

ОТЗЫВ
на автореферат диссертации
Еремина Антона Владимировича

на тему: «Методология моделирования тепломассопереноса, упругих колебаний и электромагнитных волн с учетом пространственно-временной нелокальности», представленной к защите на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Актуальность темы диссертации

Диссертация Еремина Антона Владимировича посвящена разработке новой концепции математического моделирования локально – неравновесных процессов переноса на основе модифицированных форм законов сохранения (теплового и материального баланса, равновесия, движения). При моделировании локально – неравновесных процессов возникает необходимость учета внутренней структуры исследуемых объектов, что приводит к существенному усложнению классических моделей переноса. Разработке и исследованию математических моделей локально – неравновесных процессов посвящено большое количество теоретических и экспериментальных исследований, которые не всегда согласующихся между собой. В тоже время отсутствует единая методология в данной области исследований.

В связи с этим тема диссертации Еремина Антона Владимировича посвященная разработке методологии моделирования локально – неравновесных процессов переноса, численных и приближенных аналитических методов их исследования является актуальной.

Научная новизна проведенных исследований и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

1. Разработана методология математического моделирования локально – неравновесных процессов на основе модифицированных форм законов сохранения. В отличие от имеющихся теорий, предлагаемый подход позволяет учесть инерционность процессов переноса тепла, массы, импульса путем введения релаксационных слагаемых в балансовые уравнения рассматриваемых процессов.

2. Разработана дискретная математическая модель локально – неравновесного переноса тепла в твердых телах на основе метода конечных элементов и теории двухфазного запаздывания.

3. Выполнено комплексное исследование | Ф. разработанных |
математических моделей, описывающих локально-неравновесные процессы | "15" марта 21.
Согласовано соискателем 15.03.2021. *А.В. Еремин* | Вход. № 8/1

тепломассопереноса: тепловое воспламенение и взрыв в конденсированных средах; высокотемпературный нагрев поверхности пластины потоком лазерного излучения; теплоперенос в нанокомпозитах; теплообмен в стержнях произвольного сечения в условиях вынужденной конвекции.

4. Используя модифицированные соотношения взаимности Л. Онзагера, разработан метод математического моделирования взаимосвязанного тепломассопереноса. В отличие от известных, в предлагаемой математической модели движущие силы и вызываемые ими потоки разделены во времени. Учет запаздывания в феноменологических законах Фурье, Фика позволил получить новые, неизвестные ранее, закономерности протекания процессов термодиффузии.

5. На основе совместного использования интегрального метода теплового баланса и дополнительных граничных характеристик развит приближенный аналитический метод решения краевой задачи теплопроводности с подвижной границей раздела фаз. Данный подход впервые использован для температурных полей в расплавленном теле конечных размеров.

6. Разработан метод математического моделирования нестационарного локально–неравновесного теплообмена в стабилизированном потоке несжимаемой жидкости. Впервые сформулировано дифференциальное уравнение неравновесного тепломассопереноса, учитывающее релаксационные составляющие высшего порядка и диссиацию теплоты вследствие внутреннего трения.

7. Разработан класс приближенных аналитических методов решения краевых задач теплообмена в движущих жидкостях на основе введения новых искомых функций. В зависимости от физических особенностей решаемой задачи в качестве новой искомой функции используют различные закономерности. В диссертации предложено в качестве новой искомой функции использовать зависимость плотности теплового потока на поверхности от продольной координаты.

8. На основе разработанной методологии сформулированы и детально исследованы математические модели колебательных процессов. На основе данных натурного эксперимента выполнена проверка адекватности разработанных математических моделей.

9. Разработан метод математического моделирования электромагнитных колебаний, описываемых полученным в диссертации телеграфным уравнением, учитывающим запаздывание тока и напряжения в формуле закона Ома.

10. На основании использования аналитического решения релятивистского уравнения Клейна–Гордона–Фока выполнено исследование распространения электромагнитных волн в ионизированном газе, позволившее в сочетании с экспериментальными методами выполнять оценку концентрации электронов в плазме. Выполненные исследования позволили обнаружить равенство частот колебаний электромагнитного поля в разных точках плазмы, что свидетельствует о согласованности колебаний плазмы. Показано также, что плазма является дисперсной средой для электромагнитных волн.

11. Используя полученные в диссертации критериальные уравнения конвективного теплообмена автором разработаны методы математического моделирования разветвленных многокольцевых трубопроводных систем, включающий автоматизированную идентификацию параметров модели.

12. Алгоритмы и комплексы программ, реализующие численные и аналитические методы решения сформулированных в диссертации краевых задач локально – неравновесного переноса.

Достоверность результатов подтверждается соответствием разработанных моделей реальным физическим процессам и явлениям, сравнением результатов с данными натурных экспериментов, а также с опубликованными в открытой печати результатами.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в разработке новой концепции математического моделирования локально – неравновесных процессов переноса на основе модифицированных форм уравнений сохранения. Учет релаксационных слагаемых высшего порядка позволил исследовать процессы переноса, представляющие большой интерес с прикладной точки зрения. Первостепенное значение этот подход имеет применительно к исследованию высокоинтенсивных процессов: горение топлив, детонация, тепловое воздействие на материалы сверхмощных лазерных импульсов, фазовые превращения, высокочастотные колебательные процессы. Выполненные теоретические исследования позволили установить некоторые новые особенности протекания физических процессов.

В диссертации приведены результаты разработки приближенных аналитических методов решения краевых задач теплообмена в движущихся жидкостях. Прикладная значимость рассмотрения этих вопросов обусловлена широким распространением теплообменного оборудования в технологических схемах промышленных предприятий, системах теплоснабжения населенных пунктов.

Полученные результаты могут быть использованы в научно – исследовательских и конструкторских организациях в различных отраслях промышленности при выполнении НИР ОКР.

Апробация работы. Основные результаты работы неоднократно были представлены на международных и всероссийских конференциях, а также школах – семинарах.

Публикации. В автореферате приведены 50 основных научных работ, из которых 26 статей опубликованы в журналах, индексируемых в базе цитирования Web of Science, 10 статей - в журналах из базы цитирования Scopus, 14 статей – в журналах из списка ВАК. По результатам исследований опубликованы 2 монографии и 1 учебное пособие.

Краткое содержание работы

Во введении обоснована актуальность работы, указана цель, приведены полученные научные результаты, обоснована практическая значимость полученных результатов.

В первой главе представлены обзор и анализ работ по направлению исследований. Показано, что существуют различные модели локально – неравновесных процессов. Отмечено что несмотря на значительное число известных теорий, отсутствует единая теория в данной области исследований.

Во второй главе представлены результаты разработки методологии математического моделирования локально – неравновесных процессов переноса тепла на основе модифицированной формы уравнения теплового баланса. Представлены также результаты разработки метода математического моделирования локально – неравновесного переноса тепла в трехмерном пространстве, позволяющего исследовать температурные поля в телах сложной геометрической формы.

На основе совместного использования стандартных средств автоматизации расчетов программного продукта ANSYS и разработанного на языке APDL алгоритма, разработан программный продукт, позволяющий исследовать локально – неравновесные процессы переноса теплоты, на основе полученного модифицированного уравнения теплопроводности.

В третьей главе представлены результаты разработки методов математического моделирования теплообмена в движущихся жидкостях. В рамках разработанной методологии выполнена модификация уравнения энергии, описывающего теплообмен в стабилизированном потоке несжимаемой жидкости.

На основе анализа влияния релаксационных свойств на протекание различных теплообменных процессов сделан вывод о необходимости их учета при описании сильнонеравновесных явлений в различных физических системах переноса. В третьей главе приведены также приближенные аналитические методы построения решений уравнений параболического типа. Приведены также результаты решения краевой задачи для теплового турбулентного пограничного слоя.

В четвертой главе, используя единую методологию моделирования процессов переноса на основе модифицированных форм законов сохранения, разработаны и детально исследованы математические модели колебаний упругих тел, жидкостей и газов. В частности, разработана математическая модель продольных колебаний упругого стержня. С целью подтверждения теоретических результатов были выполнены экспериментальные исследования продольных и поперечных колебаний стального стержня. Приведены также результаты исследований колебаний сжимаемых жидкостей (газов) под действием внешней гармонической нагрузки.

В пятой главе приведены результаты разработки метода математического моделирования электромагнитных волн, описываемых телеграфным уравнением. Получено модифицированное телеграфное уравнение с учетом однократной релаксации силы тока, напряжения и их градиентов. Выполнены комплексные исследования полученного уравнения при различных значениях коэффициентов релаксации. Приведены также результаты исследования плотности электронов в плазме на основе аналитического решения релятивистского уравнения Клейна–Гордона–Фока.

В шестой главе приведен комплекс программ для компьютерных моделей трубопроводных систем различного назначения. Применение алгоритмов рассмотрено на примере конкретных трубопроводных систем.

В седьмой главе приведены алгоритмы и комплексы программ, реализующие разработанные в диссертации методы математического моделирования процессов переноса теплоты, массы, импульса с учетом релаксационных явлений.

В качестве замечаний по автореферату следует отметить следующее:

1. В автореферате не приведены типы и метрологические характеристики средств измерения, использованных при проведении экспериментальных исследований.

2. Полученные в диссертации научные результаты на уровне интеллектуальной собственности не защищены патентами.

3. Имеются отдельные опечатки и не точности.

Заключение

Как следует из представленных в автореферате материалов диссертационная работа представляет собой законченную научную квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения и получены практически значимые результаты, совокупность которых можно квалифицировать как научные достижения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие научно – технического потенциала страны, что соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор Еремин Антон Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18- Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Профессор кафедры «Локомотивы»
ФГБОУ ВО «Самарский государственный
университет путей сообщения»,
д.т.н., профессор



Д.Я. Носырев

Подпись д.т.н., профессора
Носырева Д.Я. заверяю
Первый проректор
к.т.н., доцент




В.В. Асабин

«05 июня 2021г.

Справочные данные

Носырев Дмитрий Яковлевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Локомотивы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения».

Адрес организации: 443066, г. Самара, ул. Свободы, д. 2 В
Телефон кафедры Локомотивы : 8-846-255-68-58
e-mail: lok@samgups.ru