

Отзыв официального оппонента

кандидата физико-математических наук, доцента А.И.Веремейчика
на диссертацию Ле Динь Нгуена «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

1. Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите

Диссертация Ле Динь Нгуена посвящена решению важной научной проблемы – исследованию длинноволнового деформирования и колебаний слоистых тонкостенных упругих балок и пластин с контрастными свойствами слоев, а также наноразмерных балок с учетом поверхностных эффектов. Такие упругие среды в рамках поверхностной теории упругости Гуртина-Мёрдока рассматриваются на основе базовых представлений механики деформируемого твердого тела.

Содержание диссертации соответствует отрасли физико-математических наук («Исследования фундаментального характера, целью которых является создание новых моделей деформируемых сред, получение новых физико-механических свойств существующих моделей, разработка новых методов решения задач деформирования и разрушения...» н. п. VI ВАК РФ по разграничению по отраслям науки заявленной специальности) и специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела. Область исследований, согласно паспорту специальности, соответствует пунктам:

1. Общая теория моделей деформируемых сред.
2. Теория упругости, неклассические теории.
3. Механика пластических и упругопластических деформаций, деформирование сред, твердых тел и конкретных технических объектов, подвергаемых механическим нагрузкам, тепловым и другим воздействиям с учетом вязкоупругих свойств материала, ползучести, старения.
7. Деформирование, устойчивость и колебания стержней, пластин и тонких оболочек, оптимальное проектирование тонкостенных конструкций. Теории слоистых и композитных оболочек, в том числе оболочек, изготовленных из функционально-градиентных материалов.
10. Методы решения краевых и начально-краевых задач при исследовании напряженно-деформированного состояния, устойчивости и колебаний деформируемых твердых тел и систем.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации, основные научные результаты и положения, выносимые на защиту.

Вх. № Н-52 / НЗ
от 08.05.2025

2. Актуальность темы диссертации

Слоистые тонкостенные упругие балки и пластины, изготовленные из материалов с различными механическими свойствами, находят широкое применение во многих отраслях машиностроения и промышленности. Традиционные теории слоистых балок и пластин, основанные на введении принятых кинематических гипотез, оказываются эффективными для материалов с близкими механическими свойствами. Если же упругие константы различаются на порядок и более, то использование моделей, основанных на этих гипотезах, может приводить к существенным погрешностям расчетов. Поэтому разработка методики, основанной на асимптотическом интегрировании уравнений упругости по толщине балок и пластин, и построение математико-механических моделей, свободных от каких-либо гипотез, позволяющих асимптотически корректно описывать длинноволновое деформирование и колебания тонкостенных балок и пластин с контрастными свойствами, а также наноразмерных балок с учетом поверхностных эффектов, представляет актуальную задачу.

Работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников, включающего 98 наименований, списка публикаций соискателя ученой степени и приложения, содержащего документы о практическом использовании результатов, полученных автором.

Актуальность темы подтверждается соответствием исследований приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг., утвержденных Указом Президента Республики Беларусь № 156 от 07.05.2020 г. (пункты 1, 4) и выполнением диссертации 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.

3. Степень новизны результатов диссертации и научных положений, выносимых на защиту

В диссертации в новой постановке впервые рассмотрены и получены новые свободные от кинематических гипотез механико-математические модели длинноволнового деформирования и колебаний двух- и трехслойных балок и пластин с высококонтрастными свойствами, а также низкочастотные колебания и самопроизвольную потерю устойчивости ультратонких балок с остаточными поверхностными напряжениями в рамках поверхностной теории упругости. На основе созданных моделей проведены расчеты собственных частот шарнирно-опертой микроразмерной балки, изготовленной из стекла с

нанесенными нанопленками железа, и наноразмерных балок, изготовленных из алюминия, никеля и кремния с различным кристаллографическим направлением на поверхностях, в зависимости от величин остаточных поверхностных напряжений и геометрических размеров. Найдены новые зависимости критической длины от высоты ультратонкой нанобалки из никеля Ni[111] и кремния Si[100], используемых в качестве ответственных сенсорных элементов наноразмерных электромеханических систем, при которых имеет место явление самопроизвольной потери устойчивости (самовыпучивание) под действием остаточных поверхностных сжимающих напряжений.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Положения и результаты проведенных в диссертации исследований научно обоснованы и достоверны. Все выводы и рекомендации в диссертационной работе основаны на фундаментальных законах механики деформируемого твердого тела, теории механики и теории упругости, являющихся теоретической базой решения начальных и граничных задач. Их обоснованность подтверждена корректностью использования аналитических и численных методов математического аппарата при решении дифференциальных уравнений для конкретных тел и сравнением с результатами, полученными другими авторами. Основные результаты диссертации прошли апробацию в публикациях вузовских, республиканских и международных научных конференциях. Выводы и результаты согласуются с основными положениями механики деформируемого твердого тела. Достоверность предложенных алгоритмов и составленных на их основе методов подтверждена соответствующими расчетами. Таким образом, результаты, полученные автором в диссертационной работе, обоснованы, в достаточной степени аргументированы и соответствуют научным положениям, выносимым на защиту.

Рекомендации по практическому использованию результатов подтверждены актом внедрения в учебный процесс кафедры био- и наномеханики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, и актом о внедрении методики расчета напряженно-деформированного состояния двухслойной пластины под действием внешней нагрузки для расчета и проектирования корпуса, крыла и деталей малоразмерного БПЛА типа Бусел-М на УП «Научно-производственный центр multifunctionальных беспилотных комплексов» Национальной академии наук Беларуси.

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации

Научная значимость заключается в создании новых расчетных моделей и разработке методов, выводе теоретических зависимостей, получение научно

обоснованных результатов исследований, определяющих новые свободные от кинематических гипотез механико-математические модели длинноволнового деформирования и колебаний двух- и трехслойных балок и пластин с высококонтрастными свойствами, низкочастотные колебания и самопроизвольную потерю устойчивости ультратонких балок с остаточными поверхностными напряжениями в рамках поверхностной теории упругости.

Практическая значимость полученных в диссертации результатов состоит в возможности их использования в научных и проектных организациях для расчета НДС и динамических характеристик слоистых конструкций (фотоэлектрические панели, автомобильные стекла, беспилотные летательные аппараты (БПЛА)). Материалы исследований включены в методику расчета напряженно-деформированного состояния двухслойной пластины под действием внешней нагрузки и использованы для расчета и проектирования корпуса, крыла и деталей малоразмерного БПЛА типа Бусел-М на УП «Научно-производственный центр multifunctional беспилотных комплексов» Национальной академии наук Беларуси. Результаты исследований многослойных пластин, оболочек и балок с высококонтрастными механическими свойствами, результаты моделирования длинноволновой деформации и колебаний ультратонких балок с нанопокрытием, нанобалок с остаточными поверхностными напряжениями, которые учитывают поверхностные эффекты, могут быть использованы в учебном процессе учреждений образования, проектных организациях при проектировании сверхчувствительных тонкостенных элементов различных микро- и наноэлектромеханических систем, а также в других областях, использующих достижения нанотехнологий.

Экономическая значимость заключается в разработке новых высокоэффективных методов расчета напряженно-деформированного состояния и свободных колебаний двух- и трехслойных балок и пластин с учетом контрастности упругих свойств, а также собственных частот нанобалок с учетом поверхностной энергии и ее критических размеров, приводящих к самопроизвольной потере устойчивости.

Социальная значимость полученных в диссертации результатов состоит в том, что разработанные методы расчета напряженно-деформированного состояния многослойных балок и пластин могут применяться в различных областях деятельности людей: машиностроении, самолетостроении, медицине, и т.д. Открывается возможность использовать результаты диссертации в образовательном процессе, для формулировки новых направлений аспирантских и магистрантских исследований, в повышении научно-технического уровня научных работников высшей школы.

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Основные положения диссертации прошли апробацию на 9 международных и республиканских научных конференциях. По теме

диссертационной работы опубликовано 13 научных работ, в том числе 4 статьи в научных журналах, которые соответствуют п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий; ВАК Республики Беларусь, 2 статьи в других рецензируемых научных изданиях, 6 публикаций в сборниках материалов конференций, 1 тезис доклада конференции.

Научные результаты диссертации опубликованы в полном объеме и отражают основные положения, выносимые на защиту.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертация оформлена в соответствии с Инструкцией по оформлению диссертации и автореферата, утвержденной постановлением ВАК Беларуси, Материал диссертации излагается автором последовательно с численными расчетами и графиками. Текстовая часть, графики и формулы представлены в удобном для восприятия информации виде. В конце каждой главы приводятся основные результаты, полученные в этой главе. Диссертационная работа является законченной и выполненной автором на достаточно высоком научном уровне. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

8. Замечания по диссертации

1. В главе 2 на стр. 26 введен малый геометрический параметр $\varepsilon = \frac{h}{l}$ как отношение толщины полосы-балки к ее длине. Далее в формуле (2.2) этот же параметр применяется как соотношение характеристик материала слоев (модулей упругости): $\frac{E'_m}{E_2} = \varepsilon^2 \zeta_m$. На стр. 42 приведена формула $\zeta_j = \varepsilon^{-2} \frac{E_j}{E_2}$, что при $\zeta_j = 1$ дает $E_j = \varepsilon^2 E_2$. Малый параметр ε входит и в уравнение для безразмерной нагрузки Q в формуле (3.27). Следовало бы ввести в рассмотрение отдельные параметры для геометрии и механических характеристик, т.к. их отождествление приводит к невозможности варьирования модулями упругости материалов и, соответственно, к неопределенности в результатах расчетов.

2. В главе 3 отсутствуют условия опирания пластины вдоль боковых поверхностей, т.е. можно полагать, что рассматривается только цилиндрический изгиб. В тексте диссертации об этом не сказано.

3. На рисунке 4.2 ошибка в подрисуночной подписи, h – толщина. В тексте на стр. 73: l – длина нанобалки, в подписи к рисунку 4.3 l – ширина.

4. В заключении сказано, что полученные новые разрешающие уравнения типа Тимошенко-Рейсснера позволяют предсказывать динамические характеристики (собственные частоты и декременты колебаний) в случае высокой контрастности вязкоупругих свойств слоев. Однако конкретные примеры и их соответствие с опытами в диссертации отсутствуют.

5. Из п. 4.8.1 не ясно, как рассчитывалась критическая длина полосы-балки.

6. Из текста диссертации не понятно, проводилась ли верификация результатов расчетов, т.к. отсутствуют какие-либо сравнения результатов с данными неасимптотических подходов.

7. В тексте диссертации встречаются опечатки и неточности. Например, «эффективный модуль Юнга двухслойной балки» (стр. 36); «Тимошенко-Рейсснора» (стр. 35) и «Тимошенко-Рейсснера» (стр. 77); D_I – безразмерная эффективная цилиндрическая жесткость (стр. 49) и др.

Высказанные замечания не умаляют достоинств диссертационной работы и не оказывают серьезного влияния на обоснованность положений, выносимых на защиту.

9. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

В диссертационной работе автором были показаны теоретические знания в области механики и математики, продемонстрировано владение математическими методами решения задач механики применительно к практическим задачам. Анализ содержания диссертационной работы, подача и изложение материала, использованные автором методики исследований, анализ и интерпретация результатов исследований, а также формулировка выводов и заключений позволяют сделать вывод, что Ле Динь Нгуен обладает широким диапазоном знаний в области исследования напряженно-деформированного состояния, разработке математико-механических моделей длинноволнового деформирования и колебаний балок и пластин с высококонтрастными свойствами и с остаточными поверхностными напряжениями. Научная квалификация Ле Динь Нгуена в полной мере соответствует ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

10. Заключение

Диссертационная работа Ле Динь Нгуена «Длинноволновое деформирование и колебания двух- и трехслойных балок и пластин с учетом контрастности упругих свойств слоев и поверхностных эффектов», соответствует главе 3 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий», утвержденного указом Президента Республики Беларусь от 17 ноября 2004 г. № 560. Рассматриваемая диссертация представляет законченную научно-исследовательскую работу, выполнена на высоком научном уровне и соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Ле Динь Нгуен заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела, за совокупность новых научных результатов, включающих:

– свободные от кинематических гипотез математико-механические модели двух- и трехслойных балок и пластин с учетом высококонтрастных упругих

свойств, содержащие асимптотически корректные соотношения для полей перемещений и напряжений, удовлетворяющих граничным условиям на лицевых и интерфейсных поверхностях, разрешающие уравнения для эквивалентных однослойных тонкостенных балок и пластин, учитывающие контрастность упругих свойств слоев и наличие сдвигов в жестком слое при длинноволновых деформациях и низкочастотных колебаниях;

– математико-механическую модель ультратонкой полосы-балки, включающую асимптотически корректные соотношения для перемещений и напряжений, удовлетворяющих уравнениям баланса сил на лицевых поверхностях, а также разрешающее уравнение, позволяющее описать длинноволновое деформирование и колебания с учетом напряжений и инерции на лицевых поверхностях;

– зависимости собственных частот наноразмерных балок, изготовленных из стекла с нанесенными нанопленками железа, балок из алюминия, никеля и кремния с различным кристаллографическим направлением на поверхностях, от остаточных напряжений на лицевых поверхностях, высоты и длины балки, что позволило установить, что учет поверхностной плотности и положительных остаточных напряжений на поверхностях нанобалок толщиной в 6,5 нм из алюминия $Al[111]$ и $Al[001]$ приводит к увеличению нижней частоты колебаний на 10 и 20 % соответственно.

Официальный оппонент

кандидат физико-математических наук, доцент,
заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики
учреждения образования «Брестский государственный
технический университет»


А.И.Веремейчик

