

3. Плескачевский Ю. М., Старовойтов Э. И., Леоненко Д. В. *Механика трехслойных стержней и пластин, связанных с упругим основанием*. М.: ФИЗМАТЛИТ. – 2011. – 560 с.

О ВЛИЯНИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ФОРМЫ СВОБОДНЫХ И ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ БАЛКИ, СОДЕРЖАЩЕЙ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИЙ ЭЛАСТОМЕР

Маевская С. С.[†], Михасев Г. И.*

[†] Витебский государственный университет им. П. М. Машерова
210038, Беларусь, г. Витебск, Московский пр-т, 33
SvetlanaMaevskaya@yandex.ru

* Белорусский государственный университет
220030, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 4
mikhasev@bsu.by

Введение. Важнейшей задачей при проектировании и эксплуатации тонкостенных инженерных конструкций типа «сэндвич», испытывающих динамические нагрузки, является задача об их виброзащите. Использование композитных магнитореологических эластомеров (МРЭ) в качестве адаптивных вязкоупругих слоев позволяет данную проблему сводить к задаче управления колебаниями. Высокая эффективность «сжатия» вибраций достигается возможностью практически мгновенного изменения реофизических свойств МРЭ и всей конструкции. В докладе, на примере трехслойной магнитореологической (МР) балки, демонстрируется возможность эффективного воздействия постоянного магнитного поля на формы свободных и вынужденных колебаний, а также исследуется динамическая реакция балки на внезапно приложенный сигнал магнитного поля.

Уравнение движения МР балки. В качестве исходных уравнений, описывающих движение трехслойной МР балки, приняты уравнения

$$D\eta_3 \left(1 - \frac{\theta h^2}{\beta} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) \frac{\partial^4 \chi}{\partial x^4} + \rho h \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(1 - \frac{h^2}{\beta} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) \chi = f(x, t), \quad (1)$$

которые, как частный случай, получаются из уравнений движения многослойной цилиндрической оболочки [1]. Здесь D – приведенная цилиндрическая жесткость всего пакета; $h = h_1 + h_2 + h_3$ – суммарная толщина балки; h_1, h_3 – толщины несущих упругих слоев; h_2 – толщина внутреннего вязкоупругого слоя, изготовленного из МРЭ; ρ – приведенная плотность «сэндвича»; χ – функция перемещений; w – нормальный прогиб балки; x – продольная координата; t – время; η_3, θ, β – параметры, зависящие от индукции магнитного поля и характеризующие приведенную жесткость балки (в частности параметр β характеризует жесткость балки на поперечные сдвиги). В нашем случае D, η_3, θ, β – комплекснозначные параметры, зависящие от индукции B внешнего магнитного поля [2]; если магнитное поле является нестационарным и неоднородным, то данные параметры – функции времени t и координаты x . В

работе [2] показано, что уравнения (1) могут быть использованы для исследования колебаний неоднородного слоистого «сэндвича», если D , η_3 , θ , β – функции, имеющие малую изменчивость по x .

Свободные колебания. Рассмотрены различные варианты граничных условий – свободное опирание, жесткая заделка и их сочетание, учитывающие эффекты поперечных сдвигов у краев балки [1]. В частности, для случая свободного опирания краев, получена простая формула комплексной собственной частоты колебаний

$$\omega_n = \lambda_n^2 \sqrt{\frac{D\eta_3(\beta + \theta h^2 \lambda_n^2)}{\rho h(\beta + h^2 \lambda_n^2)}}, \lambda_n = \frac{\pi n}{l},$$

где l – длина балки, n – число волн. Исследована зависимость собственной частоты и декремента колебаний от интенсивности магнитного поля для трехслойной балки с параметрами $h_1 = 0,0005$ м; $h_2 = 0,001$ м; $l = 1$ м; $\nu_1 = \nu_3 = 0,4$; $\nu_2 = 0,42$; $E_1 = E_3 = 1,5$ ГПа; $\rho_1 = \rho_3 = 1400$ кг/м³. Для внутреннего МР слоя $\rho_2 = 2650$ кг/м³, а для определения комплексных модулей упругости E_2 и сдвига G_2 были приняты во внимание экспериментально установленные зависимости данных параметров от индукции магнитного поля B [3]. Обнаружено, что для первых 10 мод соответствующий декремент колебаний $\text{Im}(\omega_n)$ возрастает с увеличением индукции, достигая максимума при $B \approx 350$ мкТл, дальнейшее увеличение интенсивности магнитного поля приводит к заметному уменьшению параметра $\text{Im}(\omega_n)$.

Вынужденные колебания. При исследовании вынужденных колебаний рассмотрен вариант неравномерно распределенной вдоль балки периодической нагрузки интенсивности

$$f = \rho F_0(x) e^{i\Omega t},$$

где Ω – частота внешней периодической силы. Решение уравнения (1) с граничными условиями, соответствующими шарнирному опиранию краев, построены в виде ряда по собственным формам колебаний:

$$\chi^*(x, t^*) = \sum_{n=1}^{\infty} \left(A_n e^{i\omega_n t^*} + \frac{2\beta}{lh(\beta + h^2 \lambda_n^2)} \cdot \frac{N_n}{\omega_n^2 - \Omega^2} e^{i\Omega t^*} \right) \sin(\lambda_n x),$$

где $N_n = \int_0^l e^{i\Omega t} F_0(x) \sin(\lambda_n x) dx$ – так называемая обобщенная сила. Исследована амплитудно-частотная характеристика при различных законах распределения нагрузки вдоль балки и при различных уровнях постоянного магнитного поля. Показано, что увеличение индукции от 0 до $B \approx 350$ мкТл приводит к заметному уменьшению амплитуд, соответствующих режиму резонансных колебаний балки.

Параметрический удар. При импульсном изменении индукции магнитного поля комплексный модуль сдвига для МР слоя есть функция времени $G_2 = G_2(v_r, t)$, где $v_r = 1/t_r$ – скорость реакции МРЭ на сигнал магнитного поля (для рассматриваемых образцов МРЭ $100 \text{ c}^{-1} \leq v_r \leq 1000 \text{ c}^{-1}$). Введем малый параметр $\varepsilon = t_r/T_b \ll 1$, характеризующий относительное время изменения реологических свойств балки по сравнению с периодом T_b низкочастотных колебаний. С использованием метода многих масштабов по времени были построены нестационарные решения уравнения (1), описывающие возбуждаемые высокочастотные колебания балки, которые можно рассматривать как динамическую реакцию на быстрый сигнал (параметрический удар) магнитного поля.

Литература

1. Григолюк Э. И., Куликов Г. М. *Многослойные армированные оболочки: Расчет пневматических шин*. М.: Машиностроение. – 1988. – 288с.
2. Mikhasev G., Botogova M., Korobko E. *Theory of Thin Adaptive Laminated Shells Based on Magnetorheological Materials and its Application in Problems on Vibration Suppression*. In book «Shell-like Structures», Ser. «Advanced Structured Materials» (Eds. H. Altenbach and V. Eremeyev) – Springer. – 2011, Vol. 15, Chapter 48. – P. 727–750.
3. Korobko E. V., Mikhasev G. I., Novikova Z. A., Zhurauski M. A. *On Damping Vibrations of Three Layered Beam Containing Magnetorheological Elastomer // Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. 2012. – Vol. 23, No. 9. – P. 1019 – 1023.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЕ СТАТИЧЕСКОЕ И ДИНАМИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПОДАТЛИВЫХ К ТРАНСВЕРСАЛЬНЫМ СДВИГУ И СЖАТИЮ КОМПОЗИТНЫХ ПЛАСТИН И ОБОЛОЧЕК

Марчук М. В., Пакош В. С.

Институт прикладных проблем механики и математики
им. Я. С. Подстригача НАН Украины,
ул. Научная, 3-б, Львов, 79060, Украина

marchuk@iapmm.lviv.ua, mv_marchuk@ukr.net, v.pakosh@ukr.net

Композитные тонкостенные элементы пластинчатого та оболочечного типа широко используются в различных конструкциях и технических приспособлениях, которые испытывают воздействие интенсивных как статических, так и динамических (в частности, циклических) нагрузок. Эти нагрузки могут быть причиной значительных прогибов, соразмерных с толщиной тонкостенных элементов, что обуславливает геометрически нелинейный характер их деформированного состояния. Начало исследований по нелинейной механике тонкостенных элементов конструкций было положено построением квадратичной теории пластин Кармана, являющейся аналогом линейной классической теории Кирхгофа–Лява. Фундаментальным вкладом в развитие этого подхода к изучению статического и динамического деформирования тонких оболочек и пластин являются работы [2, 4, 6–9, 17].