

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

УДК 539.3

DOI: 10.17223/00213411/63/3/157

В.А. КРЫСЬКО¹, И.В. ПАПКОВА^{1,2}, М.В. ЖИГАЛОВ¹, А.В. КРЫСЬКО^{1,2}

ТЕОРИЯ НАНОБАЛОК С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ *

Построена новая теория исследования нанобалок с учетом зависимости свойств материала от напряженно-го состояния. В основу теории положена кинематическая модель первого приближения (Эйлера – Бернулли). Материал балки изотропный, но неоднородный. Впервые для исследования нанобалок учитывается физическая нелинейность и зависимость свойств материала от температуры, причем теория построена для любых материалов. В основу теории положена теория малых упруго-пластических деформаций и модифицированная моментная теория упругости. Стационарное температурное поле определяется из решения трехмерного уравнения Пуассона для краевых условий 1–3 рода. Исходные уравнения получены из принципа Гамильтона – Остроградского. Искомая система уравнений в частных производных сводится к задаче Коши методом конечных разностей второго порядка точности, а задача Коши решается методами типа Рунге-Кутты и Ньюмарка. На каждом шаге по времени строится итерационная процедура по методу переменных параметров упругости Биргера. Стационарное решение вытекает из динамического решения задачи с помощью метода установления (метод продолжения по параметру). Исследуется сходимость решения в зависимости от количества точек разбиения по длине и толщине балки в методе конечных разностей, а также от метода решения задачи Коши и размерно-зависимого параметра, т.е. решение задачи рассматривается как решение с «почти» бесконечным числом степеней свободы. Приводятся численные примеры для балки, жестко зашцеplenной по концам, с диаграммой деформирования для алюминия. Учет размерно-зависимого параметра при построении теории нанобалок существенно влияет на ее несущую способность.

Ключевые слова: нанобалка, модифицированная моментная теория упругости, неоднородность материала.

Введение

В последние годы возрос интерес к исследованию поведения нанообъектов: датчиков колебаний, микро- и наноприводов, нанопереклюателей. Эксперименты подтверждают необходимость учета нелинейности на поведение микро- и наномеханических систем. Большинство работ, опубликованных в этом направлении, рассматривают геометрическую нелинейность, т.е. связь между деформациями и перемещениями по теории Т. фон Кармана. В [1] указано на необходимость для нанобалок учета физической нелинейности. При деформировании конструкции необходимо построить такие теории, которые бы учитывали неоднородность материала. Эта неоднородность в известных теориях вводилась на основе функционально градиентных материалов (FGM). Теория FGM берет свое начало в восьмидесятых и девяностых годах прошлого века. Теории, построенные на этой основе, позволили использовать эти материалы в качестве теплозащитных для аэрокосмической промышленности и термоядерных реакторов. Подход FGM построен на основании того, что эти материалы имеют неоднородные свойства по толщине и длине балки, т.е. рассматривается вопрос о создании таких материалов, но не исследуется напряженно-деформируемое состояние (НДС) при их расчете. Предложенная теория позволяет исследовать вопрос о НДС для любых неоднородных материалов, в том числе и для материалов, построенных на основании FGM, что не было сделано до настоящего времени для наноструктур. Кроме того, возможно рассматривать задачи как в статической, так и в динамической постановке; исследовать вопрос о хаотических колебаниях и решать задачи на собственные значения для наноконструкций.

Постановка задачи

В основу предлагаемой теории положены следующие гипотезы и предположения:

- материал балки изотропный, но неоднородный $E = E(x, z, e_i, T)$, $\nu = \nu(x, z, e_i, T)$;
- диаграмма интенсивности напряжений от интенсивности деформаций $\sigma_i(e_i, T)$ может быть произвольной и зависеть от температуры T ;

* Работа проведена при финансовой поддержке РФФИ № 19-19-00215.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>