



УТВЕРЖДАЮ
Директор ФИЦ КНЦ СО РАН
член-корреспондент РАН

Шпедт А.А.

15 января 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Горынина Арсения Глебовича «Математические модели расчета напряженно-деформированного состояния композитных элементов конструкций на основе метода асимптотического расщепления», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. «Механика деформируемого твердого тела»

Актуальность темы диссертационной работы Горынина А.Г., направленной на разработку методов высокой точности для анализа деформации и прочности тонкостенных элементов конструкций из композитных материалов, обусловлена возрастающей потребностью в таких методах для проведения инженерных расчетов в машиностроении, авиастроении, медицинском приборостроении и других отраслях народного хозяйства. В условиях стремительного развития технологий и материаловедения, создание универсальных математических моделей деформации стержней, пластин и оболочек, свободных от эвристических гипотез о распределении перемещений и напряжений по толщине типа гипотез Эйлера – Бернулли, Кирхгофа – Лява, Тимошенко, с широкими границами применимости становится исключительно важным. На этом пути следует ожидать существенного повышения эффективности проектирования композитных элементов инженерных конструкций и улучшения их эксплуатационных характеристик.

Анализ содержания диссертации.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель работы, поставлены четыре задачи для её достижения, обоснована теоретическая и практическая значимость работы, сформулирована научная новизна и положения, выносимые на защиту, приведены сведения об основных публикациях и апробации работы. Также во введении приведен литературный обзор, позволяющий оценить степень разработанности выбранной темы.

Первая глава посвящена применению метода асимптотического расщепления к расчёту напряженно-деформированного состояния однородных и композитных цилиндрических оболочек в осесимметричной постановке. В ней на основе метода асимптотического расщепления разработан ряд приближенных математических моделей, которые позволяют проводить расчёты, близкие по точности к решению статических задач в рамках точных уравнений пространственной теории упругости. Проведена верификация математической модели первого приближения в задаче деформирования слоистой трубы с композитными слоями под действием внутреннего давления. Показано, что предлагаемая модель при расчёте коротких цилиндров имеет более высокую точность по сравнению с классической, основанной

на гипотезах Кирхгофа – Лява. Отмечены недостатки модели, связанные с погрешностью аппроксимации граничных условий, которые предполагается ликвидировать в дальнейшем с помощью модели второго порядка.

Во второй главе исследуются вопросы построения усовершенствованной теории деформирования слоистых анизотропных стержней сложного поперечного сечения на основе метода асимптотического расщепления. В этой главе разработаны три математические модели, которые различаются между собой по точности описания деформаций растяжения, изгиба и кручения. Проведен анализ разрешимости граничных задач в рамках этих моделей. Разработан метод численного интегрирования уравнений с граничными условиями разного типа. К решению возникающих при реализации метода граничных задач для уравнений в частных производных в области поперечного сечения стержня применен метод конечных элементов.

Третья глава посвящена разработке, численной реализации, верификации и валидации семейства математических моделей, рассмотренных во второй главе. К ним относятся модели разного уровня приближения для анализа деформации анизотропных стержней с поперечной плоскостью симметрии анизотропии. Разработаны вычислительные алгоритмы для решения граничных задач для многослойных стержней коробчатого и двутаврового поперечного сечения из композитных материалов, а также для сэндвич-панелей с мягким заполнителем. Валидация полученных численных результатов проведена сравнением с результатами натурных экспериментов из доступных литературных источников.

Четвертая глава содержит результаты математического моделирования стесненного кручения композитных слоистых стержней различных типов сечений на основе одной из разработанных математических моделей. В качестве тестовой задачи рассмотрена задача о кручении консольного стержня концевым закручивающим моментом.

В заключении к диссертации сформулированы выводы по результатам проведенного исследования, рекомендации по применению результатов и описаны перспективы дальнейшей работы по данной тематике.

В приложении приведена копия свидетельства о государственной регистрации разработанной программы для ЭВМ и дано её описание.

Научная новизна изложенных в работе результатов заключается в применении метода асимптотического расщепления к новому для этого метода классу задач деформирования композитных цилиндрических оболочек и тонкостенных композитных стержней. На этой основе получены усовершенствованные варианты теории деформирования слоистых цилиндрических оболочек и анизотропных стержней с учётом поведения от совместного действия нагрузок растяжения-сжатия, изгиба и кручения. Разработаны и верифицированы вычислительные алгоритмы для решения граничных задач, возникающих в методе асимптотического расщепления.

Достоверность полученных результатов подтверждается сопоставлением с известными аналитическими решениями и численными расчетами методом конечных элементов в двумерной (плоской) и пространственной постановках на детализированных сетках с использованием широко распространенных программных комплексов, а также сопоставлением с доступными в научной литературе экспериментальными данными.

Практическая значимость диссертации заключается в создании новых математических моделей для анализа прочности композитных слоистых конструкций, которые обладают высокой универсальностью и широкими возможностями применения в инженерных расчётах слоистых тонкостенных элементов конструкций из композитных материалов.

Результаты диссертации могут быть использованы в Казанском (Приволжском) федеральном университете, Северо-Восточном федеральном университете им. М.К. Аммосова, Комсомольском-на Амуре государственном университете, Самарском государственном техническом университете, Новосибирском государственном техническом университете, НИИ прикладной математики и механики при Томском государственном университете, НИИ механики при Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского, Центральном аэрогидродинамическом институте имени профессора Н. Е. Жуковского, АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева и в других научно-исследовательских организациях.

Вопросы и замечания по диссертационной работе.

1. Остается не ясным вопрос, как ведет себя уточненная модель слоистой цилиндрической оболочки из первой главы, если внешняя нагрузка распределена неравномерно по оси z , имеет большие градиенты и/или точки разрыва. Было бы интересно в численных расчётах рассмотреть вместо линейной, например, кусочно-постоянную функции $p(z)$.
2. Утверждение в последнем абзаце на странице 85 о том, что обобщенная функция $(U_\alpha^n)_i^{(k)}$ непрерывно-дифференцируема почти всюду в двумерной области F , неверно. Функции из пространства $H^1(F)$, вообще говоря, не являются даже непрерывными.
3. В работе не уделяется должного внимания вариационным формулировкам разрабатываемых моделей. Существуют ли вариационные принципы, которые эквивалентны дифференциальным постановкам получаемых уравнений и граничных условий? Если такие принципы существуют, то исчезает проблема с недостающими граничными условиями, поскольку все они автоматически получаются как естественные условия в результате варьирования функционалов. Кроме того, на этом пути лежит перспектива исследования математических вопросов разрешимости на основе теорем существования минимизирующих функций для квадратичных функционалов.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы в целом. Они носят рекомендательный характер для продолжения исследований по этой, безусловно, актуальной и важной теме. Необходимо особо отметить, что соискатель при выполнении работы получил исключительно высокую квалификацию как в области построения математических моделей механики деформируемого твердого тела, так и в области разработки численных методов исследования и применения к решению возникающих задач инженерных компьютерных программ, включая известные реализации метода коллокаций и программные комплексы конечноэлементного моделирования.

Диссертационная работа по содержанию и методам исследования соответствует пунктам: 2 – «Теория определяющих соотношений деформируемых тел с простой и сложной структурой»; 3 – «Задачи теории упругости, теории

пластичности, теории вязкоупругости»; 4 – «Механика композиционных материалов и конструкций, механика интеллектуальных материалов»; 11 – «Математическое моделирование поведения дискретных и континуальных деформируемых сред при механических, тепловых, электромагнитных, химических, гравитационных, радиационных и прочих воздействиях»; 12 – «Вычислительная механика деформируемого твердого тела» паспорта специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела» по физико-математическим наукам.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 7 научных публикациях, включая 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 2 публикации в трудах Международных и Всероссийских конференций, индексируемых в Web of Science и/или Scopus. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Содержание диссертации и основные результаты в полной мере отражены в автореферате. Работа написана современным научным языком, содержит новые научные результаты и свидетельствует о высоком уровне квалификации её автора.

Полученные в работе результаты докладывались и обсуждались на 17 Всероссийских и Международных конференциях и семинарах. Материалы диссертации обсуждались на 5 научных семинарах, в том числе на научном семинаре «Математическое моделирование в механике» в ИВМ СО РАН. Таким образом основные изложенные в работе результаты были опубликованы и прошли хорошую апробацию на конференциях и научных семинарах.

Диссертационная работа удовлетворяет пунктам 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней» № 842 (в редакции от 16 октября 2024 года), утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации 24 сентября 2013 года, а именно, является научно-квалификационной работой, демонстрирующей возможность применения метода асимптотического расщепления к решению задач механики деформирования композитных цилиндрических оболочек и композитных тонкостенных стержней. Результаты, полученные в работе, имеют существенное значение для моделирования сложного напряженно-деформированного состояния в композитных элементах конструкций.

Диссертационная работа «Математические модели расчета напряженно-деформированного состояния композитных элементов конструкций на основе метода асимптотического расщепления» соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Горынин Арсений Глебович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. «Механика деформируемого твердого тела».

Отзыв подготовлен доктором физико-математических наук, профессором, членом корреспондентом РАН Садовским Владимиром Михайловичем, научная специальность 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела. Отзыв на диссертацию обсужден и одобрен на семинаре «Математическое моделирование в механике» ИВМ СО РАН. Протокол № 11 от 20.12 2024 г.

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, их дальнейшую обработку и передачу в соответствии с требованиями Минобрнауки.

Заведующий отделом вычислительной механики деформируемых сред,
главный научный сотрудник Института вычислительного моделирования СО РАН –
обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, доктор физико-математических
наук, профессор, член корреспондент РАН

В. Садовский

В.М. Садовский

Подпись Садовского Владимира Михайловича удостоверяю:

ученый секретарь ФИЦ КНЦ СО РАН

к.ф.-м.н.



П.Г. Шкурятин

П.Г. Шкурятин

Контактные данные организации:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный
исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук»

Адрес местонахождения научного учреждения:

660036, г. Красноярск, Российская Федерация, Академгородок, 50

Контактный телефон: +7 (391) 243-45-12

Адрес электронной почты E-mail: fic@ksc.krasn.ru

Адрес сайта: <https://ksc.krasn.ru>