

ОТЗЫВ

научного руководителя, доктора физ.-мат. наук, профессора, профессора международного центра прикладной механики школы астронавтики Харбинского политехнического университета (Китай) Михасева Геннадия Ивановича на диссертацию Ле Динь Нгуен «Длинноволновое деформирование и колебания двух- и трехслойных балок и пластин с учетом контрастности упругих свойств слоев и поверхностных эффектов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04-Механика деформируемого твердого тела.

Диссертационная работа посвящена разработке математико-механических моделей двух- и трехслойных балок и пластин с высококонтрастными упругими свойствами, а также ультратонких наноразмерных балок с учетом поверхностных эффектов.

Исследования по теме диссертации выполнялись в рамках НИР №1.7.01.2 "Развитие континуальных моделей наноразмерных структур и объектов на основе двухфазной нелокальной теории упругости" (№ГР 20212360) задания "Механико-математическое моделирование сложных природных и техногенных процессов и объектов на различных масштабных уровнях", входящего в подпрограмму "Математические модели и методы" государственной программы научных исследований "Конвергенция-2025" на 2021-2025 годы.

Актуальность темы диссертации обусловлена отсутствием моделей, асимптотически корректно предсказывающих длинноволновую деформацию упругих тонкостенных слоистых тел в случае высокой контрастности свойств слоев, а также наноразмерных ультратонких упругих тел с учетом поверхностной энергии. Хорошо известно, что подавляющее число теорий тонких балок, пластин и оболочек основано на введении кинематических гипотез, а также гипотез, предсказывающих распределение напряжений по толщине тонкостенного упругого тела. Подобные теории (Бернулли-Эйлера и Тимошенко - для балок; Миндлина, Рейсснера, Редди, Григолюка-Куликова и др. - для пластин) удовлетворительно описывают деформации и колебания макроразмерных тонкостенных объектов в случае, когда свойства слоев различаются незначительно. Что же касается ультратонких наноразмерных балок и пластин, то существующие континуальные модели, учитывающие поверхностные эффекты, приводят к некорректным соотношениям для эффективных изгибных жесткостей в случае наличия остаточных поверхностных напряжений на «свободных» поверхностях упругих тел.

Целью диссертации являлось разработать соответствующие модели исходя из непосредственного асимптотического интегрирования двух- или трехмерных уравнений теории упругости по поперечной координате тонкостенного упругого тела без каких-либо гипотез для перемещений и напряжений. Данный метод используется для построения моделей как слоистых тел с высококонтрастными свойствами (Главы 2 и 3), так и

ультратонких наноразмерных балок (Глава 4), что объединяет рассматриваемые в диссертации задачи по методу их решения. Единственным предположением, вводимым при построении моделей, являлось условие малости толщины балки/пластинки по сравнению с ее характерным размером в плоскости или по сравнению с длиной деформации/волны. Главной особенностью и научной новизной модели, предложенной в Главе 4, являются учет поверхностных напряжений (включая остаточные) и инерции в рамках поверхностной теории упругости Гуртина-Мердока.

Для достижения поставленных целей был решен ряд важных задач: 1) получены асимптотически корректные соотношения для перемещений и напряжений в любой точке тонкостенной балки/пластинки, соответствующие длинноволновой деформации, 2) выведены новые разрешающие дифференциальные уравнения типа Миндлина-Рейсснера, описывающие деформацию слоистых балок и пластин с учетом контрастности упругих свойств и наличия поперечных сдвигов, 3) на примере свободных колебаний слоистых пластин, содержащих вязкоупругие магнитореологические слои, выполнен сравнительный анализ новой модели с моделями Григолюка-Куликова и Товстика, 4) выведены новые уравнения для ультратонких балок типа Тимошенко, которые учитывают поверхностные эффекты в рамках поверхностной теории упругости Гуртина-Мердока, 5) исследованы свободные колебания, а также явление самовыпучивания ультратонких нанобалок, изготовленных из алюминия, никеля, кремния и стекла с железной нанопленкой. При исследовании колебаний и самовыпучивания нанобалок с поверхностными эффектами были впервые использованы данные (поверхностные константы Ляме, а также поверхностные остаточные напряжения), полученные другими авторами на основе атомистического моделирования деформирования образцов алюминия, никеля и кремния с различным кристаллографическим направлением поверхности.

Во время работы над диссертацией соискатель проявил самостоятельность при разработке соответствующих математических моделей и решении поставленных задач. Все основные результаты исследования получены им самостоятельно и являются новыми. Их достоверность достигнута корректным применением развитых асимптотических методов и подходов механики деформируемого твердого тела, а также поверхностной теории упругости Гуртина-Мердока.

Полученные в диссертации результаты опубликованы в 13 научных работах, в том числе, 4 статьи в рецензируемых научных журналах в соответствии с пунктом 19 Положения о присуждении учёных степеней и присвоении учёных званий (общим объемом 3 авторских листа), 2 статьи в других рецензируемых научных изданиях, 6 статей в сборниках материалов конференций. Статьи 2-А, 3-А, 5-А, 6-А опубликованы в известных научных рецензируемых российских журналах, а также в книгах (издательство Springer), входящих в наукометрические базы данных Scopus и РИНЦ.

Практическая и экономическая значимость полученных результатов заключается в возможности их использования в проектных организациях для расчета НДС и динамических характеристик слоистых конструкций, таких как фотоэлектрические панели, автомобильные стекла, малозаметные летательные аппараты (БПЛА) и других тонкостенных элементов инженерных конструкций, собранных из высококонтрастных материалов. Материалы диссертационных исследований использованы для расчета и проектирования крыла малоразмерного БЛА типа Бусел-М на Научно-производственном центре многофункциональных беспилотных комплексов Национальной академии наук Беларуси. Результаты, относящиеся к моделированию ультратонких нанобалок с нанопокрывом, а также нанобалок с остаточными поверхностными напряжениями могут быть использованы в проектных организациях при проектировании сверхчувствительных тонкостенных элементов всевозможных микро- и нанoeлектромеханических систем (МЭМС и НЭМС), таких как сенсоры, резонаторы, наноинденторы и в других областях, использующих достижения нанотехнологий.

Считаю, что выполненное диссертационное исследование на тему «Длинноволновое деформирование и колебания двух- и трехслойных балок и пластин с учетом контрастности упругих свойств слоев и поверхностных эффектов» имеет законченный характер с высокой академической и практической ценностью и соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель Ле Динь Нгуен заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела.

Доктор физико-математических наук,
профессор, профессор международного центра
прикладной механики школы астронавтики
Харбинского политехнического университета (Китай)



Г. И. Михасев

16.03.2025