

ОТЗЫВ

официального оппонента члена-корреспондента РАН, доктора физико-математических наук, профессора Липатова Игоря Ивановича на диссертацию Хатунцевой Ольги Николаевны «Развитие методов расширения фазового пространства для описания нелинейных процессов и систем в задачах механики сплошных сред и аэродинамики», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 -«Механика жидкости, газа и плазмы».

Диссертационная работа О.Н. Хатунцевой посвящена актуальной научной проблеме - разработке методов, позволяющих исследовать нелинейные процессы и системы в задачах механики сплошных сред и аэродинамики, обладающие свойством неоднозначности и/или неопределенности. Примерами таких задач, рассмотренными в диссертации, являются переходные процессы, гистерезисные явления, процессы, протекающие во фрактальных структурах, стохастические процессы.

Трудности решения таких задач не ограничиваются только вычислительными сложностями или недостаточным быстродействием вычислительной техники. Очень часто их невозможно решить существующими методами. Автор предлагает использовать для их решения методы, основанные на расширении фазового пространства переменных.

В механике, гидро- и газодинамике наиболее известными примерами использования этого метода являются уравнение Лиувилля, кинетическое уравнения Больцмана и цепочка уравнений Боголюбова. В них в качестве дополнительных переменных используются переменные импульса (или обобщенного импульса).

В разработанных автором методах, предложены несколько подходов для исследования нелинейных процессов и систем за счет расширения фазового пространства состояний. В них в качестве дополнительных переменных используются: искусственно введенный параметр,

позволяющий произвести “расслоение” пространства переменных на два подпространства в задачах описания переходных процессов; характерный масштаб, при описании физических процессов, протекающих во фрактальных структурах; «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).

В этой связи, работа, безусловно, является **актуальной** и обладает **научной новизной**.

Введение содержит обоснование актуальности проведенных автором исследований и краткое изложение содержания диссертации.

Первая глава посвящена разработке 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.

Примерами таких процессов в аэродинамике могут служить переходные режимы обтекания аэродинамических профилей, например, переход от регулярного к маховскому режиму течения и обратно.

В работе получены соотношения, связывающие координаты, значения функций и их производных на границе переходной области.

Вторая глава посвящена разработке методов описания фрактальных структур и процессов, протекающих в них.

Самоподобные, в каком-либо смысле, на разных масштабах структуры широко распространены в природе и искусственно созданных материалах. Фракталами можно считать пористые грунты, в которых происходит перколяция нефти и газа; нервная, дыхательная и кровеносная системы живых организмов; широко применяемые в настоящее время в технических устройствах композитные материалы. С учетом разработанного во второй главе метода описания процессов, протекающих

в односвязных фрактальных структурах, могут решаться задачи описания процессов, протекающих в таких объектах.

В диссертационной работе в качестве примера использования разработанного метода решается задача распространения тепла от локализованного источника в бесконечное пространство, обладающее односвязной фрактальной структурой, “вложенной” в непроводящее тепло трехмерное пространство.

Третья глава посвящена разработке метода описания стохастических процессов, происходящих в системах, не имеющих выделенных состояний равновесия, с помощью дифференциальных уравнений в фазовом пространстве, расширенном с помощью дополнительной «стохастической» переменной.

В качестве примера, демонстрирующего возможность использования данного метода, решена задача распространения акустических возмущений малых амплитуд в жидкости, при наличии в ней стохастических колебаний. Показано, что стохастические колебания могут не только ослаблять акустические возмущения, но и в ограниченные интервалы времени усиливать их.

Четвертая глава посвящена исследованию аэродинамических гистерезисных явлений. Приведена классификация аэродинамических гистерезисов, в соответствии с которой, можно выделить два основных типа: гистерезисы, зависящие от скорости изменения аргумента и гистерезисы от нее независимые. Выделен тип гистерезисных функций, имеющий «смешанные» черты двух основных типов, возникающий в результате их интерференции.

Для гистерезисов первого типа разработан метод, позволяющий определять разность значений между верхней и нижней ветвями гистерезисной функции.

Для гистерезисных функций второго типа разработан метод, позволяющий решать задачу определения энергии, затрачиваемой или

выделяемой при переходе между двумя стационарными состояниями, характеристикой которых являются функциональные зависимости на ветвях гистерезисной кривой второго типа.

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

Работа объемом в 207 стр. состоит из введения и пяти глав. Список литературы включает 125 наименований.

Достоверность полученных результатов подтверждена сравнением с численными и физическими экспериментами. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы в достаточной степени.

К практической значимости работы следует отнести возможность использования разработанных в диссертации методов

- для проведения расчетов процессов теплопроводности, перколяции и пр. в неоднородных структурах, обладающих фрактальными свойствами, с учетом рассмотрения их масштаба;

- для учета недетерминированности (стохастичности) процесса в гидро- и газодинамических расчетах;

- для определения возможной «ширины» аэродинамического гистерезиса первого типа в случае, когда летательный аппарат совершает гармонические колебания (на этапе его проектирования);

- для оценки 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 колебаний;

- для анализа коэффициентов аэродинамических производных демпфирования с использованием математической модели гистерезисных

явлений (при экспериментальной отработке новых изделий авиакосмической техники).

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

По работе можно сделать следующие замечания и рекомендации:

- в диссертации было бы полезно рассмотреть класс задач, относящихся к гидро- газодинамическим процессам, протекающим во фрактальных структурах;
- в практической аэродинамике встречаются случаи более сложных гистерезисных явлений, например возникновение множественного гистерезиса при обтекании крыла с относительно малым удлинением, открытого в работах Ю.А. Рыжова и Г.И. Столярова. Как оказалось, в основе явления лежит возникновение соответствующих вихревых отрывных структур и неоднозначности (не двух решений, а четырех или пяти. Возникает вопрос о возможности распространения результатов автора на описание таких явлений.

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

Содержание диссертации соответствует специальности 01.02.05 - «Механика жидкости, газа и плазмы».

Выводы в работе вполне отражают основные результаты исследований. Автореферат правильно отражает содержание работы.

В диссертации отсутствует заимствованный материал без ссылок на автора и/или источник заимствования. Диссертация обобщает самостоятельные исследования автора.

В целом, представленные в диссертации теоретические положения работы можно квалифицировать, как научное достижение.

Диссертационная работа О.Н. Хатунцевой «Развитие методов расширения фазового пространства для описания нелинейных процессов и систем в задачах механики сплошных сред и аэродинамики» выполнена на высоком научном уровне, соответствует всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, включая п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Хатунцева Ольга Николаевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 - «Механика жидкости, газа и плазмы».

Начальник отдела
ФГУП «ЦАГИ»

член-корреспондент
РАН, доктор физико-
математических наук,
профессор

 Липатов Игорь Иванович 11.02.20

Адрес: Государственный научный центр Федеральное государственное
унитарное предприятие «Центральный аэрогидродинамический институт
имени профессора Н.Е. Жуковского»
140180 г. Жуковский, Московская область, ул. Жуковского, 1
Телефон: 8 (495) 556-43-03
E-mail: igor_lipatov@mail.ru

Подпись официального оппонента члена-корреспондента РАН, доктора
физико-математических наук, профессора Липатова И.И. удостоверяю

ученый секретарь специализированного совета ЦАГИ
д.т.н. профессор



Б.С. Крицкий