

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Костина Дмитрия Владимировича

на тему «Многопараметрические вариационные модели,

вычисление и оптимизация посткритических состояний»

по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование,

численные методы и комплексы программ

на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

Актуальность темы исследования

Ряд вопросов моделирования и анализа динамических систем приводят к изучению таких бифуркационных явлений как потеря устойчивости и рождение новых конфигураций в упругих системах, фазовых состояний кристаллов, рождения нелинейных волн и т. д. Устойчивые состояния упругих сред определяются как точки локальных минимумов функционалов полной энергии, а стабильная фаза кристалла соответствует точке абсолютного минимума. При вариациях параметров внешних воздействий происходит изменение состояний, за которые отвечают плавные или скачкообразные «передвижения» критических точек функционалов энергии. Одним из наиболее известных методов исследования таких задач является вариационная версия метода Ляпунова-Шмидта. После выхода в свет основополагающей работы М.А. Красовского, Н.А. Бобылева, Э.М. Мухамадиева «Об одной схеме исследования вырожденных экстремалей функционалов классического вариационного исчисления» появились модификации спектральной схема Ляпунова-Шмидта, приспособленные к работе с конкретными классами нелинейных задач. Выбор той или иной редуцирующей схемы определяется математической моделью. В диссертационной работе Д.В. Костина использована модификация, предложенная Ю.И. Сапроновым и Д.В. Костиным, оказавшаяся весьма полезной при изучении многомерных бифуркаций упругих и колебательных систем.

В диссертации Д.В. Костина создана основа эффективного инструментария для анализа многомерных бифуркаций равномерных конфигураций неоднородной упругой системы. Некоторые предварительные результаты по этому вопросу были получены Б.М. Даринским и Ю.И. Сапроновым, описавшими расклады экстремалей в ряде случаев однородных упругих систем. В работе Д.В. Костина исследован процесс формирования главной части ключевой функции при многомодовом вырождении неоднородной упругой системы и детально проанализирован случай 2-модового вырождения, дано описание бифуркационной диаграммы функций и взаимных примыканий типовых наборов бифурцирующих критических точек функционала энергии.

Диссертация Д.В. Костина позволяет развивать новые направления в теории моделирования и анализа динамических систем. Все это указывает на актуальность темы диссертации.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений А и Б. Общий объем диссертации составляет 267 страниц.

Во *введении* обоснована актуальность темы исследования, указаны цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, достоверность результатов. Дан литературный обзор по теме исследования.

В *первой главе* диссертации на основе метода конечномерной редукции кратко изложена схема анализа гладких фредгольмовых функционалов и представлена алгоритмическая основа исследования рассматриваемых моделей.

Во *второй главе* для балок и пластин на упругих основаниях сформулированы теоремы о нормальных формах главной части ключевой функции и о результатах бифуркационного анализа в случае 2-мерного вырождения. Приведены иллюстрирующие рисунки.

Третья глава посвящена приложению теории полугрупп преобразований к исследованию линейных уравнений, с целью использования полученных результатов в нелинейном случае, в рамках подходов М.А. Красносельского, П.П. Забрейко, П.Е. Соболевского и др. В связи с этим рассматриваются новые классы канонических полугрупп с производящими операторами, коэффициенты которых имеют особенность. Доказывается корректная разрешимость полиномиального уравнения с такими операторами (теорема 3.9) и корректная разрешимость граничной задачи для абстрактного дифференциального уравнения второго порядка с вырождающимися коэффициентами и со свободным членом, являющимся генератором сильно непрерывной полугруппы. Следует отметить, что методы теории полугрупп, примененные в диссертации, позволяют значительно расширить классы корректных задач, указать их точные и приближенные решения, а также получить точные оценки устойчивости соответствующих разностных схем (теорема 3.14).

В *четвертой главе* в задачах поиска оптимальных конструкций вибрационных устройств рассмотрен критерий качества в виде так называемого «коэффициента асимметрии», который возникает в экстремальных задачах, связанных с полигармоническим полиномом. Здесь же изложена методика приближенного вычисления ветви резонансного колебания при ее бифуркации из точки покоя и оптимизации этой ветви по коэффициенту несимметрии, определяемому как отношение максимального значения амплитуды к минимальному. Установлено, что оптимальные значения базисных амплитуд представляют собой коэффициенты соответствующей суммы Фейера. Найдено точное оптимальное значение коэффициента асимметрии.

В пятой главе рассмотрена простейшая математическая модель изгиба упругой лопатки турбины и предложена методика оптимизации закритического изгиба. Эта модель с соответствующими краевыми условиями напрямую связана с уравнениями, описывающие колебания упругих балок. Рассмотренный ранее общий случай колебания упругих систем как частный случай упругой балки на упругом основании переносится на модель лопатки турбины. Подобные математические модели ранее изучались в работах Ю.А. Митропольского, Б.И. Мосеевкова, J.M. Thompson, H.V. Stewart, Б.С. Бардина, С.Д. Фурты др. Основной результат --- теорема об оптимальном соотношении между коэффициентами Фурье по первой и второй моде вырождения.

В заключении представлены основные результаты и выводы диссертационного исследования.

Приведен список используемой литературы из 209 наименований.

В приложении приведены сведения о комплексах программ, написанных в среде математического пакета Maple для проведения численных экспериментов по реализации разработанных в диссертации алгоритмов.

Структура диссертации позволяет составить целостную картину о проведенной научно-исследовательской работе.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В диссертации корректно использованы современные прямые методы вариационного исчисления, методы теории особенностей гладких функций, теории буфиркаций решения нелинейных краевых задач и численных методов. Все новые научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, доказаны. В работе изучены и проанализированы известные достижения и теоретические положения других авторов.

Обоснованность полученных результатов и выводов обеспечивается использованием фундаментальных физических законов и корректным применением их к разработке методологической базы вычисления и оптимизации ветвей посткритических состояний многопараметрических вариационных моделей.

Достоверность и новизна полученных результатов

Достоверность результатов обоснована и подтверждена: математическим доказательством корректности поставленных задач; результатами вычислительных экспериментов. Основные положения и результаты работы докладывались на Международных и Всероссийских конференциях и семинарах. По теме диссертации опубликовано 42 научные работы, из них 15 --- в ведущих российских журналах и изданиях, рекомендованных ВАК.

В диссертационной работе Д.В. Костина создана схема бифуркационного анализа функционалов энергии неоднородных упругих систем, которая

в локальном случае включает в себя построение нормальной формы ключевой функции с последующим анализом бифуркации критических точек приближенно вычисленной ключевой функции заданной в виде параметрического семейства полиномов от нескольких переменных.

В работе впервые сформулирован критерий, которому должна удовлетворять модель, оптимальная в смысле коэффициента асимметрии. Предложены полное решение ряда задач оптимизации по критерию «коэффициент несимметрии». Применение данного подхода дало возможность оценивать оптимальности технически значимых физических характеристик для устройств и процессов.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Результаты диссертации могут быть использованы в теории нелинейных дифференциальных уравнений математической физики, в теории колебательных и волновых процессов.

Практическая значимость результатов диссертации заключена в возможности их применения к задачам гидродинамической теории устойчивости, теории электрических колебаний, сейсморазведки, идентификации композитных материалов, обработки изображений и другим задачам, приводящим к нахождению собственных функций возмущенных операторов и ветвей бифурцирующих решений многопараметрических нелинейных краевых задач. Возможны приложения к описанию многомодовых закритических прогибов упругих балок и пластин в случае нарушения их однородности, описания многомодовых прогибов турбинных лопастей и их оптимизация, оптимизация полигармонического импульса по коэффициенту асимметрии, оптимизация приема радиосигнала. На основе результатов диссертации созданы и зарегистрированы пакеты программ, позволяющие вычислять посткритические решения задач, порожденных нелинейными модельными уравнениями.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации отсутствуют пояснения к выбору того или иного функционального пространства конфигураций упругой пластины.
2. Отсутствуют исследования несовершенных упругих систем с малыми начальными изгибами. Нет сомнений, что развитую в диссертации методику можно применить и к несовершенным системам.
3. За рамками диссертации осталась задача описания геометрии бифуркационной диаграммы Максвелла. Фактически на эту диаграмму был выход при оптимизации полигармонического импульса в четвертой главе.

Заключение

Отмеченные замечания не снижают научной и практической значимости работы.

Диссертация Д.В. Костина «Многопараметрические вариационные модели, вычисление и оптимизация посткритических состояний» является законченной научно-квалификационной работой. Результаты, полученные в диссертации, достоверны. Выводы и заключения обоснованы. Доказательства всех выдвинутых на защиту утверждений отвечают современному уровню математической строгости.

Работа содержит решение актуальной проблемы, представляющей несомненный научный интерес и дающая возможность развития многомерного бифуркационного анализа многопараметрических вариационных моделей. Результаты диссертации могут быть использованы в анализе посткритического поведения сложных колебательных и волновых процессов. Все основные результаты четко сформулированы и полностью обоснованы. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Все основные результаты своевременно опубликованы.

Диссертация представляет собой законченное математическое исследование по актуальной теме. В ней изложен научный результат, дающий решение важной и сложной проблемы. Все вынесенные на защиту положения: 1) построение системы мод и квазимод модельного уравнения в порождающей критической точке с многомерным вырождением; 2) построение главной части ключевого уравнения и анализ его основных свойств – симметрии, версальности развертки по параметрам и пр.; 3) анализ и построение дискриминантного множества в рассмотренных задачах; 4) классификация бифуркационных ветвей решений, соответствующих отдельным ячейкам регулярности в пространстве R^m значений параметров; 5) построение первых асимптот ветвей решений по вектору закритических приращений параметров; 6) компьютерное изображение 2-мерных сечений каустик и закритических прогибов в избранных задачах; 7) алгоритм оптимизации закритических прогибов для функции качества «коэффициент несимметрии», правильно и полностью отражают научное содержание диссертации.

Диссертантом проделан значительный объем работы по обоснованному выбору методов решения, разработке алгоритмов и комплекса программ, проведению вычислительных экспериментов, анализу результатов проведенных численных расчетов. Адекватность и эффективность разработанного программного комплекса подтверждается государственной регистрацией программ для ЭВМ.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а именно, следующим пунктам паспорта:

- п. 1 «Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений»;

- п. 4 «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента»;

- п. 8 «Разработка систем компьютерного и имитационного моделирования».

Считаю, что диссертационная работа **Костина Дмитрия Владимировича** на тему «Многопараметрические вариационные модели, вычисление и оптимизация посткритических состояний» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальных задач, имеющих как теоретическое, так и практическое значение в области математического моделирования структурных перестроек.

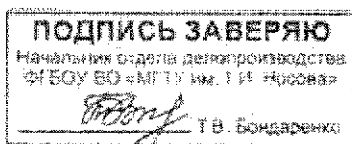
Диссертационная работа соответствует всем требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор
Кадченко Сергей Иванович,
заведующий кафедрой прикладной математики
и информатики Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

Докторская диссертация защищена по специальности
05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ

Адрес места основной работы: 455038, г. Магнитогорск,
Челябинской обл., пр. Ленина, 38,
Рабочий телефон: +7-(3519)-85-29-11,
e-mail: sikadchenko@mail.ru.



6



23 мая 2017 г.