



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»
(ФГАОУ ВО «СПбПУ»)

ИНН 7804040077, ОГРН 1027802505279,
ОКПО 02068574

Политехническая ул., 29, Санкт-Петербург, 195251
тел.: +7(812)297 2095, факс: +7(812)552 6080
office@spbstu.ru

№ _____
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
Федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»
член-корреспондент РАН,
доктор технических наук, профессор



В. В. Сергеев
2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации –

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

на диссертационную работу

Хатунцевой Ольги Николаевны

**«РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСШИРЕНИЯ ФАЗОВОГО ПРОСТРАНСТВА
ДЛЯ ОПИСАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ В ЗАДАЧАХ
МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД И АЭРОДИНАМИКИ»,**

представленную к защите в диссертационный совет Д 212.125.14 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 - «Механика жидкости, газа и плазмы»

1. Актуальность диссертации.

Диссертационная работа Хатунцевой О.Н. представляет собой важное научное исследование, посвященное разработке новых методов описания нелинейных гидро- и газодинамических, аэродинамических процессов и систем, обладающих неоднозначностью и/или неопределенностью. Примерами таких процессов и систем могут быть переходные процессы (ламинарно-турбулентные переходные режимы течения жидкости, переходные регулярно-маховские режимы обтекания аэродинамических профилей, рост природных фрактальных структур типа вязких «пальцев» и дендритов и т.д.), стохастические системы, процессы, происходящие во фрактальных структурах, гистерезисные явления. Проблема их описания носит концептуальный характер и не может быть разрешена только с помощью увеличения вычислительных мощностей компьютеров и совершенствования их программного обеспечения. Для решения таких задач автором предложены методы, основанные на расширении фазового пространства.

В механике, гидро- и газодинамике наиболее известными примерами использования этого метода являются уравнение Лиувилля, кинетическое уравнение Больцмана и цепочка уравнений Боголюбова. В них в качестве дополнительных переменных используются переменные импульса (или обобщенного импульса). В разработанных автором методах в качестве дополнительных переменных используются: параметр, позволяющий произвести «расслоение» пространства переменных на два

Отдел документационного
обеспечения МАИ

Вх. № _____
« 30 » 01 20 20

подпространства в задачах описания переходных процессов, «стохастическая» переменная, позволяющая учесть дополнительные степени свободы в нелинейных стохастических системах, а также скорость изменения аргумента при описании гистерезисов первого типа (в предложенной автором классификации).

Полученные результаты расширяют область теоретического и практического использования решений задач гидро- и газодинамики, аэродинамики и механики.

2. Характеристика диссертационной работы по главам.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы из 125 наименований, содержит 207 стр. текста, 17 рисунков.

Во введении определена цель работы, показаны ее актуальность, научная новизна и практическая значимость.

Первая глава диссертации содержит общие положения разработки метода описания процессов, претерпевающих скачкообразные переходы. Метод применим к таким физическим процессам, которые можно однозначно описать функциями везде, кроме ограниченной области, где нарушается их детерминированное поведение. Получены соотношения, связывающие координаты, значения функций и их производных на границе переходной области.

Во второй главе с помощью предложенного автором метода описания процессов, претерпевающих скачкообразные переходы, решается задача аналитического определения размерности односвязных фрактальных структур, образующихся в динамических процессах.

Разрабатывается метод описания процессов, протекающих в односвязных фрактальных структурах, с помощью дифференциальных уравнений, в которых учитывается масштабный фактор без привлечения производных по времени и пространству в дробной степени. С учетом этого метода решается задача распространения тепла от локализованного источника в бесконечное пространство, обладающее односвязной фрактальной структурой, «вложенной» в непроводящее тепло трехмерное пространство: найдены частное решение в случае произвольной зависимости коэффициента теплопроводности от масштаба рассмотрения системы и общее решение для коэффициента теплопроводности, не зависящего от масштаба рассмотрения системы.

В третьей главе разрабатывается метод описания стохастических процессов, происходящих в системах, не имеющих выделенных состояний равновесия, с помощью дифференциальных уравнений в фазовом пространстве, расширенном с помощью дополнительной «стохастической» переменной.

На примере решения задачи распространения акустических возмущений малых амплитуд в жидкости, при наличии в ней стохастических колебаний, показана возможность применения разработанного метода при описании стохастических систем на макроуровне. Показано, что стохастические колебания могут не только ослаблять акустические возмущения, но и в ограниченные интервалы времени усиливать их.

В четвертой главе проведена классификация аэродинамических гистерезисных явлений, в соответствии с которой можно выделить два основных типа: гистерезисные явления, зависящие от скорости изменения аргумента, и гистерезисные явления, от нее не зависящие. Выделен тип гистерезисных функций, имеющих «смешанные» черты двух основных типов.

Предложены теоретические методы описания гистерезисных функций первого и второго типов.

В пятой главе разработана методика, позволяющая характеризовать колебательное движение летательного аппарата на основе анализа коэффициентов аэродинамических производных демпфирования с использованием математической модели гистерезисных явлений.

В Заключении сформулированы результаты работы и сделаны следующие основные выводы:

- Разработан метод описания процессов, претерпевающих скачкообразные переходы в областях, где функции, являющиеся их характеристиками, скачком изменяют свои значения и/или значения своих производных. На его основе теоретически исследованы параметры фрактальных объектов двух типов: структур с вязкими «пальцами» и дендритов.
- На основе расширения фазового пространства разработан метод описания физических процессов в односвязных пространствах с дробной размерностью. С помощью этого метода решена задача распространения тепла от локализованного источника в бесконечное пространство, обладающее односвязной фрактальной структурой.
- Расширение пространства переменных и рассмотрение в этом пространстве непрерывно изменяющейся плотности вероятности, позволило получить соотношение, связывающее отклонение случайной величины от средних значений в двух временных точках, а также плотности вероятности этих реализаций для стохастических систем, не имеющих выделенных состояний равновесия.
- В двух предельных случаях описания стохастических систем получены соотношения, характеризующие плотность вероятности реализации случайной величины в заданный момент времени.
- На основе Центральной Предельной Теоремы Линдберга удается сделать вывод, что появление гауссовских распределений с «тяжелыми» степенными «хвостами» можно считать следствием возникновения в системе скрытых факторов, влияющих на динамику плотности вероятности.
- Проведен анализ размерности фазового стохастического пространства, на основе которого найдены устойчивые и неустойчивые ветви решения.
- Решена задача распространения акустических возмущений в нелинейной стохастической среде. Показано, что стохастические возмущения могут приводить как к ослаблению акустических пульсаций, так и к их локальному по времени усилению.
- Представлена модель возникновения «стохастичности» при численном интегрировании автономных дифференциальных уравнений.
- Приведена классификация аэродинамических гистерезисных явлений, в соответствии с которой, можно выделить два основных типа: гистерезисные явления, зависящие от скорости изменения аргумента, и гистерезисные явления, от нее не зависящие. Выделен тип гистерезисных функций, имеющий «смешанные» черты двух основных типов. Предложены теоретические методы описания гистерезисных функций первого и второго типов.
- Разработана методика, позволяющая характеризовать колебательное движение летательного аппарата на основе анализа коэффициентов аэродинамических производных демпфирования с использованием математической модели гистерезисных явлений.

3. Научная новизна и теоретическая значимость диссертационной работы заключается в едином методологическом подходе к решению задач механики, связанных с исследованием динамических систем, обладающих неоднозначностью и/или неопределенностью при реализации различных состояний. Этот подход основан на расширении фазового пространства переменных.

4. Практическая значимость результатов работы:

Полученные результаты расширяют область не только теоретического, но и практического использования решений рассмотренных задач. В частности, результаты могут служить основой для алгоритмов решения следующих задач:

- Описание процессов (перколяция, массо- и теплоперенос и т.д.), протекающих в односвязных пространствах, имеющих сложную и, в некотором смысле,

самоподобную на разных масштабах структуру. Такими объектами могут быть кровеносная и нервная системы живых организмов, развитая система пор в грунте, трещины в металле, композитные материалы, используемые в качестве теплозащиты в аэрокосмической технике и пр.

- Описание стохастических процессов с помощью дифференциальных уравнений с учетом масштабного фактора.

- Определение разности значений аэродинамических характеристик на двух ветвях гистерезисной функции, в случае реализации гистерезиса первого типа при совершении летательным аппаратом гармонических колебаний.

- Определение затрачиваемой или выделяемой энергии при переходе между двумя стационарными состояниями, характеристикой которых являются функциональные зависимости на ветвях гистерезисной кривой второго типа при совершении летательным аппаратом гармонических колебаний.

5. Достоверность полученных результатов обусловлена наличием в работе строгих аналитических выкладок и подтверждена сравнением с численными и физическими экспериментами.

6. Личное участие автора в получение результатов, изложенных в диссертации.

Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Большинство работ опубликованы без соавторов. В совместной работе по разработке методики, позволяющей характеризовать колебательное движение летательного аппарата на основе анализа коэффициентов аэродинамических производных демпфирования с использованием математической модели гистерезисных явлений, соискателю принадлежат постановка задачи, математическая модель, основные выводы. В диссертации отсутствует заимствованный материал без ссылок на автора и/или источник заимствования. Диссертация обобщает самостоятельные исследования автора.

7. Публикации по материалам диссертации.

Работы автора обсуждались на многочисленных конференциях и достаточно подробно освещены в публикациях автора, пятнадцать из которых – в изданиях из “Перечня российских рецензируемых научных журналов” (ВАК), причем пять переводных работ – в международных базах данных Web of Science и Scopus.

8. Замечания по содержанию и оформлению диссертации.

1. Большинство природных фрактальных объектов имеют неидеальную структуру с математической точки зрения. Желательно указать, как можно учитывать эту «неидеальность» при описании протекающих в них процессов.

2. В четвертой главе упоминается возможность реализации гистерезисов «смешанного» типа. Было бы полезно, более подробно описать, при каких режимах возможна их реализация, и наметить пути к построению математических моделей соответствующих процессов.

3. В работе получено множество очень интересных аналитических результатов, но имеется относительно немного примеров их применения в конкретных физических или технических задачах (например, для заданных граничных условий или определенных геометрических форм). Желательно было бы рассмотреть больше прикладных задач, доведенных до численных расчетов.

4. В некоторых разделах работы, в частности, в задачах, связанных с фракталами, не хватает иллюстративного материала, который делает изложение более наглядным и позволяет лучше проиллюстрировать полученные аналитические соотношения.

Указанные замечания не снижают научной ценности диссертационной работы и полученных в ней результатов.

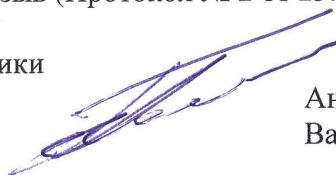
9. Общее заключение.

Диссертационная работа Хатунцевой О.Н. «Развитие методов расширения фазового пространства для описания нелинейных процессов и систем в задачах механики сплошных сред и аэродинамики» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, посвященную актуальной научной проблеме. Диссертация выполнена на высоком научном уровне. Достоверность результатов работы не вызывает сомнений, сами результаты достаточно полно опубликованы и апробированы. Материал диссертации изложен ясно и подробно. Автореферат диссертации написан четко и дает полное представление о диссертационной работе. Обоснованы все выносимые на защиту положения. По своему содержанию диссертация соответствует специальности 01.02.05 - «Механика жидкости, газа и плазмы».

Диссертация Хатунцевой Ольги Николаевны «Развитие методов расширения фазового пространства для описания нелинейных процессов и систем в задачах механики сплошных сред и аэродинамики» полностью удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, включая п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, а ее автор, Хатунцева Ольга Николаевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 - «Механика жидкости, газа и плазмы».

Материалы диссертации Хатунцевой Ольги Николаевны «Развитие методов расширения фазового пространства для описания нелинейных процессов и систем в задачах механики сплошных сред и аэродинамики» прошли обсуждение и одобрены на заседании кафедры высшей математики института Прикладной математики и механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», по результатам которого был утвержден отзыв (Протокол № 2 от 25.12.2019).

Заведующий кафедрой высшей математики
доктор технических наук



Антонов
Валерий Иванович

Профессор кафедры высшей математики
доктор технических наук



Васильев
Александр Николаевич

Профессор кафедры высшей математики
доктор технических наук



Тархов
Дмитрий Альбертович

Профессор кафедры высшей математики
доктор физико-математических наук



Халидов
Искандер Анасович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (СПбПУ)
ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, 195251
+ 7 (812) 552-65-08
office@iamm.spbstu.ru