное напряжение и модуль Юнга покрытий были рассчитаны с использованием одномерного анализа, основанного на теории пучка с введением биаксиального модуля для изотроп-