

Отзыв

официального оппонента на диссертацию

Быковской Елены Николаевны

на тему: «Метод динамической адаптации в численном решении уравнений Бюргерса и Кортевега - де -Фриза и математическом моделировании процессов лазерной фрагментации металлов» по специальности 1.2.2 — «математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук».

Диссертация Быковской Е.Н. посвящена развитию метода динамической адаптации на пример решения модельных уравнений Бюргерса и Кортевега-де Фриза, а также для численного решения прикладной задачи о лазерном воздействии.

1. Структура и объем диссертации.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего в себя 212 источников. Объем диссертации составляет 109 страниц и включает в себя 26 рисунков.

2. Содержание диссертации

Во введении диссертации подробно анализируется актуальность выбранной темы исследования, определяются цели и задачи, которые ставятся перед автором. Здесь же раскрываются элементы научной новизны, которые вносят вклад в развитие соответствующей области знаний, а также дается краткое содержание всей работы. Кроме того, во введении указываются конференции, на которых были представлены и обсуждены полученные результаты, что подтверждает их значимость и интерес со стороны научного сообщества.

В первой главе диссертации проводится детальный анализ различных методов построения расчётных сеток. Рассматриваются такие подходы, как вариационные методы, дифференциальные подходы, технологии адаптивных сеток и алгоритмы динамической адаптации. Отдельно выделяются методы с автоматическим преобразованием координат, способствующие упрощению процесса построения сеток и повышению точности вычислений.

Далее проводится исследование разностных схем для решения уравнений Бюргерса и Кортевега-де Фриза (КдФ).

Заключительная часть первой главы посвящена обзору существующих методов исследования динамической фрагментации в ударно нагруженных металлах и процессов плавления/кристаллизации под воздействием лазерных импульсов. Основное внимание уделяется механизмам гетерогенного и гомогенного плавления, а также роли математического моделирования в изучении этих явлений. Обсуждается важность исследований для

фундаментальной и прикладной науки, а также их потенциальное применение в различных отраслях промышленности.

Во второй главе рассматривается модельное уравнение Бюргерса. Проводится сравнение решений с использованием двух- и трёхслойных разностных схем на сетках с фиксированными и подвижными узлами.

Третья глава диссертации посвящена анализу двухслойных разностных схем для решения уравнения Кортевега-де Фриза. В ней рассматриваются как явные, так и неявные схемы, которые позволяют получать решения с различной степенью точности.

Особое внимание уделяется сравнению эффективности этих схем на различных типах сеток: традиционных эйлеровых и подвижных с динамической адаптацией. Благодаря такому подходу можно проанализировать сильные и слабые стороны каждого метода и определить, какой из них лучше всего подходит для решения конкретной задачи.

Четвёртая глава посвящена математическому моделированию процессов гетерогенного и гомогенного механизмов плавления с последующей фрагментацией расплава в контексте лазерной абляции металла (Al). Исследование проводится с использованием разработанной односкоростной неравновесной двухтемпературной континуальной (гидродинамической) модели ультракороткого лазерного воздействия на металлическую мишень. Следует отметить высокую сложность рассматриваемой задачи, обусловленную как богатой физикой, так и большой скоростью описываемых процессов, требующей использования адаптивных подвижных сеток, без которого численное решение вряд ли возможно.

В заключении представлены ключевые результаты диссертационного исследования, которые отражают вклад автора в развитие соответствующей области знаний.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации, предоставляя сжатое изложение основных аспектов и выводов работы

3. Актуальность

Современные научные и технические задачи становятся всё сложнее, поэтому требуется разработка усовершенствованных методик для решения фундаментальных уравнений математической физики. Моделирование физических процессов на ЭВМ играет ключевую роль, и выбор численного метода должен учитывать не только точность результатов, но и эффективность вычислений, а также простоту реализации алгоритма.

Актуальность диссертации обусловлена необходимостью развития методов математического моделирования для анализа сложных физических процессов, таких как гетеро-гомогенное плавление и фрагментация расплава при лазерной абляции металлов.

Разработка и усовершенствование математических моделей и методов для описания сложных физических процессов позволяют глубже понять механизмы, происходящие при лазерной абляции, и предсказывать поведение

материалов в различных условиях. Эти процессы имеют важное значение для различных областей науки и техники

4. Научная новизна полученных результатов

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- Созданы и улучшены методики для построения расчётных **сеток**, учитывающие специфику решаемой задачи;
- С помощью метода динамической адаптации впервые были реализованы трёхслойные разностные схемы для уравнения Бюргерса и двухслойные схемы для уравнения Кортевега-де Фриза, что обеспечило более точное и эффективное численное моделирование.
- Продемонстрирована высокая эффективность разработанного метода при решении актуальной задачи — моделировании процесса лазерной абляции металлической мишени с использованием ультракоротких лазерных импульсов.

5. Теоретическая и практическая значимость исследования

Теоретические основы и методологические подходы, разработанные для анализа модельных уравнений, продемонстрировали свою эффективность при исследовании процесса воздействия ультракоротких лазерных импульсов на алюминиевую мишень. Полученные результаты создают предпосылки для внедрения процессов фрагментации в различных практических приложениях, в первую очередь в медицинской и биологической сферах, где такие технологии могут найти важное применение.

6. Степень обоснованности и достоверность

Надёжность полученных результатов следует из использования известных и апробированных методов и подходов для математической и физической постановки задач. Достоверность подтверждается валидацией и верификацией. Результаты исследования были представлены на пяти международных и российских конференциях. По теме диссертации опубликовано пять работ в изданиях, рекомендованных ВАК.

7. Личный вклад автора

Все ключевые результаты диссертационного исследования были получены лично автором или при его непосредственном участии.

8. Замечания

- 1) Термин «уравнение Кортевега-де Фриза» следует писать с буквой «Ф» в соответствии с произношением в голландском языке.
- 2) Несколько особняком, с точки зрения финальной задачи абляции, стоит исследование уравнений Кортевега-де Фриза в качестве модельных. Правда, эта глава имеет самостоятельный интерес.
- 3) В прекрасном обзоре свойств разностных схем не хватает, на мой взгляд, обсуждения альтернативного подхода, основанного на

лагранжевом описании явлений, а именно, метода частиц, в частности, разрывного метода частиц, позволяющего эффективно моделировать решения с крутыми градиентами и в едином ключе строить сплошные микро - мезо - макро алгоритмы.

- 4) Рассматриваются одномерные, хотя и сложные, задачи. Хотелось бы увидеть несколько слов, какие перспективы такие подходы построения адаптивных сеток имеют в многомерном случае.
- 5) Разностные схемы записываются в довольно громоздком индексном виде. Компактные обозначения, принятые в теории разностных схем, сделали бы текст более читаемым.
- 6) При описании практической значимости полученных результатов, возможно, следовало бы акцентировать их научную ценность с учётом возможностей рассматриваемой физической модели.

Заключение

Диссертация Быковской Елены Николаевны представляет собой завершённое научное исследование, которое полностью соответствует требованиям, установленным ВАК России для кандидатских диссертаций в соответствии с пунктом 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842. Автор диссертации заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Отзыв составил официальный оппонент
профессор кафедры вычислительных методов факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М.В. Ломоносова, доктор физико-математических наук Богомолов Сергей Владимирович
(119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д.1, стр.52, 2-й учебный корпус, ВМиК, +7(495)939 2195, bogomo@cs.msu.su).

Я даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с деятельностью диссертационного совета, и на их последующую обработку.

Богомолов Сергей Владимирович, д.ф.-м.н.

Подпись Богомолова С.В.
Ученый секретарь



Дата 05.05.25

Гербовая печать

