

ОТЗЫВ

научного руководителя
на диссертацию Гран Зуй «Численные методы анализа конечномерных аналогов многофазных эволюционных сетеподобных процессов переноса и волновых процессов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Актуальность темы выполненной работы.

Численные методы анализа математических моделей всегда были и остаются в поле зрения исследователей прежде всего применительно к многофазным сетеподобным процессам различного типа, отличительная особенность которых характеризуется 1) наличием сложноструктурированных носителей процессов и 2) использованием функций с принадлежащей сетеподобной области многомерной пространственной переменной для описания количественных характеристик этих процессов. Теоретические основы анализа математических моделей различных сетеподобных процессов, прежде всего относящиеся к теории управления системами с распределенными параметрами, заложены в работах М. И. Белишева, А. Г. Бутковского, Л. Н. Знаменской, В. И. Зубова, Ж. -Л. Лионса, В. В. Провоторова, Ю. А. Гнилицкой, а также в работах А. В. Боровских, А. П. Жабко, В. А. Ильина, О. М. Пенкина, А. Ф. Филлипова в направлении анализа разрешимости краевых задач математических моделей. Исследования в направлении численных методов анализа для последующей числовой интерпретации полученных теоретических результатов пока не приобрели систематического характера, существуют только фрагментарные результаты – численный анализ эволюционных сетевых процессов возник только с появлением работ О. Р. Балабан. Численные методы анализа развиваются плодотворно и приводят к цели, если удастся осуществить редукцию исходной начально-краевой задачи, описывающую математическую модель сетеподобного процесса, к соответствующей конечномерной алгебраической системе, аппроксимирующую исходную задачу и дающую достаточно точное приближение решение ее. Тематика исследования диссертационной работы находится в рамках актуального направления, определяемого численными методами анализа эволюционных сетеподобных процессов, в рамках которого начало исследований было положено

работами О. А. Махиновой, А. С. Волковой, О. Р. Балабан, В. Н. Хоанга, где носителями процессов явилась сеть – совокупность одномерных, ограниченных кривых, математическое описание которой осуществлялось инструментами пространственных графов, ребра которых (фрагменты сети) параметризованы отрезками числовой оси. Данная работа продолжает исследование указанных авторов в направлении увеличения размерности фрагментов сети, моделируя их двумерными и трехмерными областями и переходя к численному анализу процессов, осуществляемых в сетеподобных носителях, каковыми в приложениях являются тепловоды, гидро- и газонефтепроводы, волноводы. Особенный интерес исследования (и особенную сложность) представляет случай многофазной сплошной среды, в которой развивается тот или иной процесс. Предметом исследования явились также процессы в композиционных материалах (композитах), моделируемые слоистыми областями. При этом используется инструментарий теории разностных схем дифференциальных уравнений в частных производных. Полученные результаты применимы в анализе сетеподобных процессов промышленности и экономики, а также маркетинговой и дистрибьюторской политике.

Общая методология и методика исследования

Методология, структура диссертационной работы полностью отвечает трем основным компонентам специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Проблематика, связанная с численными методами исследования эволюционных процессов в сетях и сетеподобных объектах, отчетливо прослеживается на протяжении главы 1, являющейся введением в тематику исследуемой задачи (основные положения и понятия, краткие сведения по исследуемой теме, основные математические модели исследуемых эволюционных процессов, а также сведения об основных методах и используемых формализмах). В главе 2 рассмотрена аппроксимация эволюционных процессов переноса и волновых процессов применительно к дифференциальным системам с распределенными параметрами на сетях и сетеподобных областях с учетом свойства многофазности среды. Глава 3 посвящена обоснованию разработанных числительных методов и алгоритмов, а именно, отысканию достаточных условий устойчивости разностных схем и корректности построения конечномерных аналогов начально-краевых задач для эволюционных уравнений с распределенными параметрами на сетях и сетеподобных областях. Глава 4 и приложения представлены реализация численных методов и алгоритмов в виде комплекса проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента, учитывая разного типа носителей сетеподобных процессов и структуры программного комплекса для

решения задач анализа многофазных сетеподобных эволюционных процессов; результаты серии вычислительных экспериментов на тестовых задачах представлены в приложениях.

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

Обоснованность научных положений и выводов диссертационной работы обеспечивается: использованием отечественного и зарубежного опыта в решении аналогичных задач; сопоставлением полученных соискателем результатов с данными ведущих ученых по исследуемой в работе задаче; корректным использованием полученных результатов и методов теории моделирования сложных систем, краевых задач с многомерной пространственной переменной, теории аппроксимаций и приближений, теории разностных схем (устойчивость, сходимости и корректность), теории дифференциальных уравнений с частными производными; публикациями соискателя в рецензируемых научных изданиях, в том числе в изданиях списка ВАК РФ, а также в изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus; докладами соискателя на международных и всероссийских конференциях.

Достоверность научных результатов и выводов исследования обусловлена корректным использованием теоретических методов исследования и подтверждается сравнительным анализом полученных в работе результатов с известными в периодической печати результатами российских и зарубежных исследователей по представляемой тематике, сравнением полученных теоретических результатов с серией вычислительных экспериментов.

Новизна исследований, полученных результатов, выводов и рекомендаций диссертационной работы

Автором диссертационной работы представлен новый подход при математическом описании сложных потоковых явлений в сетеподобных носителях и достаточно детально разработаны численные методы для анализа конечномерных аналогов многофазных эволюционных сетеподобных процессов переноса и волновых процессов: разработка модифицируемых средств моделирования носителей сетеподобных процессов, методов построения конечно-разностных аналогов начально-краевых задач уравнений переноса и волновых уравнений, образующих основу моделей эволюционных процессов, разработка разностных схем и алгоритмов, сформированных на базе устойчивых (условно устойчивых) разностных схем, разработка программного комплекса, ориентированного на решение ряда проблемно-ориентированных задач, относящиеся к анализу

эволюционных процессов. Научная новизна диссертационной работы содержится в следующих основополагающих результатах:

- предложена модификация подхода к реализации численных методов анализа многофазных эволюционных процессов различного типа, отличающаяся возможностью адекватного описания неклассических динамических свойств процессов и явлений в местах ветвления сложноструктурированных носителей;
- разработана формализация к построению конечно-разностных аналогов начально-краевых задач многофазных эволюционных процессов, отличающаяся наличием особенностей разветвленной структуры носителей процессов;
- разработаны формальные средства построения разностных схем для конечно-разностных аналогов многофазных эволюционных процессов, отличающиеся наличием свойств ветвлений носителей процессов;
- предложен подход анализа устойчивости (условной устойчивости) и сходимости соответствующих разностных схем, алгоритмы для реализации таких схем, отличительной особенностью которых является общность использования для разностных схем иных процессов;
- предложена структура программного комплекса численного анализа, отличающаяся реализацией механизмов построения программных систем численного анализа в соответствии с описаниям характера ветвлений сетеподобных носителей исследуемых процессов и учитывающая свойство многофазности этих процессов.

Значение выводов и рекомендаций, полученных в диссертации, для науки и производства

Разработанные в диссертации конструктивные численные методы и подходы анализа начально-краевых задач математических моделей эволюционных процессов в сетеподобных объектах открывают возможность перехода к турбулентным решениям этих задач. При этом, с одной стороны, в большей степени точности отражается физическая сущность явлений, с другой возможен полный анализ математической модели, связанный с корректностью постановки задач: существование и единственность турбулентного решения, непрерывная зависимость от исходных данных. Такие методы и подходы позволяют осуществлять выбор различных классов турбулентных решений в зависимости от преследуемых практических целей. Полученные результаты могут быть использованы как в теоретических исследованиях, так и при решении ряда прикладных задач, присущих сетеподобным объектам.

Разработанные алгоритмы применимы к задачам транспортировки нефти и нефтепродуктов по магистральным и сетевым трубопроводам, а также к анализу волновых процессов при этом возникающих. Эти же алгоритмы адаптированы к

анализу композиционных материалов, имеющих слоистую структуру носителя тепловых и волновых процессов. Результаты реализованы в учебном процессе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» в рамках образовательной программы по направлению 01.04.01 «Математика» при проведении спецкурсов по дисциплинам «Математические модели гидродинамики», а также при подготовке магистерских выпускных квалификационных работ. Разработанный программный комплекс может быть использован в научно-исследовательских организациях, занимающихся разработкой средств численного анализа физических и искусственных процессов. Результаты могут быть использованы для разработок спецкурсов Института математики, механики и информатики Тамбовского государственного университета и ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), а также при решении прикладных задач технического характера, определяемых научным направлением концерна «Созвездие» (г. Воронеж).

Внутреннее единство структуры работы

Диссертационная работа имеет внутреннее единство представляемого материала, что подтверждается системной структурированностью текста работы и последовательностью представления результатов, реализующих цель работы. Исследование предваряется (глава 1) краткой исторической справкой по представленной теме, в том числе, приводятся краткие характеристики важных прикладных задач сетеподобных процессов на примерах задач нестационарной гидродинамики и колебаний упругих сетевых конструкций, обзор литературы по теме диссертации. Главы 2 и 3 – разработка средств построения конечно-разностных аналогов начально-краевых задач уравнений переноса и волновых уравнений, образующих основу моделей эволюционных процессов, с учетом особенностей разветвленной структуры носителей процессов и формирование разностных схем для сетеподобных процессов, учитывающих особенности структуры носителей этих процессов, многофазность сплошной среды, анализ устойчивости (условной устойчивости) и сходимости таких схем, разработка алгоритмов, сформированных на базе устойчивых (условно устойчивых) разностных схем. Прикладная часть работы (глава 4 и приложение) представлена решениями конкретных задач прикладного характера, результатами численного эксперимента тестовых задач и листингами программ.

Диссертационная работа Гран Зуй является самостоятельным исследованием, содержит совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для публичной защиты, является завершенной научно-квалификационной работой. Все основные результаты и положения работы

опубликованы в научных изданиях и журналах, внесенных в перечень журналов и изданий, утвержденных ВАК, содержание автореферата и научные публикации отражают содержание диссертации, при этом следует отметить достаточную четкость оформления содержаний результатов и выводов. Соискатель при написании диссертации дает ссылки на авторов и источники, откуда он заимствует материалы или отдельные результаты. Следует отметить также достаточно высокий уровень оформления текста диссертационной работы, а также соответствие языка и стиля диссертации и автореферата, используемым языку и стилю в данном научном направлении естествознания.

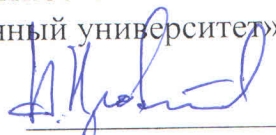
Диссертация выполнена на достаточно высоком научном и теоретическом уровне, является научно-квалификационной работой, в которой на основании разработанных соискателем новых качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей процессов в сетях и сетеподобных объектах, описываемых эволюционными уравнениями, изложены научно обоснованные решения и рекомендации для промышленных предприятий, внедрение которых внесет значительный вклад в развитие отечественных промышленных предприятий.

Работа Тран Зуй «Численные методы анализа конечномерных аналогов многофазных эволюционных сетеподобных процессов переноса и волновых процессов» соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Министерства образования и науки РФ, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

28 марта 2024 г.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук, профессор,
профессор кафедры уравнений в частных
производных и теории вероятностей ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный университет»



Провоторов Вячеслав Васильевич

Адрес: Университетская площадь, 1, Воронеж, 394018
ВГУ, Математический факультет,
Тел: 89507581514
E-mail: wwprov@mail.ru



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ВГУ»)	
Подпись	<i>Провоторов В.В.</i>
Должность	начальник отдела кадров
Подпись	<i>З.И. Зверева</i>
Должность	20 24
расшифровка подписи	