

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СРЕДАХ

*Куропатенко В.Ф., Доровских И.А., Ковалев Ю.М., Коваленко Г.В.,
Кузнецова В.И., Макеева И.Р., Михайлова Г.И., Суров В.С.*

ВНИИ технической физики Российского федерального ядерного центра (РФЯЦ ВНИИТФ)
456770, Челябинской обл., г. Снежинск, а/я 245 Тел.: (35172)32625 Факс: 32077

Объявленные ранее цели проекта:

Проект направлен на повышение точности математического моделирования поведения многокомпонентной гетерогенной среды под действием излучений или механических воздействий. Цель может быть достигнута путем совершенствования имеющейся физико-математической модели и обоснования ее преимуществ, а также путем создания нового численного метода, в котором низкая дисперсия сочеталась бы с монотонностью.

Степень выполнения поставленных задач:

Проведено сравнение модели многокомпонентной среды с моделью Янгса. Показано, что модель Янгса получается из созданной модели после ряда упрощающих предположений. Однако, до последнего времени остается не выясненным до конца вопрос о внутренней диффузии модели, когда для газов в уравнении движения берется $\text{grad } \alpha_i P_i$. Исследования модели в этом направлении будут продолжены. Создан новый численный метод расчета нестационарных движений идеальных сплошных сред. Построено аналитическое решение о воздействии сверхмягкого излучения на конденсированное тело с последующим распространением ударной волны и волны разрежения и разрушением вещества после выхода УВ на свободную границу. Создана программа КАМА-97, по которой проведен ряд расчетов. Т.о. задачи, поставленные на 1997 г., выполнены примерно на 75-80%.

Полученные важнейшие результаты:

В течение 1997 г. создан новый разностный метод для расчета движений сплошной среды с сильными, слабыми и контактными разрывами. В этом методе все термодинамические величины и скорость относятся к серединам ячеек сетки, в узлах сетки задаются лишь координаты. Для определения всех величин в момент $t = t^n + \Delta t$ на гранях ячейки вычисляются вспомогательные значения давления и скорости, с помощью которых определяются деформации ячеек, новая плотность и новая скорость. В случае адиабатических течений интегрируется уравнение изэнтропы. В случае сжатия одна из величин P^* или U^* задаются равными значению P или U из соседней ячейки, вторая вспомогательная величина находится из уравнений на сильном разрыве. Проведено априорное обоснование требуемых характеристик разностного метода. Априорные оценки показывают, что метод удовлетворяет поставленным

требованиям как по монотонности, так и по дисперсии. Создана программа КАМА-97, по которой проведены расчеты большого числа эталонных задач, имеющих аналитическое решение. Проведено сравнение с результатами расчетов этих задач с помощью методов Неймана-Рихтмайера, Лакса-Вендрофа, Годунова и одного из ранних методов В.Ф.Куропатенко. Во всех случаях продемонстрированы преимущества нового метода. Модель многокомпонентной среды исследовалась с целью выяснения ее принципиальных отличий от других известных моделей. В качестве объекта для сравнения была выбрана наиболее популярная в Англии и других странах модель Д.Янгса. Показано, что созданная модель многокомпонентной среды является более общей, т.к. модель Янгса получается из нее после существенных упрощающих предположений. С целью прогнозирования последствий воздействия излучения на конденсированные материалы построено аналитическое решение, в котором волна разрежения, догоняющая УВ до момента ее выхода на свободную тыльную поверхность, взаимодействует с отраженной ВР. Параметры воздействия выбраны так, что разрушение происходит в одной точке \bar{x} , t . Определены масса и импульс отколовшегося вещества.

Степень новизны полученных результатов:

Разностный метод является новым. Аналитическое решение о "точечном" разрушении конденсированного тела при взаимодействии двух волн разрежения является новым. Сравнение модели гетерогенной многокомпонентной среды с моделью Янгса является новым. Созданная программа КАМА-97 является новой.

Сопоставление с мировым уровнем:

Численный метод по совокупности характеристик, определяющих диссипативные, дисперсионные и осцилляционные свойства, превосходит все известные из русских и зарубежных публикаций методы для решения аналогичных задач. Метод и результаты расчетов были доложены на международной конференции "Новые модели и программы для ударно-волновых процессов в конденсированных средах" в Оксфорде (Англия) 15-19 сентября 1997 г. Аналитическое решение о "точечном" разрушении в зоне взаимодействующих волн разрежения находится на уровне лучших зарубежных аналитических решений, используемых для тестирования разностных методов. Математическая модель многокомпонентной среды по своей общности превосходит большинство известных в России и за рубежом моделей.

Использованные методы и подходы:

В основе модели многокомпонентной среды лежит концепция написания законов сохранения для каждой компоненты, что позволяет использовать уравнения состояния, описывающие фазовые переходы в каждой компоненте независимо от состояния других компонент. Поэтому существующие иные модели можно рассматривать, как частные случаи данной модели. Благодаря такому подходу расширяется спектр течений, которые могут быть описаны без дополнительных упрощающих предложений. Механизмы пластического деформирования и откольного разрушения также описываются с позиций единого подхода путем включения в базовую систему законов сохранения и определяющих уравнений, специальных кинетических уравнений, форма которых является оригинальной. При построении численного метода расчета нестационарных движений

использован подход, согласно которому на ударной волне для описания диссипации энергии используются уравнения Гюгонио, а в областях адиабатичности интегрируется уравнение энергии с любой наперед заданной точностью. Такой подход является оригинальным. Новизна метода заключается в том, что впервые указанный подход применен для случая, когда скорость определяется там же, где и термодинамические величины - в серединах сеточных ячеек.

ПУБЛИКАЦИИ

1. О точности методов построения уравнений состояния

Куропатенко Валентин Федорович

Препринт Российского Федерального Ядерного Центра - ВНИИ технической физики 119 (1997) 14

В последние 5 лет возможности ЭВМ сильно изменились - увеличились их оперативная память и производительность. Это позволило резко уменьшить погрешности численных методов. Однако, точность уравнений состояния за эти 5 лет практически не изменилась. Поскольку уравнение состояния является неотъемлемой составной частью любой серьезной математической модели, то точность математического эксперимента изменилась очень мало. Этим определяется повышение интереса к созданию новых УРС, обладающих более высокой точностью по сравнению с уже существующими. В работе рассматриваются уравнения состояния, которые вместе с законами сохранения для идеальной среды образуют адиабатическое ядро любой математической модели механики сплошной среды и анализируются погрешности ряда известных уравнений состояния как в случае ударного сжатия, так и при описании испарения.

2. Разностный метод расчета уравнений механики сплошной среды

Куропатенко Валентин Федорович Макеева Инга Равильевна

Препринт Российского Федерального Ядерного Центра - ВНИИ технической физики 120 (1997) 12

Описывается разностный метод для расчета непрерывных и разрывных решений уравнений механики сплошных сред, в котором минимизация осцилляционных и дисперсионных свойств достигается путем выбора специальной формы разностных уравнений и применением условий Гюгонио-Ренкина для описания диссипации энергии в зоне ударного слоя, которым заменяется сильный разрыв при разностном счете. Приведены результаты расчета ряда тестовых задач: стационарной ударной волны, волны разрежения, задач о выходе ударной волны на свободную поверхность. Результаты сравниваются с аналитическими решениями и расчетами по другим известным разностным методикам. Показано, что предложенная методика обладает минимальными осцилляционными и дисперсионными свойствами, а также не дает энтропийных следов при выходе ударной волны на свободную поверхность. Эти свойства методики позволили повысить точность расчета массы откола при выходе нестационарной ударной волны на свободную поверхность.