

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.05

Соискатель: Яковлев Дмитрий Олегович

Тема диссертации: Моделирование процессов деформирования многослойных тонких термоупругих пластин на основе метода асимптотической гомогенизации

Специальность: 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: На заседании 14 декабря 2016 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Яковлеву Дмитрию Олеговичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета Тарлаковский Д.В., заместитель председателя диссертационного совета Фирсанов В.В., ученый секретарь диссертационного совета Федотенков Г.В..

Члены диссертационного совета: Антуфьев Б.А., Бирюков В.И., Гришанина Т.В., Дмитриев В.Г., Дудченко А.А., Зверьев Е.М., Кузнецов Е.Б., Лурье С.А., Медведский А.Л., Мовчан А.А., Рабинский Л.Н., Рыбаков Л.С., Сибиряков А.В., Сидоренко А.С., Туркин И.К., Тютюнников Н.П., Шклярчук Ф.Н.

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

Федотенков Г.В.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.05 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «14» декабря 2016 г. № 27

О присуждении Яковлеву Дмитрию Олеговичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Моделирование процессов деформирования многослойных тонких термоупругих пластин на основе метода асимптотической гомогенизации» по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела» принята к защите «10» октября 2016 г., протокол № 26 диссертационным советом Д 212.125.05 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки РФ, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ о создании диссертационного совета Д 212.125.05 – № 105/нк от «11» апреля 2012 г.

Соискатель Яковлев Дмитрий Олегович 1987 года рождения, в 2011 году окончил с отличием Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана).

В 2015 году соискатель ученой степени кандидата наук окончил обучение в аспирантуре ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

Соискатель работает инженером 2 категории в отделении тепловибропрочности Акционерного общества «Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения» и ассистентом в ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», кафедра «Вычислительная математика и математическая физика (ФН-11)», Министерство образования и науки РФ, г. Москва.

Диссертация выполнена на кафедре «Вычислительная математика и математическая физика (ФН-11)» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки РФ.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Димитриенко Юрий Иванович**, профессор, заведующий кафедрой «Вычислительная математика и математическая физика (ФН-11)» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Официальные оппоненты:

Горбачев Владимир Иванович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры Механики композитов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»;

Волков-Богородский Дмитрий Борисович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт прикладной механики Российской академии наук (ИПРИМ РАН)» дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация **Открытое акционерное общество «Композит»** в своем положительном заключении, подписанном начальником отдела 0226, кандидатом физико-математических наук, Вагиным В.П., начальником отделения 0220, кандидатом технических наук Тащиловым С.В., указала, что для расчета предельного состояния тонких многослойных пластин, в частности, композиционных, трехслойных пластин, теплозащитных покрытий, в условиях комплексного воздействия температур и механических нагрузок возникает необходимость определения не только продольных напряжений, но и межслойных и поперечных напряжений, которые являются причиной расслоения многослойных пластин, разработка новых эффективных методов расчета является востребованной задачей для расширения границ применимости уже существующих методов, и диссертация Яковлева Д.О., посвященная моделированию процессов деформирования многослойных тонких термоупругих пластин на основе метода асимптотической гомогенизации является актуальной; в ней разработаны новые методы расчета, имеющие большое научное и практическое значение.

Соискатель имеет 12 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 12 работ, из которых 4 опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Димитриенко Ю.И., Яковлев Д.О. Асимптотическая теория термоупругости многослойных композитных пластин// Механика композиционных материалов и конструкций. Т.20. № 2. – 2014.- С.260-282.

Предложена теория термоупругости тонких многослойных анизотропных композитных пластин, которая построена из уравнений общей трехмерной теории термоупругости путем введения асимптотических разложений по малому. Сформулированы рекуррентные последовательности так называемых локальных задач и получены их решения в явном виде. Показано, что глобальная (осредненная по определенным правилам) задача теории термоупругости пластин в разработанной теории получается близкой к теории

пластин Кирхгофа-Лява, но отличается от нее наличием третьего порядка производных от продольных перемещений пластины.

2. Димитриенко Ю.И., Губарева Е.А., Яковлев Д.О. Асимптотическая теория вязкоупругости многослойных тонких композитных пластин// Наука и образование. Электронный журнал. # 10, октябрь 2014 DOI: 10.7463/1014.0730105. С.359-382.

Предложена теория вязкоупругих многослойных тонких пластин при установившихся моногармонических колебаниях, построенная из общих уравнений трехмерной теории вязкоупругости путем введения асимптотических разложений по малому геометрическому параметру - отношению толщины к длине пластины, без введения каких-либо гипотез относительно характера распределения амплитуд перемещений и напряжений по толщине пластины.

3. Димитриенко Ю.И., Губарева Е.А., Яковлев Д.О. Асимптотическая теория гармонических колебаний многослойных тонких упругих пластин// Вестник МГТУ им.Н.Э.Баумана. Сер. Естественные науки.- 2015.-№ 6.-С.99-120.

Предложена теория гармонических колебаний тонких упругих многослойных анизотропных пластин, построенная на основе асимптотического анализа общих трехмерных уравнений установившихся колебаний упругих тел с одним малым параметром, характеризующим отношение толщины к линейному размеру пластины, без введения гипотез относительно характера распределения перемещений и напряжений по толщине пластины. Построено асимптотическое решение задачи о собственных колебаниях пластины.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от ведущей организации **Открытого акционерного общества «Композит»**, отзыв положительный;

от официального оппонента, **Горбачева Владимира Ивановича**, отзыв положительный;

от официального оппонента, **Волкова-Богородского Дмитрия Борисовича**, отзыв положительный;

от Акционерного общества «Центральный Научно-исследовательский институт специального машиностроения» (АО «ЦНИИСМ») подписанный кандидатом технических наук, начальником отделения «Центр прочности» № 9 Калединым В.О., заверенный секретарем научно-технического совета АО «ЦНИИСМ» Красновой Г.В., отзыв положительный.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационного исследования, дан краткий обзор работы по главам, отмечены актуальность, новизна, достоверность полученных автором результатов и их практическая значимость.

В поступивших отзывах имеются замечания.

В отзыве ведущей организации ОАО «Композит» имеется три замечания:

1. При построении асимптотического разложения по малому параметру считается, что все компоненты тензора упругих постоянных материалов пластины имеют одинаковый порядок, что для ряда практических приложений, особенно композитов, армированных высокомодульным волокном, не является корректным. Так для однородной пластины предлагаемая теория приводит к уравнениям, совпадающим с уравнениями, полученными на основе гипотезы Кирхгофа-Лява. По данным, приведенным в монографии В.В.Васильева «Механика конструкций из композиционных материалов», таб. 3.1, стр. 123, ошибка в прогибах трехслойных пластин, вычисленных по предлагаемой теории, при определенном сочетании упругих постоянных слоев может превышать 50%.

2. В работе не обосновывается выбор типа конечного элемента, применяемого для построения численного решения, которое используется для сравнения с решением по разработанной теории пластин.

3. В работе представлен вывод уравнений равновесия и колебаний пластин только при кинематических граничных условиях. При этом в главах 2 и 4 в примерах используются другие граничные условия, при этом допущена опечатка в граничном условии свободного скольжения: указано $\sigma_{13} = 0$ вместо $\sigma_{23} = 0$.

Замечания в отзыве официального оппонента В.И. Горбачева:

1. Замечание по названию диссертационной работы. Пластина это, прежде всего геометрический объект, который может быть сделан из однородного или неоднородного, изотропного или анизотропного, упругого, пластичного или вязкоупругого материала. Поэтому она может быть упругой, пластичной, и т.п., но уж никак не термоупругой.

2. В рядах (1.3) для перемещений первыми членами являются функции, зависящие от координат x_1 и x_2 срединной плоскости пластины, а в температуре первым членом ряда является функция локальной переменной, которая изменяется в пределах периода структуры. Локальная переменная совпадает с безразмерной.

3. Во второй главе на стр. 35 в 6-й снизу строке есть ссылка на рисунок 4г. Я не нашёл этого рисунка. Нет также рисунка 2.4в. Рисунок 2.5б вообще не понятно к чему относится. Хотя подпись под рисунком указывает на то, что это распределение касательных напряжений по толщине пластины. На рисунке 2.10 и 2.11 указано, что это график поперечного напряжения σ_{22} хотя оно в данной задаче отсутствует (равно нулю).

Замечания в отзыве официального оппонента Д.Б. Волкова-Богородского:

1. В первой главе при формулировке основных допущений разрабатываемой теории (п. 1.1, стр. 12) недостаточно формализованы условия нагружения многослойной пластины. Не понятно, как использовать сформулированный критерий $\sigma_{33} = -\kappa^3 p_{\pm}$ на практике, хорошо бы было это проиллюстрировать примерами.

2. При конечно-элементном моделировании пластины, имеющей форму параллелепипеда, используются тетраэдры, которые, как известно, существенно повышают размерность задачи; лучше было бы использовать разбиение исходной области на гексаэдры.

3. В главе 2 при моделировании деформирования пластины под действием неравномерного нагрева сечения (п. 2.3) не указано, при каком конкретно распределении температуры сравниваются построенное и конечно-элементное решение; об этом приходится только догадываться по характеру распределения напряжений.

4. В работе содержится большое количество опечаток, некоторые ссылки оказались сбиты; это затрудняет восприятие текста, хотя в целом не приводит к недоразумениям.

Замечания в отзыве на автореферат диссертации, поступившем из АО «ЦНИИСМ»:

1. В автореферате не приводится тип используемого конечного элемента и общих параметров конечно-элементной сетки.

2. В работе не рассмотрен случай несимметричного расположения слоев тонкой пластины.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в данной области, а ведущая организация проводит исследования, эксперименты, разработку и производство композиционных материалов для продвинутого и общего применений и является ведущим материаловедческим предприятием Федерального космического агентства (статус подтверждён приказом Росавиакосмоса от 17 февраля 2003 года №75к).

Горбачев Владимир Иванович имеет ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого

твёрдого тела». Его научная деятельность связана с исследованиями в области моделирования процессов деформирования в механике композитов и теории упругости неоднородного тела. За предыдущие 5 лет имеет 7 публикации в журналах, входящих в Перечень РФ рецензируемых научных изданий. В основном тематика публикаций связана с направлением исследований диссертации:

1. Горбачев В. И. Метод осреднения Бахвалова-Победри в механике композитов // Вестник Московского университета. Серия 1: Математика. Механика. — 2016. — № 6. — С. 41–46.

2. Горбачев В. И., Емельянов А. Н. Осреднение уравнений моментной теории упругости неоднородного тела // Известия РАН. Механика твёрдого тела. — 2014. — № 1. — С. 95–107.

3. Горбачёв В. И. Интегральные формулы в связанной задаче термоупругости неоднородного тела. Применение в механике композитов // Прикладная математика и механика. — 2014. — Т.78. — №2. — С. 277–299.

4. Горбачев В. И., Гаделев Р.Р. Концентрации напряжений в упругих телах с множественными концентраторами // Вестник Московского университета. Серия 1: Математика и механика. — 2014. — № 6. — С. 45–50.

5. Горбачев В. И. Эффективные определяющие соотношения неупругих композитов // Вестник Московского университета. Серия 1: Математика. Механика. — 2013. — № 6. — С. 37–42.

6. Горбачёв В. И., Фирсов Л. Л. Новая постановка задачи теории упругости для слоя // Известия Российской академии наук. Механика твёрдого тела. — 2011. — № 1. — С. 114–121.

7. Горбачёв В. И. Динамические задачи механики композитов // Известия Российской академии наук. Серия: Физическая. — 2011. — Т.75. — №1. — С. 117–122.

Волков-Богородский Дмитрий Борисович имеет ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.07

«Вычислительная математика». Его научная деятельность связана с исследованиями в области неклассических моделей механики композиционных материалов и конструкций. За предыдущие 5 лет имеет 12 публикации в журналах, входящих в Перечень РФ рецензируемых научных изданий. В основном тематика публикаций связана с направлением исследований диссертации:

1. Волков-Богородский Д.Б. Аналитико-численный метод оценки эффективных характеристик структурно-неоднородных материалов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 4-2. С. 407-409.

2. Волков-Богородский Д.Б., Власов А.Н. Асимптотическое усреднение уравнений фильтрации Бринкмана в многофазных средах с периодической структурой // Механика композиционных материалов и конструкций. 2012. Т. 18, № 1. С. 92-110.

3. Власов А.Н., Волков-Богородский Д.Б., Знаменский В.В., Мнушкин М.Г. Численные расчеты в геомеханике применительно к линейным сооружениям // Вестник МГСУ. 2012. № 3. С. 35-42.

4. Власов А.Н., Волков-Богородский Д.Б., Знаменский В.В., Мнушкин М.Г. Генерация нерегулярных гексаэдральных сеток // Вестник МГСУ. 2012. № 4. С. 78-87.

5. Власов А.Н., Волков-Богородский Д.Б. Усреднение нелинейного уравнения теплопроводности при моделировании распространения тепла в композитных материалах периодической структуры // Механика композиционных материалов и конструкций. 2013. Т. 19, № 2. С. 163-180.

6. Саваторова В.Л., Талонов А.В., Власов А.Н., Волков-Богородский Д.Б. Усреднение нестационарных уравнений фильтрации вязкого вещества в недеформируемой пористой среде // Механика композиционных материалов и конструкций. 2013. Т. 19, № 4. С. 535-554.

7. Власов А.Н., Волков-Богородский Д.Б. Параметрический метод асимптотического усреднения для нелинейных уравнений термоупругости //

Механика композиционных материалов и конструкций. 2014. Т. 20, № 4. С. 491-505.

8. Власов А.Н., Волков-Богородский Д.Б., Ю.Г., Корнев Ю.В., Карнет Ю.Н. Оценка механических свойств гиперупругих композитов с малыми добавками дисперсных наполнителей // Механика композиционных материалов и конструкций. 2015. Т. 21, № 3. С. 352-359.

9. Волков-Богородский Д.Б., Лурье С.А. Решение задачи Эшелби в градиентной теории упругости для многослойных сферических включений // Механика твердого тела. 2016. № 2. С. 32-50.

10. Волков-Богородский Д.Б. Метод радиальных множителей в задачах механики неоднородных сред с многослойными включениями // Механика композиционных материалов и конструкций. 2016. Т. 22, № 1. С. 19-39.

11. Волков-Богородский Д.Б., Лурье С.А., Соляев Ю.О., Нужных А.В. Моделирование эффективных модулей композиционных материалов с цилиндрическими включениями с учетом влияния масштабных эффектов // Механика композиционных материалов и конструкций. 2016. Т. 22. № 1. С. 128-152.

12. Власов А.Н., Волков-Богородский Д.Б., Карнет Ю.Н. Оценка механических свойств гиперупругих полимерных композитов с малыми добавками наноразмерных частиц наполнителей и учёт влияния их агрегации // Механика композиционных материалов и конструкций. 2016. Т. 22 № 2. С. 213-224.

Вышеизложенное позволяет считать, что выбор диссертационным советом этих ученых в качестве официальных оппонентов является обоснованным, соответствует Постановлению ВАК о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24 сентября 2013 г. и Положению ВАК о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, утвержденному приказом Министерства образования и науки РФ № 7 от 13 января 2014 г.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан новый, математически обоснованный способ вывода уравнений теории термоупругости тонких многослойных анизотропных пластин из уравнений общей трехмерной теории термоупругости путем введения асимптотических разложений по малому параметру, без введения каких-либо гипотез относительно характера распределения перемещений и напряжений по толщине, а также новый способ вывода уравнений теории собственных колебаний тонких упругих многослойных анизотропных пластин, на основе асимптотического анализа общих трехмерных уравнений упругих колебаний тел, без введения каких-либо гипотез относительно характера распределения перемещений и напряжений по толщине;

предложен новый подход к моделированию процессов деформирования многослойных тонких термоупругих пластин на основе метода асимптотической гомогенизации;

доказана перспективность применимости разработанных теоретических подходов для численных расчетов и оценок напряженно-деформированного состояния многослойных пластин из композиционных материалов при воздействии механических и тепловых нагрузок;

новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения предложенных теоретических подходов, вносящие существенный вклад в развитие эффективности расчета напряженно-деформированного состояния многослойных пластин из композиционных материалов при воздействии механических и тепловых нагрузок;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс

существующих базовых положений механики деформируемого твердого тела и общие подходы метода асимптотической гомогенизации;

изложены этапы построения осредненной системы уравнений равновесия для пластин и осредненных уравнений установившихся колебаний многослойной пластины;

раскрыты особенности осредненных определяющих соотношений многослойных пластин и соотношений для сдвиговых и поперечных напряжений в слоях;

изучена зависимость продольных перемещений в пластине от поперечной координаты для моноклинных композиционных материалов;

проведена модернизация расчетных методов по определению всех 6 компонент тензора напряжений в многослойных пластинах, включая поперечные нормальные напряжения и напряжения межслойного сдвига, при воздействии механических и тепловых нагрузок.

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

разработан новый эффективный вычислительный подход к моделированию процессов деформирования многослойных тонких пластин при воздействии механических и тепловых нагрузок, который позволяет вычислять все 6 компонент тензора напряжений;

определены направления практического использования результатов исследований, в частности, для расчета всех 6 компонент тензора напряжений в многослойных пластинах, включая поперечные нормальные напряжения и напряжения межслойного сдвига, при воздействии механических и тепловых нагрузок;

создан новый эффективный вычислительный подход к моделированию процессов деформирования многослойных тонких пластин при гармонических колебаниях;

представлены теоретические формулы и результаты вычислений по полученным формулам, пригодные для оценки поперечных нормальных напряжений и напряжений межслойного сдвига в пластине.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных положениях механики деформируемого твердого тела;

идея базируется на применении метода асимптотического осреднения к уравнениям общей трехмерной теории термоупругости и уравнениям установившихся колебаний;

использованы сравнения авторских результатов численного расчета характеристик напряженного состояния трехслойной пластины с результатами, полученными прямым конечно-элементным решением с помощью программного комплекса ANSYS для некоторых частных случаев;

установлено качественное и количественное совпадение результатов расчета с результатами, полученными на основе трехмерной теории для всех численных примеров расчета, результаты диссертационной работы согласуются с известными результатами других авторов;

использованы современные программы технических вычислений и конечно-элементного моделирования.

Личный вклад соискателя состоит в:

непосредственном участии в разработке нового математически обоснованного способа вывода уравнений теории термоупругости и собственных колебаний тонких многослойных анизотропных пластин из уравнений общих трехмерных теорий путем введения асимптотических разложений по малому параметру, в валидации разработанных теорий, путем проведения вычислительных экспериментов и сравнения с результатами, полученными прямым конечно-элементным решением, анализе результатов вычислений.

Совокупность выполненных автором исследований и разработанных теоретических положений позволяет считать, что представленная диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для развития механики деформируемого твердого тела. В ней изложены новые научно обоснованные теоретические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, что соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 14 декабря 2016 года диссертационный совет принял решение присудить Яковлеву Д.О. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 7 докторов физико-математических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела», участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 20, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного

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

Тарлаковский Д.В.

Ученый секретарь диссертационного

совета Д 212.125.05 к.ф.-м.н., доцент

Федотенков Г.В.