

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ
И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОФИЗИКИ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИВМиМГ СО РАН)

Просп. Академика Лаврентьева, 6, Новосибирск, 630090
Тел.: (383)330-83-53, факс (383)330-87-83, e-mail: director@ssec.ru
ОКПО 03533843, ОГРН 1025403656420, ИНН/КПП 5408100025/540801001

08.12.2016 № 15301/

На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор федерального государственного
бюджетного учреждения науки Институт
вычислительной математики и математической
геофизики Сибирского отделения Российской
академии наук
Член-корреспондент РАН
С.И. Кабанхин

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Идимешева Семена Васильевича «Модифицированный метод коллокаций и наименьших невязок и его приложение в механике многослойных композитных балок и пластин», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Актуальность темы исследований. Неотъемлемой частью современного математического моделирования различных физических процессов является применение численных методов решения возникающих краевых и начально-краевых задач. Возможности применяемых численных методов напрямую определяют качество и достоверность получаемых результатов, поэтому разработка численных алгоритмов несомненно является важной и актуальной задачей. В последние годы особый научный интерес получили численные методы, основанные на спектральных подходах, когда решение аппроксимируется полиномами высоких степеней или близкими к ним функциями. Во многих случаях при помощи спектральных подходов можно получать численные решения с очень высокой точностью при относительно малых вычислительных затратах, что несомненно стимулирует исследователей к работе в этой области.

В диссертационной работе С.В. Идимешева разработан численный алгоритм, использующий идеи спектрального подхода, который применен для решения различных задач механики композитов, и в частности для задач механики многослойных анизотропных пластин, широко используемых в качестве конструктивных элементов в космической, авиационной и военной технике. Сложная неоднородная анизотропная структура обеспечивает уникальность механических свойств композитов, но с другой стороны существенно усложняет процесс математического моделирования поведения композитных конструкций из таких материалов. В случае использования соотношений пространственной теории упругости, возникают проблемы, которые с вычислительной точки зрения оказываются часто непреодолимыми. В диссертационной работе для расчета многослойных анизотропных пластин используются

различные варианты теорий пластин, в частности классическая теория Кирхгофа-Лява, а также уточненные теории Тимошенко и Григолока-Чулкова. Следует отметить, что при деформировании композитных конструкций могут возникать эффекты, совершенно нетипичные для конструкций, изготовленных из однородных изотропных материалов. Речь идет, например, об эффекте разносопротивляемости растяжению и сжатию, который необходимо учитывать при проектировании и изготовлении конструкций ответственного назначения.

Содержание работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. *Во введении* раскрыта актуальность выбранной темы исследований, приведены основные результаты и положения, выносимые на защиту. Приведен литературный обзор работ, посвященных тематике диссертации. Изложено краткое содержание диссертации по главам.

Глава 1 *“Исходные и разрешающие системы уравнений механики многослойных анизотропных пластин”* посвящена выводу и анализу разрешающих уравнений механики многослойных анизотропных пластин. Для описанной физической постановки изгиба многослойных прямоугольных пластин с трансверсально-изотропными слоями в главе получены разрешающие уравнения в кинематических переменных как для пространственной теории упругости, так и для различных вариантов теорий пластин. Проведен сравнительный анализ полученных систем дифференциальных уравнений с точки зрения вычислительных трудностей, которые могут возникать при их численном решении. В результате проведенного исследования сделан вывод о том, что для описанной постановки задачи использование соотношений теорий пластин вместо соотношений пространственной теории упругости возможно и предпочтительно.

Глава 2 *“Метод коллокаций и наименьших невязок”* посвящена описанию предлагаемого в работе численного метода. Идеология метода коллокаций и наименьших невязок (КНН) описана в сравнении с хорошо известным методом коллокаций. Приведено подробное описание методики реализации метода КНН. Описаны предпосылки к использованию спектральных подходов, такие, например, как их экспоненциальная сходимость. Показано, как в методе КНН реализуются описанные идеи и какие преимущества при этом возникают. Проведены расчеты и сделан анализ достаточно широкого класса модельных задач, с решениями, обладающими различными особенностями.

Глава 3 *“Анализ напряженно-деформированного состояния многослойных прямоугольных пластин”* посвящена расчету и анализу решений задач механики многослойных пластин. Возможности модифицированного метода КНН продемонстрированы на тестовых задачах. Для задачи, описанной в первой главе, представлены результаты расчетов и проведен сравнительный анализ решений задачи изгиба трех-, пяти- и семислойных шарнирно-закрепленных пластин разной относительной толщины. На основании полученных результатов даны рекомендации об использовании каждой из рассмотренных теорий пластин в зависимости от относительной толщины пластин.

Глава 4 *“Моделирование трехточечного изгиба композитной балки разносопротивляющейся растяжению и сжатию”* посвящена разработке математической модели расчета трехточечного изгиба полимерных и композитных балок, учитывающей физическую нелинейность материала и эффект разносопротивляемости растяжению и сжатию. Описана суть эффекта разносопротивляемости в комбинации с физической нелинейностью. На основании классической теории изгиба балок, предложена усовершенствованная модель, учитывающая описанные эффекты. Получено хорошее соответствие результатам экспериментальных данных на примере нескольких образцов, выполненных из эпоксидной смолы и углепластиков, разработанных в ФГУП “ВИАМ” ГНЦ РФ.

В *заключении* сформулированы основные результаты и выводы диссертации.

Научная новизна работы. Новизна результатов диссертационной работы Идмешева С.В. заключается в следующем.

- Предложена модификация численного метода – метода коллокаций и наименьших невязок, которая позволяет эффективно аппроксимировать решения полиномами высоких степеней.
- Проведены расчеты напряженно-деформированного состояния многослойных анизотропных прямоугольных пластин в рамках различных теорий пластин. Проведен сравнительный анализ применимости перечисленных теорий на задачах изгиба многослойных анизотропных прямоугольных пластин.
- Предложена и реализована математическая модель расчета трехточечного изгиба полимерных и композитных балок, учитывающая физически нелинейное поведение материала с учетом разносопротивляемости растяжению и сжатию. Предложен алгоритм численного решения возникающих уравнений и проведена валидация разработанной математической модели.
- На основе разработанных алгоритмов создан комплекс программ для ЭВМ.

Теоретической основой данной работы послужили труды отечественных и зарубежных ученых в области вычислительной математики, теории приближений, механики деформируемого твердого тела. Обоснованность практических результатов и выводов работы обеспечивается комплексом тестовых расчетов и соответствием результатам, полученным другими авторами.

Практическая ценность. Основные результаты и выводы диссертации могут быть использованы специалистами по вычислительной математике для усовершенствования численных алгоритмов. При этом, очевидно, что сам модифицированный метод коллокаций и наименьших невязок достаточно универсален и может быть применен для решения других классов задач. Особую практическую ценность работы подчеркивает тесное сотрудничество соискателя со специалистами ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ. В работе исследуются созданные в этой организации композиционные материалы, обладающие специфическими особенностями: нелинейным физическим поведением и разносопротивляемостью растяжению и сжатию. Хорошее соответствие результатов математического моделирования экспериментальным данным подтверждает практическую ценность работы. Разработанные подходы, благодаря учету многослойной и анизотропной структуры, можно применять при проектировании конструкций из композиционных материалов. Более того сокращение времени вычислений за счет совместного использования теорий пластин и разработанного численного метода могут позволить проводить многопараметрическую оптимизацию параметров конструкций.

Публикации и соответствие автореферата диссертационной работе. Основные результаты работы опубликованы в 29 научных работах, в том числе 7 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Имеются 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Автореферат полностью и точно отражает содержание диссертации.

Замечания по оформлению и содержанию диссертации.

1. В работе используется термин «р-подход», суть которого заключается в применении полиномиальной аппроксимации высокого порядка. В отечественной литературе этот термин не распространен. Обычно используется термин «спектральный подход» или «спектральный метод». Не совсем ясно, почему был выбран именно этот термин.
2. В работе в качестве точек коллокаций выбираются корни многочленов Чебышёва первого рода. Известно, что в спектральных методах также используются корни многочленов Лежандра, но в работе ничего не сказано об этом.

3. Традиционным для решения задач механики деформируемого твердого тела является метод конечных элементов. В какой степени возможно использование метода конечных элементов для решения рассмотренных в диссертации задач?
4. В главе 1 разрешающие уравнения выписаны в кинематических переменных. Чем обусловлен такой выбор записи разрешающих уравнений?
5. В работе имеются стилистические ошибки.

Заключение. Указанные замечания не являются принципиальными и не влияют на общую положительную оценку диссертации Идимешева С.В. Выводы, сформулированные в диссертации, достаточно хорошо обоснованы, обладают научной новизной, представляют теоретическую и практическую ценность.

Диссертация Идимешева С.В. «Модифицированный метод коллокаций и наименьших невязок и его приложение в механике многослойных композитных балок и пластин», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, является завершенной квалификационной работой, которая выполнена на высоком научном уровне и содержит новые научно обоснованные результаты. Эти результаты могут быть использованы при расчете и проектировании композитных конструкций.

Содержание диссертации полностью соответствует паспорту специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а также отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» утвержденного постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Соискатель Идимешев Семен Васильевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18.

Диссертация и данный отзыв рассмотрены и обсуждены на семинаре "Численный анализ" - объединенный семинар ИВМиМГ СО РАН и кафедры вычислительной математики ММФ ИГУ 6 декабря 2016 года, протокол № 500.

Сведения о ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук

Адрес института: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 6.

Телефон: +7 (383) 330 83 53. Факс: +7 (383) 330 87 83, +7 (383) 330 66 87.

Отзывы составили:

Личную подпись

07.12.2016

заверяю

Главный научный сотрудник лаборатории вычислительной физики ИВМиМГ СО РАН, профессор, д.ф.-м.н. по специальности 01.01.07

7.12.2016

В.П. Ильин

Старший научный сотрудник лаборатории математических задач геофизики ИВМиМГ СО РАН, к.ф.-м.н. по специальности 01.01.07

Личную подпись

заверяю

07.12.2016

М.А. Шишленни