


«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ИПМ им. М.В.Келдыша
РАН, член-корреспондент РАН
А.И. Аптекарев
"10" декабря 2024 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного учреждения «Федеральный
исследовательский центр Институт прикладной математики им.
М.В. Келдыша Российской академии наук».

Диссертация «Моделирование газодинамических и упругопластических процессов при интенсивном энерговыделении в твердый материал» выполнена в федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук».

В период подготовки диссертации с 2017 г. и по настоящее время соискатель Бойков Дмитрий Сергеевич работает в федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», в отделе №13 «Компьютерные модели и численные методы высокотемпературной гидродинамики», в секторе №3 «Прикладное программное обеспечение для решения задач гидро- и газодинамики на высокопроизводительных вычислительных системах» в должности младшего научного сотрудника.

В 2014 г. окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "МИРЭА - Российский технологический университет" по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

В 2016 г. окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ)» по специальности «Инженерное компьютерное моделирование».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2017 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего

образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ)».

Научный руководитель — кандидат физико-математических наук Ольховская Ольга Гургеновна работает в федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» в должности старшего научного сотрудника.

По итогам обсуждения диссертации Д. С. Бойкова принято следующее заключение.

Тема диссертации актуальна, поскольку математическое моделирование является важной частью работ по исследованию свойств новых конструкционных материалов, в том числе полимерных, композиционных и гетерогенных. Диссертация посвящена развитию новых компьютерных моделей для изучения разрушения материалов под действием интенсивных потоков энергии.

Целью диссертационной работы является исследование процессов, происходящих в полимерных и композиционных материалах при воздействии на них интенсивных динамических нагрузок.

В диссертации решались следующие задачи:

1. Разработка на основе моделей механики сплошной среды широкодиапазонной математической модели динамических процессов в конденсированной среде при воздействии на нее интенсивных потоков энергии.
2. Разработка методики расчета и численных алгоритмов для совместного моделирования газодинамических явлений в испаренном материале и динамических волновых процессов в области упругопластического материала с учетом его возможного разрушения.
3. Создание программного обеспечения, предназначенного для сквозного расчета газодинамических и термомеханических нелинейных волновых процессов, которые могут приводить к внутренним разрушениям в материале и откольным явлениям.
4. Моделирование разрушения полимерных материалов под действием ионизирующих излучений.

Основные результаты диссертации:

1. Построена комплексная компьютерная модель термомеханических явлений в твердом деформируемом материале в результате действия интенсивных потоков энергии.
2. Разработан алгоритм сквозного расчета нагрева, испарения, динамики испаренного вещества и упругопластических волновых процессов,

приводящих к разрушениям в неисконденсированном твердом материале. В состав алгоритма входит авторская методика динамического контроля изменения агрегатного состояния конденсированной среды.

3. Построены интегрально-согласованные конечно-разностные аппроксимации уравнений широкодиапазонной модели на сетках общего вида, используются как регулярные декартовы, так и гибридные трехмерные сетки, адаптированные к границе расчетной области, в том числе сетки нерегулярной структуры с разными типами элементов (тетраэдры, гексаэдры, треугольные призмы) и блочно-структурированные сетки.
4. Создано высокопроизводительное программное обеспечение для согласованного решения задач гидродинамики и упругопластики. Программная реализация выполнена на языке программирования C++ с использованием библиотеки OpenMPI в виде предметно-ориентированной версии кода, включенного в состав вычислительной платформы MARPLE (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН).
5. С помощью разработанного ПО проведена серия расчетов разрушения полимерных и композитных материалов под действием ионизирующих излучений, получены оценки прочностных характеристик материалов.

Все результаты диссертации получены лично соискателем.

Научная новизна работы заключается в разработке комплексной физико-математической модели и алгоритма сквозного расчета нагрева и испарения материала под действием интенсивного энерговклада, динамики испаренного вещества и упругопластических волновых процессов в неисконденсированном твердом материале, которые могут приводить к его разрушению. Предложена методика динамического контроля изменения агрегатного состояния конденсированной среды.

Теоретическая ценность работы состоит в создании и программной реализации оригинальной комплексной физико-математической модели и основанных на ней численной методики и алгоритмов для совместного трехмерного расчета газодинамических и термомеханических процессов, с помощью которых получены новые данные по стойкости материалов к интенсивным энергетическим воздействиям.

Практическая значимость результатов диссертации заключается в том, что предложенные физико-математическая модель и параллельная численная методика, ее реализующая, внедрены в вычислительную платформу MARPLE. Таким образом создан инструментарий для численного исследования задач механика твердого деформируемого тела и других задач механики сплошных сред и сопровождения экспериментальных работ по изучению стойкости материалов.

Созданное программное обеспечение может быть использовано для анализа результатов интенсивных энергетических воздействий в инженерной практике, верификации моделей объёмных разрушений и отколов в хрупких материалах, а также валидации широкодиапазонных уравнений состояния.

Достоверность результатов диссертации обоснована тем, что в основе разработанной методики лежат проверенные физико-математические модели, для которых имеется описанный в литературе опыт успешного применения к целевым задачам работы. Используются известные разностные схемы, для которых были показаны аппроксимация, устойчивость и сходимость. Созданные автором численные алгоритмы и программное обеспечение тестировались на модельных задачах, описанных в научной литературе. Выводы диссертации подтверждены сравнением результатов вычислительных экспериментов, выполненных автором, с данными натурных экспериментов и теоретическими оценками, сделанными в работах признанных ученых.

Материалы диссертации полностью представлены в работах, опубликованных соискателем.

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях из Перечня ВАК:

1. Модель радиационно-индуцированных термомеханических эффектов в гетерогенных мелкодисперсных материалах // Егорова В.А., Воронин Ф.Н., Жуковский М.Е., Марков М.Б., Потапенко А.И., Усков Р.В., Бойков Д.С. // Математическое моделирование. 2020. Т. 32. № 1. С. 85-99.
2. Численный анализ магнитомеханического эффекта в нагревательных трубах // Бойков Д.С., Болдарев А.С., Гасилов В.А. // Математическое моделирование. 2020. Т. 32. № 4. С. 3-15.
3. Технология адаптивного уточнения сетки для задач механики сплошных сред // Григорьев С.К., Бай А.А., Бойков Д.С., Багдасаров Г.А., Шарова Ю.С. // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2021. № 86. С. 1-19.
4. Моделирование газодинамических и упругопластических явлений при интенсивном энергокладе в твердый материал // Бойков Д.С., Ольховская О.Г., Гасилов В.А. // Математическое моделирование. 2021. Т. 33. № 12. С. 82-102.

Другие публикации:

5. The fracture of materials under intensive short-time loads // Sharova Y.S., Boykov D.S., Beklemysheva K.A., Vasyukov A.V., Petrov I.B. // В сборнике: AIP Conference Proceedings. 45. Сер. "Proceedings of the 45th International Conference on Application of Mathematics in Engineering and Economics, AMEE 2019" 2019. С. 070019. (Индексируется базой данных Scopus).

6. Implementing a mesh-projection schemes using the technology of adaptive mesh refinement // Boykov D., Grigoriev S., Olkhovskaya O., Boldarev A. // Lecture Notes in Computer Science. 2020. Т. 11958 LNCS. С. 576-583. (Индексируется базой данных Scopus)
7. Study of processes in polymer targets under high-energy exposure // O. Olkhovskaya, D. Boykov, V. Gasilov, E. Kazakov, S. Tkachenko, A. Smirnova // Proceedings of 8th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects // Tomsk: TPU Publishing House, 2022. P. 166 (Индексируется базой данных РИНЦ)

Личный вклад соискателя в работах с соавторами заключается в следующем: сравнительный анализ различных моделей для численного моделирования задач механики твердого деформируемого тела, разработка методики, программная реализация проблемно-ориентированных и инфраструктурных вычислительных модулей, проведение численных экспериментов и выполнение серийных расчётов.

Основные результаты работы докладывались на следующих научных конференциях и семинарах:

1. AMEE'19: 45th International Conference "Applications of Mathematics in Engineering and Economics", Sozopol, Bulgaria, June 7-13, 2019.
2. XIV International Seminar mathematical models & modeling in laser plasma processes & advanced science technologies, 2016.
3. 12th International Conference on Large-Scale Scientific Computations, Sozopol, Bulgaria, 2019
4. Семинар ИПМ им. М.В. Келдыша РАН под руководством член-корр. РАН, проф. В.Ф. Тишкина и д.ф.-м.н. А.А. Кулешова, Москва, 29 сентября 2022г.
5. EFRE'22: 8th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects, Tomsk, Russia, October 2-8, 2022

Зарегистрированные результаты интеллектуальной деятельности:

1. «Программные модули расчета эффектов теплового и термомеханического действия рентгеновского излучения на объекты» // Багдасаров Г.А., Бойков Д.С., Болдарев А.С., Гасилов В.А., Ольховская О.Г. // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019617547, 17.06.2019. Заявка № 2019616469 от 04.06.2019.
2. "Специализированный программно-вычислительный комплекс "Специализированное математическое и программное обеспечение" // Багдасаров Г.А., Бойков Д.С., Болдарев А.С., Гасилов В.А., Грушин А.С., Ольховская О.Г., Поляков С.В., Пузырьков Д.В., Тарасов Н.И., Усков Р.В. // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021615641, 09.04.2021. Заявка № 2021614671 от 02.04.2021.

Содержание диссертации соответствует специальности 1.2.2 математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Диссертация «Моделирование газодинамических и упругопластических процессов при интенсивном энергокладе в твердый материал» Бойкова Дмитрия Сергеевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

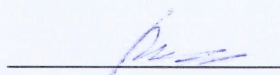
Заключение принято на заседании научного семинара 15-го отдела ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Присутствовало на заседании 28 чел., в том числе 8 докторов и 10 кандидатов физико-математических наук.

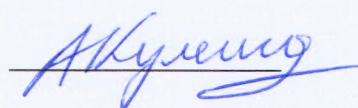
Результаты голосования: "за" - 28 чел., "против" - нет, "воздержалось" - нет, протокол № 6 от "26" сентября 2024 г.

Член-корр. РАН,
д.ф.-м.н., зав. отд. №15

д.ф.-м.н., г.н.с.



В.Ф. Тишкин



А.А. Кулешов