

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.05 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «10» декабря 2014 № 15

О присуждении Никабадзе Михаилу Ушангиевичу, гражданину России, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Метод ортогональных полиномов в механике микрополярных и классических упругих тонких тел» по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела» принята к защите 10 сентября 2014 г., протокол № 14, диссертационным советом Д 212.125.05 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки РФ, 125993, Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, А-80, ГСП-3, приказ о создании диссертационного совета Д 212.125.05 - № 105/нк от 11.04.2012.

Соискатель Никабадзе Михаил Ушангиевич, 1953 года рождения, гражданин России, защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Моделирование нелинейного деформирования упругих оболочек» в 1990 году в диссертационном совете на базе Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Он работает в должности доцента кафедры механики композитов механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова с 2001 г. по настоящее время, а также по совместительству в должности старшего научного сотрудника в НОЦ «Симплекс» МГТУ имени Н.Э. Баумана.

Диссертация выполнена в НОЦ «Симплекс» ФГБОУ ВПО МГТУ имени Н.Э. Баумана, Министерство образования и науки РФ.

Научный консультант – Димитриенко Юрий Иванович, директор НОЦ «Симплекс» МГТУ имени Н.Э. Баумана, заведующий кафедрой ФН-11 «Вычислительная математика и математическая физика» МГТУ имени Н.Э. Баумана, доктор физико-математических наук, профессор.

Официальные оппоненты:

Радаев Юрий Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Федерального государственного учреждения науки «Институт проблем механики имени А.Ю. Ишлинского РАН», г. Москва.

Зингерман Константин Моисеевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительной математики факультета прикладной математики и кибернетики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Тверской государственной академии инженерных наук и информатики», г. Тверь.

Каюмов Рашид Абдулхакович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Механика» института строительства федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», Минобрнауки РФ, г. Казань.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ)», Минобрнауки РФ, г. Казань, в своем положительном заключении, подписанном Костиным В.А., доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Прочность конструкций» ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ» и Паймушным В.Н., академиком АН РТ, доктором физико-математических наук, профессором кафедры «Прочность конструкций» ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ», указала, что в связи с созданием и интенсивным внедрением в современное машиностроение и приборостроение новых материалов с неклассическими свойствами и наноматериалов, свойства которых принципиально отличаются от свойств известных традиционных материалов, а также в связи с тем, что классические модели деформирования тонких тел из новых материалов не описывают их механическое поведение и, так как классическая механика сплошных сред в принципе не может описать масштабные эффекты, что, несомненно, ограничивает возможности моделирования аномальных свойств новых материалов с внутренними структурами (наноматериалов, нанокомпозитов, тонких тел, пленок и т.д.), то проведенные соискателем исследования существующих теорий, способных описать масштабные эффекты, а также их обобщение представляют собой актуальную проблему,

полученные результаты имеют большое значение для дальнейших научных исследований и технических приложений, рекомендует продолжить развитие результатов диссертации в организациях академического профиля в области механики: ЦАГИ, ЦИАМ, МГУ им. М.В. Ломоносова, ИТПМ СО РАН, ИПМ РАН, ЦНИИ Маш, МАИ, КГАСУ, КНИТУ-КАИ и в других организациях, занимающихся разработкой и совершенствованием образцов автомобильной, ракетной и авиационной техники.

Соискатель имеет, 83 опубликованных работы, из них 30 – опубликованных в рецензируемых научных изданиях, 53 работы опубликованы в других отечественных и зарубежных изданиях.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Никабадзе М.У. Новая кинематическая гипотеза и новые уравнения движения и равновесия теории оболочек и плоских криволинейных стержней// Вестн. Моск. ун-та. Сер. 1. Матем. Механ. 1991. № 6. С. 54-61(перечень ВАК РФ).
2. Никабадзе М.У. К варианту теории многослойных конструкций.// Извест. РАН. МТТ. 2001. № 1. С. 143-158 (перечень ВАК РФ).
3. Никабадзе М.У. Уравнения движения и граничные условия теории стержней с несколькими базовыми кривыми// Вестн. Моск. ун-та. Сер. 1 Матем. Механ. 2001. № 3. С. 35-39 (перечень ВАК РФ).
4. Никабадзе М.У. К варианту теории многослойных криволинейных стержней// Извест. РАН. МТТ. 2005. № 6 (перечень ВАК РФ).
5. Никабадзе М.У. Вариант системы уравнений теории тонких тел// Вест. Моск. ун-та. Сер. 1, Матем. Механ. 2006. № 1. С. 30-35 (перечень ВАК РФ).
6. Никабадзе М.У. Уравнения теории оболочек, согласованные с граничными условиями на лицевых поверхностях// Вестн. МГУ. Сер. 1, Матем. Механ. 2007. № 2. С. 72-76 (перечень ВАК РФ).
7. Никабадзе М.У. Некоторые вопросы варианта теории тонких тел с применением разложения по системе многочленов Чебышева второго рода// Извест. РАН. МТТ. 2007. № 3. С. 73-106 (перечень ВАК РФ).
8. Никабадзе М.У. К условиям совместности и уравнениям движения в микрополярной линейной теории упругости // Вест. Моск. ун-та Матем. Механ. 2012. № 1. С. 63-66 (перечень ВАК РФ).
9. Кантор М.М., Никабадзе М.У., Улуханян А.Р. Уравнения движения и граничные условия физического содержания микрополярной теории

тонких тел с двумя малыми размерами// Изв. РАН. МТТ. 2013. № 3. С. 96-110.

10. Никабадзе М.У. К построению собственных тензорных столбцов в микрополярной линейной теории упругости// Вест. Моск. ун-та. Матем. Механ. 2014. № 1. С. 30-39 (перечень ВАК РФ).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от ведущей организации **Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ)»**, отзыв положительный;

от официального оппонента, **Радаева Юрия Николаевича**, доктора физико-математических наук, профессора, ведущего научного сотрудника **Федерального государственного учреждения науки «Институт проблем механики имени А.Ю. Ишлинского РАН»**, отзыв положительный;

от официального оппонента, **Зингермана Константина Моисеевича**, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой вычислительной математики факультета прикладной математики и кибернетики **федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Тверской государственный университет»**, отзыв положительный;

от официального оппонента, **Каюмова Рашита Абдулхаковича**, доктора физико-математических наук, профессора кафедры «Механики» института строительства **Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»**, отзыв положительный;

от директора института океанологии имени П.П. Ширшова РАН, заведующего кафедрой газовой и волновой динамики **ФГБОУ ВПО МГУ имени М.В. Ломоносова**, доктора физико-математических наук, профессора, академика РАН, **Нигматулина Роберта Искандеровича**, отзыв положительный;

от проректора **ФГБОУ ВПО МГУ имени М.В. Ломоносова**, доктора физико-математических наук, профессора, **Георгиевского Дмитрия Владимировича**, отзыв положительный;

от доктора физико-математических наук, профессора кафедры теории упругости механико-математического факультета **ФГБОУ ВПО МГУ имени М.В. Ломоносова**, **Бровко Георгия Леонидовича**, отзыв положительный;

от доктора физико-математических наук, профессора кафедры механики композитов механико-математического факультета ФГБОУ ВПО МГУ имени М.В. Ломоносова, **Горбачева Владимира Ивановича**, отзыв положительный;

от доктора физико-математических наук, профессора кафедры газовой и волновой динамики ФГБОУ ВПО МГУ имени М.В. Ломоносова, **Звягина Александра Васильевича**, отзыв положительный;

от доктора физико-математических наук, профессора, ведущего научного сотрудника лаборатории механики композитов института гидромеханики имени М.А. Лаврентьева СО РАН, **Волчкова Юрия Матвеевича**, отзыв положительный;

от заведующего лабораторией безопасности и прочности композитных конструкций ФГБУН «Института машиноведения имени А.А. Благонравова Российской академии наук» доктора технических наук, профессора **Полилова Александра Николаевича**, отзыв положительный;

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертации, дан краткий обзор работы, отмечены новизна и достоверность полученных результатов, а также их практическая значимость. Отмечено, что автором

– развита идея, заложенная в механике Векуа И.Н., и она обобщена на моделирование деформирования термоупругих микрополярных анизотропных тонких тел с одним и двумя малыми размерами, а также на моделирование многослойных тонких тел при удовлетворении граничных условий на их всех граничных поверхностях;

– построены новые варианты теорий термоупругих тонких тел (однослойных и многослойных тонких тел с одним малым размером, тонких тел с двумя малыми размерами и тонких плоских областей с одним малым размером) при различных параметризациях областей;

– выведены универсальные уравнения движения и уравнение притока тепла в моментах относительно систем полиномов Лежандра и Чебышева, а также определяющие соотношения в моментах для неоднородных материалов и система уравнений движения для многослойных тонких тел с одним малым размером в моментах;

– получена общая система уравнений для нахождения нормирующих функций, применяемых при удовлетворении граничных условий на лицевых поверхностях в случае способа редукции с помощью нормированных моментов, а также построены корректирующие слагаемые при различных граничных условиях, которые позволяют удовлетворять граничным условиям на лицевых поверхностях при упрощенном способе редукции;

– сформулированы вариационные принципы для упругих тонких тел, доказаны теоремы о минимуме стационарной точки лагранжиана и максимуме стационарной точки кастильяниана, доказаны теоремы о единственности обобщенного решения краевых задач, получены вариационные принципы для теории тонких тел в моментах относительно систем полиномов Лежандра и Чебышева;

– выведены уравнения микрополярных теорий оболочек, тонких и пологих оболочек и призматических оболочек в контравариантных компонентах тензоров усилий и моментов, а также уравнения расширенной микрополярной теории оболочек;

– на основании системы уравнений в моментах векторов перемещений и вращений восьмого порядка приближения, как для однослойных, так и для многослойных тонких тел получены уравнения эллиптического типа высокого порядка относительно моментов векторов перемещений и вращений по отдельности, для которых в силу метода И.Н. Векуа можно выписать аналитические решения;

– получены разделенные уравнения квазистатических задач микрополярной теории призматических упругих тонких тел с двумя малыми размерами в моментах векторов перемещений и вращений, а также уравнения для редуцированной среды;

– даны численные решения задач о тонком слое с двумя малыми размерами, прямоугольной тонкой области с защемленными краями при различных нагрузках, а также о двухслойной двумерной области с защемленными краями и выявлен ряд эффектов и закономерностей деформирования тонких тел.

В поступивших отзывах имеются следующие замечания:

1. В первой главе один из основных объектов – единичный тензор второго ранга. Однако его определение не дано. В каком смысле он единичный тензор?

2. Во введении на стр. 34 написано: «Рассмотрены некоторые вопросы, касающиеся тензора Римана–Кристоффеля при новой параметризации, а также приведены тождества Ламе». Однако в диссертации их нет.

3. Замена искоемых величин на их моменты удобна при выполнении граничных условий на лицевых поверхностях. Однако она приводит к неудобству анализа состояния тонких тел независимо от порядка выбранной приближенной теории, являющегося главной задачей любых расчетов и любых теорий. Не определено конкретно понятие малости для тонких областей, а именно этот вопрос и до сих пор является камнем преткновения

различных прикладных теорий. Усечение бесконечных систем уравнений и замена усеченными системами по произволу или на основании локальной сходимости некорректно.

4. Не оговорена необходимость использования корректирующих слагаемых в приближениях различных порядков.

5. Несмотря на то, что основное внимание в диссертационной работе уделено новой параметризации области тонкого тела, решения всех рассмотренных тестовых задач представлены с использованием классических параметризаций областей тонких тел, а преимущества новых параметризации никак не продемонстрированы на примерах.

6. В диссертационной работе большое внимание уделено постановкам задач в моментах при неизотермических процессах, однако, для этого случая решение ни одной даже простой задачи не приведено. Хотя предлагаемые теории, по нашему мнению, должны быть эффективными при решении задач и в этих случаях.

7. Представленные в диссертации результаты численных расчетов не в полной мере отражают возможности, разработанной автором теории и предложенных им методов расчета. Численные расчеты представлены только для тел, лицевые поверхности которых являются параллельными друг другу плоскостями. Поэтому нет возможности сделать вывод об эффективности предлагаемого автором подхода в задачах, которые не могут быть решены методами классических теорий пластин и оболочек или решаются этими методами с недостаточной точностью.

8. Было бы желательно привести в диссертации примеры параметризации области тонкого тела для конкретных тел с криволинейными границами, дать рекомендации по выбору наиболее предпочтительного способа параметризации, выяснить условия, при которых координатные линии не будут пересекаться внутри тела.

9. В параграфе 5.1 диссертации автор приводит обоснование вариационных принципов микрополярной упругости. Однако эти принципы были сформулированы и доказаны ранее, например, в работах В. Новацкого (W. Nowacki) 70-х годов прошлого века и в ряде более поздних публикаций. Приводить в диссертации подробное доказательство справедливости этих принципов не было необходимости.

10. Имеются неточности в оформлении работы. Например, в формуле (3.1.14) на с. 125 имеется ошибка в индексах под знаком суммы. На рис. 6.9. на с. 344 неясно, распределение какой величины показано в левой части рисунка, и отсутствует шкала, поясняющая, какое значение этой величины соответствует определенному цвету в этой части рисунка.

11. Построены сложные общие теории тонких тел, а их апробирование производится на примере простых задач, не требующих новой параметризации.

12. Предложенные теории тонких тел построены на основании геометрически линейной микрополярной теории упругости, когда граничные условия ставятся на недеформированных поверхностях. Как поступить при решении нелинейных задач тогда, когда формы поверхностей и поперечных сечений тонких тел меняются?

13. В случае квазистатических задач теорий призматических тел постоянной толщины автор пишет, ссылаясь на Векуа, что для этого случая можно выписать аналитические решения, однако они не выписаны.

14. В обзоре не охвачены те работы В.Н. Паймушина, которые посвящены именно методам параметризации геометрии пластин и оболочек сложной формы и методам их расчета.

15. Прочтение диссертационной работы (и автореферата) существенно затрудняется наличием большого количества ошибок, которые относятся к категориям орфографии и грамматики русского языка. Местами автор допускает существенные отклонения от академического стиля изложения. Работа в целом, характеризуется использованием архаичной терминологии. Имеются случаи неправильного использования терминологии. Так, на с. 134 диссертации вектор \mathbf{q} определяется как “вектор внешнего потока тепла”. Ясно, что в континуумах вектор \mathbf{q} представляет внутренние потоки тепла, которые возникают при пространственно-неоднородных распределениях температурного поля. Скалярная величина q определяется в уравнениях теплопроводности как массовый приток тепла; обычно ее называют плотностью источников тепла (в расчете на единицу массы) или лучистым теплом (radiant heat).

16. В работе в термических уравнениях систематически используется теплоемкость при постоянном давлении. В тех уравнениях термомеханики микрополярных континуумов, которые использует соискатель, теплоемкость должна вычисляться при постоянном *тензоре деформаций*, причем при нулевом его значении, если рассматриваются уравнения, линеаризованные относительно отсчетного состояния.

17. В работе нет более или менее убедительных прямых доказательств в пользу составляющих основу всего исследования трехмерных параметризаций пространственных областей, обладающих специфической геометрией, ассоциированной с “тонкими” телами. Как хорошо известно, удачная параметризация области, в которой ставится краевая задача для дифференциальных уравнений в частных производных, часто по существу

решает проблему (например, разделяются переменные в уравнениях). Почему именно привязка к двум базовым поверхностям и введение третьей координаты (с единичным интервалом изменения) вдоль “малого” пространственного измерения обеспечивают наиболее эффективные аналитические и вычислительные формы дифференциальных уравнений микрополярной термоупругости? Здесь я могу привести лишь один аргумент: по третьей координате могут быть реализованы разложения неизвестных функций в ряд по системам ортогональных полиномов, чтобы вообще элиминировать третью “поперечную” координату. Ясно, однако, что формально устранить третью координату с целью понизить пространственную размерность можно и многими другими способами.

18. Диссертационная работа перенасыщена техническими деталями, связанными с выполнением тех или иных преобразований тензорных уравнений. Совсем мало места (раздел 6.9, с. 342-350) отводится решению прикладных задач. Здесь изложение выглядит чрезмерно конспективным. Из текста не понятно, как, например, получаются ряды Фурье-Лежандра для прогибов односторонне нагруженного нормальной силой прямоугольника, не приводятся значения коэффициентов Фурье-Лежандра и оценки практической сходимости рядов, вопрос о погрешности вычислений вообще не ставится. Выполняется сравнение с данными МКЭ-анализа без указания на то, в какой вычислительной среде выполнялся МКЭ-анализ, как выбирались сами конечные элементы, и в каком количестве?

19. Не вполне ясными после ознакомления с диссертационной работой остаются вопросы, связанные с фактическим преимуществом предлагаемого подхода к решению задач линейной теории упругости для тонких тел по сравнению с методами конечных интегральных преобразований, разложений по биортогональным системам, методу Бубнова-Галеркина.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в данной области, а ведущая организация – одной из передовых организаций, занимающейся современными проблемами механики деформируемого твердого тела, прочностью и аэроупругостью летательных аппаратов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны:

– математические модели деформирования термоупругих тонких тел с одним и двумя малыми размерами, а также многослойных тонких тел с применением систем ортогональных полиномов Лежандра и Чебышева;

предложены:

– различные представления уравнений движения и притока тепла, а также определяющих соотношений классических и микрополярных тонких тел при рассматриваемых параметризациях;

– постановки связанной и несвязанной динамических задач в моментах для термоупругих тонких тел различных приближений;

– варианты вариационных принципов Лагранжа, Кастильяно и обобщенные вариационные принципы типа Рейсснера для теории однослойных тонких тел в моментах относительно систем полиномов Лежандра и Чебышева;

– модель типа скачка в микрополярной теории многослойных тонких тел при наличии областей ослабленной адгезии;

Вводились новые понятия и термины: компоненты переноса, основные компоненты и компоненты контакта единичного тензора второго ранга, дифференциальные операторы, учитывающие изменение толщины тела;

доказаны:

– теоремы о моментах относительно систем ортогональных полиномов;

– теоремы о минимуме стационарной точки лагранжиана и максимуме стационарной точки оператора Кастильяно, а также теорема о единственности обобщенного решения краевых задач при любых обратимых операторных определяющих соотношениях;

– делимость уравнений микрополярной теории упругости относительно векторов перемещений и вращений, граничных условий физического содержания для тел с кусочно-плоской границей;

обоснованность и достоверность теоретических положений и выводов диссертации подтверждены строгими выводами, основанными на положениях механики, математики, а также с имеющимися результатами, полученными другими методами;

теоретическая и практическая значимость работы состоит в возможности использования результатов для решения многих важных практических задач в тех областях техники, в которых применяются призматические тела;

использован аналитический метод ортогональных полиномов Лежандра и Чебышева;

изложены: теория моментов относительно систем полиномов Лежандра и Чебышева, теории однослойных микрополярных термоупругих тонких тел

с одним и двумя малыми размерами, а также многослойных тонких тел;
раскрыты существенные проявления свойств микрополярности материала при определенных значениях толщины пластины;
изучены связи построенных теорий с классическими теориями тонких оболочек;
проведена модернизация существующих математических моделей микрополярных и классических термоупругих тонких тел.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждены тем, что:

определены направления практического использования результатов исследований при решении многих важных практических задач в тех областях техники, в которых применяются упругие тонкие тела;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию теорий микрополярных и классических упругих тонких конструкций, а также для определения материальных констант для редуцированной среды.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теории построены на основе трехмерной теории микрополярной термоупругости и строгих выводов, основанных на известных положениях механики и математики, а также подтверждены сравнением полученных результатов с известными классическими результатами;

идея базируется на анализе метода применения полиномов Лежандра в классической теории и его развитии и обобщении на теории микрополярных термоупругих тонких тел;

использовано сравнение частных случаев авторских моделей и моделей, полученных ранее по данной тематике;

установлено качественное и количественное соответствие результатов численного моделирования, полученных разными методами;

использованы сведения, имеющиеся в литературе по рассматриваемой тематике.

Личный вклад соискателя состоит в следующем:

– развит метод ортогональных полиномов, заложенный И.Н. Векуа, и обобщен на моделирование микрополярных термоупругих анизотропных тонких тел при выполнении граничных условий на всех поверхностях тела;

– развита теория моментов тензорных функций относительно систем полиномов Лежандра и Чебышева;

– построены новые варианты теории упругих тонких тел (однослойных и многослойных тонких тел с одним малым размером, тонких тел с двумя малыми размерами и тонких плоских областей с одним малым размером) при различных параметризациях областей;

– сформулированы вариационные принципы для упругих тонких тел и доказаны теоремы о минимуме стационарной точки лагранжиана и максимуме стационарной точки оператора Кастильяно для любых обратимых операторных определяющих соотношений, а также доказаны теоремы о единственности обобщенного решения краевых задач.

– получены уравнения микрополярных теорий оболочек, тонких и пологих оболочек и призматических оболочек в контравариантных компонентах тензоров усилий и моментов, а также уравнения расширенной микрополярной теории оболочек;

– даны численные решения задач о тонком теле с двумя малыми размерами, прямоугольной тонкой плоской области с защемленными краями при различных нагрузках, а также о двухслойной двумерной области с защемленными краями.

Диссертация **охватывает** основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательных теоретических исследований, формулировкой прикладных задач и их точным и приближенным решением, а также взаимосвязанностью сделанных выводов.

На заседании 10 декабря 2014 года диссертационный совет принял решение присудить Никабадзе Михаилу Ушангиевичу ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов физико-математических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела», участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени 18, против присуждения учёной степени 0, недействительных бюллетеней 1.

Председатель диссертационного
совета Д 212.125.05 д.ф.-м.н., профессор

Д.В. Тарлаковский

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.125.05 к.ф.-м.н., доцент

Г.В. Федотенков

10 декабря 2014 г.

Ученый секретарь МАИ (НИУ)
доцент, к.т.н.



А.Н.Ульяшина