жения. Таким образом, длительность переходных процессов (время регулирования) при реализации закона ПИД-регулятора сокращается до 0,02–0,05 с при одновременном уменьшении диапазона изменения напряжения с 58–160 В до 100–150 В. Такие показатели качества электроэнергии удовлетворяют современные требования, предъявляемые к системам электроснабжения, то есть это означает, что система исправна.

К тому же составлена программа, которая позволяет диагностировать подшипники качения электрических машин. В разработке программы учитывался механизм возникновения сил при отказах подшипниковых опор генераторов – осевом заклинивании и перекосе внешнего кольца «плавающего» подшипника в посадочной втулке [6, 7]. По итогам моделирования была определена зависимость преобразования колебательного движения ротора в электрический сигнал. По величине этого сигнала оценивается состояние электрической машины (исправность подшипниковых опор), прогнозируется состояние оцениваемого узла машины.

Сигнал формируется с помощью сигнальной обмотки (обмотка индуктора генератора) по величине воздушного зазора между статором и ротором электрической машины. Предложена модель источника сигнала, которая позволяет определить допустимые его значения, соответствующие нормальному режиму работы подшипниковых опор. Определены значения сигнала при допустимых значениях радиального зазора в исправных подшипниках.

Таким образом, использование пакета Simulink программы MatLab позволяет проводить диагностику и исследования элементов транспортных систем, формализовав и минимизировав при этом затраты на выполнение данных операций.

Список литературы

1 **Схиртладзе, А. Г.** Надежность и диагностика технологических систем / А. Г. Схиртладзе. – М. : Новое знание, 2008. – 518 с.

2 **Воробьев, В. Г.** Надежность и техническая диагностика авиационного оборудования : учеб. / В. Г. Воробьев, В. Д. Константинов. – М. : МГТУ ГА, 2010. – 448 с.

3 **Маслолюбов, Ю. П.** Введение в Neural Network Toolbox [Электронный ресурс] / Ю. П. Маслолюбов. – Режим доступа : http://matlab.exponenta.ru/neuralnetwork/book1/index.php. – Дата доступа : 05.11.2019.

4 **Алексеев, А. Е.** Конструкция электрических машин / А. Е. Алексеев. – М. : Государственное энергетическое издательство, 2010. – 448 с.

5 **Гамм, А. З.** Статистические методы оценивания состояния электроэнергетических систем / А. З. Гамм. – М. : Наука, 1976. – 220 с.

6 **Ленин, В. Е.** Вибродиагностика машин и механизмов / В. Е. Ленин, Л. Н. Патрикеев. – М. : НГТУ, 2010. – 106 с.

7 **Черменский, О. Н.** Подшипники качения : справочник-каталог / О. Н. Черменский. – М. : Машиностроение-1, 2003. – 577 с.

УДК 539.3

НЕКОТОРЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ УПРУГИХ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

А. М. КАРИМОВ

Ташкентский государственный университет транспорта, Республика Узбекистан

В настоящей работе дается постановка первой начально-краевой задачи для упругих волокнистых композитов периодической структуры. Поставленная задача решается методом осреднения [1], основанным на асимптотическом разложении по малому параметру α, который равен отношению характерного размера ячейки периодичности к характерному размеру рассматриваемой среды.

Анализируется случай, когда на границе композиционного тела, армированного волокнами, действует вектор усилий $\vec{S}^{0}$, который является однородной функцией времени степени *n*. Тогда имеем граничные условия в виде

$$C_{ijkl}u_{k,l}n_j\Big|_{\Gamma} = S_i^0(x_\beta t),$$

где $\vec{u}$ – вектор перемещений, $\vec{n}$ – единичный вектор нормали к поверхности рассматриваемого тела.

Тензор модуля упругости C_{ijkl} и плотность ρ рассматриваемого композита являются периодическими функциями координат x_1, x_2 и имеют вид

$$C_{ijkl} = \lambda(x_1;x_2)\delta_{ij}\delta_{kl} + \mu(x_1;x_2)\left(\delta_{ij}\delta_{kl} + \delta_{il}\delta_{jk}\right),\ \rho = \rho(x_1;x_2),$$

где $\lambda_\beta, \mu_\beta, \rho_\beta$ (β = 1, 2) – параметры Ламе и плотность материалов матрицы и волокна, соответственно; δ_{ij} – дельта Кронекера:

$$\left\{\lambda(x_1;x_2);\mu(x_1;x_2);\rho(x_1;x_2)\right\} = \begin{cases} \lambda_1;\mu_1;\rho_1 & \text{при } (x_1;x_2) \in \text{Матрица} \\ \lambda_2;\mu_2;\rho_2 & \text{при } (x_1;x_2) \in \text{Волокно} \end{cases}$$

Предположим, что решение затухает на бесконечности и объемные силы отсутствуют. Также имеются нулевые начальные данные.

Динамическая задача теории упругости для волокнистого композита периодической структуры заключается в решении дифференциальных уравнений

$$\left[C_{ijkl}(\vec{x})u_{k,l}\right]_{,j} = \rho(\vec{x})\frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2}$$

относительно компонента вектора перемещений $\vec{u}$ при удовлетворении граничных условий и нулевых начальных данных.

Применяя хорошо разработанный алгоритм метода осреднения в длинноволновом приближении [2], получим приближенно аналитическое решение поставленной задачи в виде

$$\partial_t^{n+2}u_i(\vec{x},t) = 2\pi(-i)^{n+2}\partial_t^{n+2}v_i(\vec{x},t) + \alpha N_{ijk}\partial_t^{n+2}v_{j,k}(\vec{x},t);$$

$$\partial_t^{n+2}v_i = \sum_{M=4}^{6}\oint_{|\eta|=1}\frac{B^M\left(\Omega^M,\eta_\beta\right)\tilde{S}^0}{t+\zeta_{3,\Omega}^M x_3}ds$$

где η_1, η_2 – параметры преобразования Фурье, $\tilde{S}^0$ – Фурье-образ вектора усилий $\vec{S}^0$, B^M – решения характеристического уравнения. Значения M выбраны таким образом, чтобы ζ_3^M не имел положительной мнимой части [3]. $\vec{N}$ – так называемые локальные функции, периодические по «быстрым» переменным $\xi_\beta = \dfrac{x_\beta}{\alpha}$ (β = 1, 2). Тензоры эффективных модулей упругости определяются из решения рекуррентной последовательности краевых задач неоднородной упругости с нулевыми граничными условиями [4].

Известно, что в композиционных материалах коротковолновые соответствующие импульсы рассеиваются. По мере продвижения волны отклик определяется, главным образом, волнами большой длины [5]. Поэтому полученное решение рассматриваемой задачи дает точное представление о поле перемещений для больших расстояний от приложенной нагрузки.

Список литературы

1 **Победря, Б. Е.** Механика композиционных материалов / Б. Е. Победря. – М. : Изд-во МГУ, 1984. – 336 с.

2 **Абдусаттаров, А.** Методы решения задач механики композитных материалов и неупругих элементов конструкций при циклических нагружениях / А. Абдусаттаров, А. М. Каримов : Узбекистан. – Ташкент : 2020. – 194 с.

3 **Willis, J. R.** Self-similar problems in elastodynamics / J. R. Willis // Phil. Trans. Royal. Soc. A. – 1973. – Vol. 274, no. 1240. – P. 435–491.

4 **Победря Б. Е.** Лекции по теории упругости / Б. Е. Победря, Д. В. Георгиевский. – М. : Эдиториал УРСС, 1999. – 208 с.

5 **Hu, R.** Nonlocal Homogenization Model for Wave Dispersion and Attenuation in Elastic and Viscoelastic Periodic Layered Media / R. Hu, C. Oskay // Journal of Applied Mechanics. – 2017. – Vol. 84. – P. 53–63.