

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: 24.2.327.07

Соискатель: Пичугина Анна Евгеньевна

Тема диссертации: «Моделирование термоупругого деформирования тонких композитных оболочек на основе асимптотической теории»

Специальность: 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 27 сентября 2023 года, протокол 6, диссертационный совет пришел к заключению о том, что диссертационное исследование Пичугиной А.Е. является законченной научно-квалификационной работой, имеет важное прикладное значение и содержит элементы фундаментального исследования. Достоверность полученных результатов обоснована и сомнений не вызывает.

Диссертация Пичугиной А.Е. отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842. На заседании 27 сентября 2023 года, протокол 6, диссертационный совет принял решение присудить Пичугиной А.Е. ученую степень кандидата физико-математических наук.

Присутствовали: заместители председателя диссертационного совета Земсков А.В. и Фирсанов В.В., ученый секретарь диссертационного совета Сердюк Д.О.

Члены диссертационного совета: Булычев Н. А., Вестяк В. А., Дмитриев В. Г., Кузнецова Е. Л., Меркурьев И. В., Миронова Л. И., Рабинский Л. Н., Федотенков Г. В.

Заместитель председателя
диссертационного совета 24.2.327.07
д.ф.-м.н., доцент



Земсков А.В.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.327.07
к.т.н., доцент



Сердюк Д.О.

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА УДС МАИ
Т.А. АНИКИНА

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.07,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «27» сентября 2023 г. № 6

О присуждении Пичугиной Анне Евгеньевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Моделирование термоупругого деформирования тонких композитных оболочек на основе асимптотической теории» по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела», принята к защите «05» июня 2023 г., протокол № 5, диссертационным советом 24.2.327.07, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования РФ, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ о создании диссертационного совета 24.2.327.07 – № 1184/нк от «12» октября 2022 г.

Соискатель Пичугина Анна Евгеньевна, 21 февраля 1994 года рождения, в 2019 г. окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н. Э. Баумана) по специальности «Математика и компьютерные науки». С 2019 по 2023 год

Пичугина Анна Евгеньевна обучалась в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н. Э. Баумана).

Работает системным аналитиком в обществе с ограниченной ответственностью «Датаномика», старшим преподавателем в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н. Э. Баумана) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по совместительству, инженером в Научно-образовательном центре «Суперкомпьютерное инженерное моделирование и разработка программных комплексов» (НОЦ «СИМПЛЕКС» МГТУ им. Н.Э. Баумана) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по совместительству.

Диссертация выполнена на кафедре «Вычислительная математика и математическая физика (ФН-11)» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н. Э. Баумана), Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Юрий Иванович Димитриенко, заведующий кафедрой «Вычислительная математика и математическая физика (ФН-11)» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н. Э. Баумана).

Официальные оппоненты:

Звягин Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры Газовой и волновой динамики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ им. М.В. Ломоносова), г. Москва,

Жаворонок Сергей Игоревич, кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела механики адаптивных и композиционных материалов и систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт прикладной механики Российской академии наук (ИПРИМ РАН)», г. Москва,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт автоматизации проектирования Российской академии наук (ИАП РАН)», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанным доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником **Бураго Николаем Георгиевичем** и кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником **Никитиным Александром Дмитриевичем**, утвержденным доктором физико-математических наук, директором федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт автоматизации проектирования Российской академии наук (ИАП РАН)» **Никитиным Ильей Степановичем**, указала, что диссертация **Пичугиной Анны Евгеньевны** представляет собой законченную квалификационную работу, в которой изложен комплекс результатов, дающих решение важной научно-технической задачи расчета термонапряжений в многослойных композитных тонкостенных оболочечных элементах конструкций. Диссертационная работа полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 01.10.2018) «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Анна

Евгеньевна Пичугина, безусловно заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела».

Соискатель имеет 6 опубликованных работ по теме диссертации, из них в рецензируемых журналах опубликовано 6 работ: 3 статьи – в журналах из перечня ВАК РФ, 3 статьи – в журналах, индексируемых в WoS и Scopus.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Дмитриенко Ю.И., Губарева Е.А., Пичугина А.Е. Моделирование напряжений в тонких композитных цилиндрических оболочках на основе асимптотической теории. Математическое моделирование и численные методы, 2018, № 3, с. 114–132.

2. Дмитриенко Ю.И., Губарева Е.А., Пичугина А.Е. Моделирование термонапряжений в композитных оболочках на основе асимптотической теории. Часть 1. Общая теория оболочек. Математическое моделирование и численные методы, 2020, № 4, с. 84–110.

3. Yu I Dimitrienko, E A Gubareva, A E Pichugina Theory of the multilayer thin anisotropic shells, based on the asymptotic analysis of the general equations for the elasticity theory. IOP Journal of Physics: Conference Series, 2018. volume 1141 012097 doi:10.1088/1742-6596/1141/1/012097

4. Yu I Dimitrienko, E A Gubareva, A E Pichugina Theory of composite cylindrical shells under quasistatic vibrations, based on an asymptotic analysis of the general viscoelasticity theory equations. IOP Conference Series: Material Science and Engineering, 2019. volume 683 № 012013 doi:10.1088/1757-899X/683/1/012013 pp.1-6.

5. Yu I Dimitrienko, E A Gubareva and A E Pichugina Asymptotic stress analysis of multilayer composite thin cylindrical shells. IOP Conference Series: Material Science and Engineering, 2020. volume 934 (2020) 012017 doi:10.1088/1757-899X/934/1/012017 pp.1-6.

6. Дмитриенко Ю.И., Губарева Е.А., Пичугина А.Е., Белькова К.В., Борин Д.М. Моделирование термонапряжений в композитных оболочках на

основе асимптотической теории. Часть 2. Расчет цилиндрических оболочек. Математическое моделирование и численные методы, 2022, № 3, с. 3–30

В этих и остальных работах развита методика асимптотического анализа для случая задач термоупругости тонких композитных оболочек, проведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния цилиндрической оболочки при одностороннем нагреве и осесимметричном изгибе. В материалах совместных публикаций личный вклад автора является определяющим.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от ведущей организации и официальных оппонентов, отзывы положительные;

от доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой механики композитов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ им. М.В. Ломоносова), Горбачева Владимира Ивановича, отзыв положительный;

от кандидата физико-математических наук, заместителя начальника отдела АО «ВПК «НПО машиностроения», Кольжановой Дарьи Юрьевны, отзыв положительный;

от кандидата технических наук, начальника отделения Акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения» (АО «ЦНИИСМ») Каледина Владимира Олеговича, 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 федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт автоматизации проектирования Российской академии наук (ИАП РАН)» имеются следующие замечания.

1. В диссертации предложен асимптотический метод построения теории тонких оболочек, который в итоге приводит к осредненным уравнениям, подобным уравнениям оболочек типа Кирхгофа-Лява. В то же время, известно, что для композиционных материалов, для которых и предлагается применять разработанную в диссертации теорию, более точно описывает напряженно-деформированное состояние теория оболочек типа Тимошенко.

2. Для общего случая асимптотической теории оболочек решения локальных задач в диссертации получены при всех степенях разложения, рекуррентным образом, а при численном решении задачи о цилиндрической оболочке рассмотрены приближения только до 1-го приближения – для тангенциальных напряжений, до 2-го приближения – для напряжений межслойного сдвига, и до 3-го – для поперечных напряжений. Вопрос о том, почему достаточно ограничиться только этими приближениями остался открытым.

Замечания в отзыве официального оппонента Звягина А.В.

1. Присутствуют ошибки редакционного характера (например: стр.7, стр.8).

2. На стр.63 в граничных условиях (3.1) – лишнее условие?

3. На стр. 68 используется неравенство. Почему оно выполнено для реальных материалов, требует пояснений.

4. В работе утверждается, что необходимая точность определения межслойных напряжений достигается при разложении вплоть до третьего порядка. Количественной оценки этой точности нет.

Замечания в отзыве официального оппонента Жаворонка С.И.

1. В задаче о деформировании цилиндрической оболочки автором используется запись общего решения дифференциального уравнения

четвертого порядка в экспоненциально-тригонометрической форме, включающая экспоненты с положительными и отрицательными показателями (3.32-34). Решение краевой задачи при такой форме общего решения, вообще говоря, приводит к плохо обусловленной матрице линейной системы алгебраических уравнений относительно констант интегрирования, содержащей большие и малые величины экспонент (3.49). Представление решение (3.32-34) в форме краевых эффектов $\exp(-rX^1)$, $\exp(-r(L-X^1))$, затухающих экспоненциально от противоположных краев оболочки, не приводящей к появлению в (3.49) значений экспонент, по модулю больших единицы, автором не использовано. В то же время приведённые в п. 3.8 решения задачи при длинах оболочки $L > 0,75$, очевидно, позволяют разделить систему уравнений относительно констант интегрирования на две независимые подсистемы, что существенно упрощает решение. Более того, анализ применимости такой формы решения при различных структурах материала оболочки имеет очевидное прикладное значение для разработки методов инженерного расчёта.

2. Структура диссертации, разделённой на три главы существенно различного объёма, представляется не вполне обоснованной. Глава 2 диссертации фактически содержит описание уравнений и краевых условий для частного случая, следующих из результатов главы 1, и не имеет самостоятельного значения. Объем главы 2 составляет 7 листов, тогда как объем главы 1 – 42 листа, главы 3 – 38 листов. В то же время анализ современного состояния проблемы перенесён во введение, что не соответствует общепринятой структуре диссертации, и представляется излишне лаконичным, в ряде случаев сводящимся к перечислению ранее опубликованных работ. Не анализируются некоторые работы по применению асимптотических методов в теории композиционных оболочек, что может привести к занижению оценки новизны авторских результатов, составляющих основу диссертационного исследования и выносимых на защиту.

3. Автором в некоторых случаях использована терминология, вообще говоря, отличающаяся от общепринятой. Так, на стр. 78 введены термины «продольный коэффициент Пуассона ν_L », «поперечный коэффициент Пуассона ν_T » (при этом допущена опечатка в значении ν_L , вследствие которой не выполняются уравнения $\nu_T E_L^{-1} = \nu_L E_T^{-1}$; очевидно, $\nu_L \approx 0.01$), а также «продольный модуль сдвига G_L » и «поперечный модуль сдвига G_T » (величина G_T на странице 79, однако, не приведена). Данная терминология в сочетании с представлением компонентов тензора податливости монослоя $\Pi_{ijk}^{(s)}$ и тензоров $\alpha_{ij}^{(s)}, \lambda_{ij}^{(s)}$ в нотации Фойхта приводит к возможности двойного толкования выражений трансверсальных касательных напряжений $e_{\alpha 3}$.

4. Работа содержит опечатки; некоторые из них могут привести к искажению смысла излагаемого материала. Например, на стр. 75 присутствует фраза «... в данной задаче температурное поле не зависит от координат $X_1 = 0,5\bar{L}$ и $X_1 = 0,5\bar{L} \dots$ », и т.п.

В отзывах на автореферат следует отметить следующие замечания.

1. Хотелось бы видеть возможность применения разработанной теории к оболочкам иной геометрии, например, сферической формы.

2. Не указано, соответствуют ли характеристики рассмотренных материалов каким-либо реальным материалам.

3. Хотелось бы, чтобы было уточнено, почему можно пренебречь изменением метрики по толщине оболочки.

4. Неясно, почему на внутренней поверхностях оболочки давление имеет указанный порядок малости.

5. Недостаточно подробно изложено рекуррентное решение локальных задач.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высококвалифицированными специалистами в данной области, а ведущая организация проводит исследования в области деформирования

тонкостенных элементов конструкций. Официальные оппоненты и сотрудники ведущей организации имеют значительное количество публикаций по теме диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан вариант метода асимптотических разложений для случая тонких многослойных композитных оболочек произвольной геометрии для малых деформаций;

предложена методика асимптотического анализа напряженно-деформированного и теплового состояния многослойных тонких анизотропных композитных оболочек общего вида в трехмерной постановке без дополнительных предположений о характере распределения неизвестных функций по толщине оболочки;

доказана перспективность разработанной методики асимптотического анализа для решения задач расчета термонапряжений в оболочках;

новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что предложенная в диссертации методика асимптотического анализа общих трехмерных уравнений теории термоупругости, не использующая каких-либо допущений относительно характера распределений перемещений и напряжений по толщине оболочек, приводит к системе уравнений анизотропных термоупругих оболочек типа Кирхгофа-Лява;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс методов, в том числе метод асимптотических разложений уравнений в частных производных, аналитические методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений и систем обыкновенных дифференциальных уравнений высших порядков, численные методы интегрирования;

изложены постановки локальных задач теории оболочек и алгоритм рекуррентного решения локальных задач для получения компонент тензора термонапряжений;

раскрыто существование проблемы строгого математического обоснования классических теорий оболочек по отношению к общим трехмерным уравнениям теории термоупругости;

изучена связь уравнений теории тонких многослойных анизотропных оболочек типа Кирхгофа-Лява с общими трехмерными уравнениями теории термоупругости при использовании методики асимптотических разложений по малому геометрическому параметру;

проведена модернизация теории термоупругости многослойных анизотропных оболочек для случая произвольного распределения температурного поля по толщине оболочки.

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

разработан вариант уравнений тонкостенных композитных оболочек на основе асимптотического анализа общих трехмерных уравнений термоупругости без использования гипотез о характере распределения перемещений и напряжений по толщине;

определены перспективы практического использования разработанной методики применительно к решению задач вычисления термонапряжений в оболочках при комбинированном воздействии механических нагрузок и нестационарного неравномерного нагрева;

создана новая эффективная методика решения задач термоупругости тонких многослойных композитных оболочек;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию аналитических методов решения задач теории оболочек на основе разработанной методики.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных уравнениях механики упругих деформируемых тел, методы решения математически строгие и непротиворечивы, реализованные алгоритмы теоретически строго обоснованы, результаты согласуются с опубликованными данными по теме диссертации;

идея базируется на использовании метода асимптотических разложений применительно к трехмерным квазистатическим задачам линейной теории термоупругости в рамках малых деформаций;

использованы сравнения полученных результатов с результатами других авторов, а также сравнения результатов, полученных с помощью разных методов;

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках в частных случаях;

использованы современные методы математического моделирования, численные алгоритмы решения задач, информационные и компьютерные методы визуализации полученных результатов.

Личный вклад соискателя состоит в развитии варианта метода асимптотических разложений применительно к задачам термоупругости тонких композитных оболочек. Сформулирована постановка рекуррентной последовательности локальных задач теории оболочек произвольной геометрии. Предложен алгоритм решения рекуррентной последовательности локальных задач, с помощью которого получены явные аналитические выражения для всех компонент вектора перемещений и тензора напряжений оболочки для произвольного порядка разложения по малому геометрическому параметру. Рассмотрен частный случай моделирования термо-напряженно-деформированного состояния цилиндрических оболочек и получены явные аналитические выражения решения локальных задач для этого случая. В качестве демонстрации предложенного метода численно-аналитическим способом решена задача об осесимметричном изгибе

цилиндрической композитной оболочки при комбинированном воздействии давления и одностороннего нагрева.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний. Диссертация соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании «27» сентября 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Пичугиной Анне Евгеньевне ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 11 человек, из них 5 докторов физико-математических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела», участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 11, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя

Диссертационного совета 24.2.327.07

д.ф.-м.н., доцент



Земсков А.В.

Ученый секретарь

Диссертационного совета 24.2.327.07

к.т.н., доцент



Сердюк Д.О.

«27» 09 2023 года

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА УДС МАИ
Т.А. АНИКИНА

