

ОТЗЫВ

научного руководителя о диссертационной работе Ван Луцзе
“Эйлеровы численные модели динамики гипоупругой многоматериальной среды”, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Темой диссертационной работы Ван Луцзе является математическое моделирование течения гипоупругой гетерогенной (многоматериальной) среды. Основная цель работы состоит в разработке средств математического моделирования ударно-волновых процессов в многокомпонентной гетерогенной упругопластической среде из нескольких различных материалов (фаз), разделенных контактными межфазными границами (интерфейсами), в рамках гипоупругой модели (модели Уилкинса) с критерием пластичности Мизеса.

Актуальность работы обусловлена важностью рассматриваемых задач во многих научных областях и промышленных приложениях, таких как динамические ударно-волновые процессы в неоднородных конденсированных средах, распространение взрывных волн, обработка металлов давлением, обжатие мишени в задачах лазерного термоядерного синтеза. Как правило, в этих задачах возникает сильная деформация контактных границ, из-за которой применение лагранжевых методик с явным отслеживанием геометрии этих границ приводит к сильному искажению сеточных элементов, потери точности и надежности вычислительного алгоритма. Эйлеровы методики сквозного счета, основанные на методе диффузной границы, лишены этих недостатков, но требуют разработки адекватных моделей смесевой переходной зоны. Такие модели гетерогенной многоматериальной среды описаны в литературе в основном в рамках модели гиперупругости. В рамках модели гипоупругости, которая широко используется для решения прикладных задач, таких обобщений (на случай многоматериальной среды) нет. Исследование задач

многокомпонентного течения с использованием гипоупругой модели Уилкинса может восполнить пробел в научных исследованиях. Поэтому исследование Ван Луцзе является необходимым и имеет большое значение.

Предметом исследования диссертационной работы является упруго-пластическая среда, состоящая из нескольких различных материалов (фаз), разделенных контактными межфазными границами (интерфейсами). Каждая фаза описывается в рамках гипоупругой модели Уилкинса с критерием пластичности Мизеса. Цель работы состояла в построении методом диффузной границы однородной (гомогенизированной) модели с единой системой определяющих уравнений во всем пространстве, разработке для этой модели численного метода и программ для сквозного расчета течения многоматериальной упруго-пластической среды на стационарных эйлеровых сетках. Для достижения этой цели автором сначала была построена неравновесная термодинамически согласованная двухкомпонентная гипоупругая релаксационная модель методом пространственного осреднения исходных уравнений компонент. Затем к полученной системе уравнений был применен асимптотический анализ при стремлении релаксационных параметров к нулю, в результате которого выведена редуцированная равновесная модель. Для этой модели автором был разработан численный метод годуновского типа, основанный на приближенных римановских решателях HLL и HLLC, для решения неконсервативных систем путем интегрирования по определенному пути в фазовом пространстве (path-conservative scheme). Результаты многочисленных вычислительных экспериментов убедительно продемонстрировали достоверность предложенной гомогенизированной математической модели и численных методов.

Основное содержание диссертации опубликовано в 3 научных работах. Все работы опубликованы в рецензируемых научных журналах из списка RSCI, SCOPUS. Работа прошла апробацию на российских и международных конференциях.

Принимая во внимание всё вышесказанное, считаю, что диссертация Ван Луцзе является законченным исследованием, выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении научных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Рекомендую к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ диссертационную работу Ван Луцзе “Эйлеровы численные модели динамики гипоупругой многоматериальной среды”.

Научный руководитель,
главный научный сотрудник ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,
профессор кафедры вычислительной механики
механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,
д.ф.-м.н.

02.12.2025 г.

И.С. Меньшов

Подпись И.С. Меньшова заверяю
Ученый секретарь ИПМ им. М.В. Келдыша РАН
к.ф.-м.н.

А.А. Давыдов

2 декабря 2025 г.