

**ОТЗЫВ**  
**официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание ученой степени**  
**кандидата физико-математических наук**  
**Ван Луцзе**  
**на тему: «Эйлеровы численные модели динамики**  
**гипоупругой многоматериальной среды»**  
**по специальности**

**1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ**

**Актуальность темы.** Рассматриваемая диссертация посвящена разработке численных методов динамики упругопластических сред. Это практически важное направление вычислительной математики, обеспечивающее расчеты ударно-волновых и взрывных процессов

**Новизна работы.** Разработаны новая математическая модель, численный метод и комплекс программ для расчета динамики многоматериальных гипоупругих сред, разделенных межфазными границами. Предложена новая термодинамически согласованная модификация модели Уилкинса. Основательным тестированием и сравнениями с результатами других авторов показана эффективность созданных алгоритмов.

**Структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа представлена на 99 странице, содержит 27 иллюстраций и 5 таблиц. Список литературы содержит 101 наименование.

**Во введении** приведен анализ литературных источников, посвященных задачам контактного взаимодействия, обоснована актуальность работы, ее цели и задачи, научная новизна работы, практическая значимость и отмечен личный вклад автора.

**В первой главе** рассмотрены математические свойства модели Уилкинса, в эйлеровой формулировке и проанализированы возможные волновые конфигурации задачи Римана.

**Во второй главе** на основе метода диффузной границы разработана одномерная эйлерова модель для двухматериальных гипотупругих сред. С учетом взаимодействия между фазами связи между коэффициентами релаксации напряжений определены приближенно в соответствии с законом Гука. В результате получена равновесная гиперболическая модель, совпадающая при одноосной деформации с моделью на основе принципа гидродинамической аналогии.

**Третья глава** посвящена описанию численного метода, основанного на консервативных по пути схемах, для систем уравнений главы 2. Достоверность предложенной математической модели и вычислительного метода проверена с помощью численных экспериментов, а результаты сравнены с результатами, полученными другими численными методами и теоретическими решениями. Проведены сравнения численных расчетов с теоретическими результатами для ударных сжатия и растяжения при взаимодействии объекта со стеной. Результаты расчетов ударных двухматериальных (медь-алюминий) взаимодействий сравнивались с расчетами по методу ALE. Получено хорошее согласование результатов для двух- и трехволновых режимов распространения упругопластических волн. Проведены сравнения с аналитическими решениями биматериальной задачи Римана, в которой граница разделяет два упругих материала, Влияние пластичности проверено сравнениями с известными численными решениями.

**В четвертой главе** предложена модификация модели Уилкинса, которая обеспечивает безусловную термодинамическую согласованность (невозрастание энтропии).

**В заключении** суммированы результаты работы, сделаны выводы о работоспособности предложенной методики.

**Практическая и научная значимость работы** заключается в том, что:

1. Разработана обобщенная эйлерова модель для неоднородной среды двух разных гипотупругих материалов, разделенных контактнм разрывом;

2. Построены численные методы для решения предложенной модели, обеспечивающие гарантированное выполнение отсутствия нефизических численных осцилляций, вызванных неконсервативными членами, на основе консервативных вдоль пути в фазовом пространстве схем;
3. **Достоверность результатов** обеспечена верификацией программного комплекса на тестах с аналитическими решениями, а также сравнением полученных результатов с работами других авторов.

**Замечания по работе:**

1. В обзоре не упомянуты методы, обеспечивающие консервативность расчета ударных волн за пределами упругости, основанные на упруго-вязко-пластических моделях сплошной среды (работы В.Н.Кукуджанова, И.Б.Петрова, И.С.Никитина, В.И.Голубева и др).
2. Эффективность нового метода показана на пространственно одномерных задачах, про обобщение метода на многомерные задачи сказано только, что это возможно.

**Общая оценка работы.** Приведенные замечания следует рассматривать как пожелания улучшения описания метода в дальнейшей работе. Выбранная тема работы является актуальной, работа выполнена на высоком научном уровне, результаты обладают научной новизной и могут быть использованы в дальнейших исследованиях и при решении прикладных задач.

Автореферат отражает основные результаты диссертации и ее содержание.

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,  
ведущий научный сотрудник лаборатории моделирования в механике деформируемого твердого тела Федерального государственного бюджетного учреждения науки “Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН)”,  
Бураго Николай Георгиевич,

---

30.01.2026

Контактные данные:

Тел. +7 (495) 612-14-53, адрес эл. почты: [buragong@yandex.ru](mailto:buragong@yandex.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

Адрес места работы:

119526, Москва, пр-т Вернадского, д. 101, корп. 1,  
лаборатории моделирования в механике деформируемого твердого тела  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки “Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук ИПМех РАН”,

Тел. +7 (495) 434-41-35, адрес эл. почты: [burago@ipmnet.ru](mailto:burago@ipmnet.ru)

Подпись сотрудника ИПМех РАН Н.Г.Бураго удостоверяю.

Ученый секретарь ИПМех РАН \_\_\_\_\_ М.А. Котов