

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Ван Луцзе
на тему: «Эйлеровы численные модели динамики гипопругой
многоматериальной среды»
по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ**

Диссертация Ван Луцзе посвящена математическому моделированию динамических ударно-волновых процессов в неоднородном деформируемом твердом теле, состоящем из различных материалов (компонент), разделенных контактными границами. В ней предлагается оригинальный подход, основанный на построении с помощью метода диффузной границы однородной эффективной модели деформируемого твердого тела, которая в рамках одной системы уравнений адекватно описывает процессы в многокомпонентном твердом теле. Это позволяет исключить рассмотрение внутренних контактных граничных условий и эффективно реализовать сквозной расчет задач на фиксированных эйлеровых сетках. Построение однородной эффективной модели строится для случая гипопругих сред (модель Уилкинса) на основе принципов рациональной механики и термодинамической согласованности. Получающаяся в результате система определяющих уравнений является в общем случае неконсервативной. Для нее разрабатывается оригинальный численный метод. Он относится к методам гуденовского типа и обобщает известные в литературе консервативные по пути в фазовом пространстве схемы неконсервативных систем гиперболических уравнений на случай полученной однородной модели.

Структура и содержание диссертации.

Диссертация включает в себя введение, четыре главы, заключение, и список литературы. Во введении представлен обзор современной литературы по упругопластическому течению, а также описаны две основные математические модели, широко используемые в данной области: гипоупругость и гиперупругость. Автор определяет цель своей работы, ставит задачи, формулирует основные положения, выносимые на защиту, характеризует научную новизну и практическую значимость работы. В первой главе подробно анализируются два варианта модели Уилкинса, которые широко используются в настоящее время в литературе, а именно: исходная оригинальная модель и модифицированная модель, предложенная в работах С. Гаврилюка, Л. Фаври, Р. Сауреля. Во второй главе строится неравновесная двухкомпонентная гипоупругая релаксационная модель на основе метода диффузной границы и выводится ее редуцированная равновесная модель с использованием асимптотического анализа. В третьей главе для полученной модели разрабатывается 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). В результате численных экспериментов проанализированы решения предложенной гомогенизированной (однородной) и гетерогенной моделей упругопластического течения в разных режимах. Численные результаты сравниваются с теоретическими выводами первой главы и результатами численных методов с точным отслеживанием межфазной границы. Результаты сравнения убедительно демонстрируют достоверность предложенной гомогенизированной математической модели второй главы и численных методов, разработанных в третьей главе. В четвертой главе

предлагается термодинамически согласованная модель Уилкинса, основанная на предположении, что внутренняя энергия является функцией плотности, давления и компонент девиаторного напряжения. Основное отличие данной модели от двух предыдущих заключается в том, что термодинамическое давление и механическое давление являются двумя различными величинами. В разделе "Заключение" автор формулирует основные результаты работы.

Автореферат в полной мере передает содержание диссертации.

Теоретическая ценность и практическая значимость диссертационной работы заключаются в разработанной модели течения гетерогенной многоматериальной гипопругой среды, соответствующих численных методов для ее решения и программном комплексе для моделирования многоматериального упругопластического течения на стационарных эйлеровых сетках. Разработанная вычислительная модель многоматериального упругопластического течения позволяет проводить моделирование физико-механических процессов во многих промышленных задачах. Достоверность полученных результатов обеспечена строгостью используемого математического аппарата и подтверждается сравнением результатов вычислительных экспериментов с известными в литературе теоретическими оценками и расчетными данными, а также данными, полученными с помощью альтернативных методов.

Основное содержание диссертационной работы, ее главные научные результаты в полной мере изложены в 3 печатных изданиях, индексируемых в базах данных Scopus, WoS, RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности, и докладывались на российских и международных конференциях.

По содержанию диссертации можно сделать следующие замечания

1. В обзоре литературы не упомянуты публикации (i) V.A. Titarev, E. Romenski, E.F. Toro. MUSTA-type upwind fluxes for non-linear elasticity // International Journal for Numerical Methods in Engineering. 2008. V. 73. P. 897-926. (ii) P. Barton, D. Drikakis, E. Romenski and V.A. Titarev. Exact and approximate solutions of Riemann problems in non-linear elasticity // Journal of Computational Physics. 2009. V. 228. P. 7046-7068, в которых построены передовые противопоточные схемы для уравнений нелинейной упругости и предложен алгоритм построения точного решения задачи о распаде разрыва, который потенциально мог бы быть применим к задачам, рассматриваемым в текущей диссертации.
2. Термодинамическая модель главы 4 лишь формально получена на основе законов сохранения и замыкающих материальных соотношений. При этом, в отличие от оригинальной и модифицированной моделей, эта модель является строго термодинамически согласованной.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Ван Луцзе заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник Отделения 2 “Моделирование сложных физических и технических систем” ФИЦ ИУ РАН

Титарев Владимир Александрович

подпись

02.02.2026

дата подписания

Контактные данные:

тел.: +7 (499) 135-62-60, e-mail: vladimir.titarev@frccsc.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и
комплексы программ

Адрес места работы:

119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44, кор.2,
ФИЦ ИУ РАН

Тел.: +7 (499) 135-62-60; e-mail: vladimir.titarev@frccsc.ru

Подпись сотрудника ФИЦ ИУ РАН В.А. Титарева удостоверяю:

Учёный секретарь ФИЦ ИУ РАН 02.02.2026

дата

Захаров В.Н.