

ОТЗЫВ

научного руководителя о диссертационной работе

Немцева Максима Юрьевича

“ Численное моделирование процессов горения пористых энергетических материалов в широком диапазоне объемной доли”,

представленной на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

1.2.2 — Математическое моделирование, численные методы

и комплексы программ

Диссертационная работа выполнена Немцевым Максимом Юрьевичем во время его обучения в аспирантуре ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Тема научной работы связана с исследованием физико-химических процессов, происходящих при горении многокомпонентной дисперсной фазы в условиях меняющейся пористости, в том числе при наличии разрывов. Несмотря на большую историю развития, вопросы горения конденсированных дисперсных сред, описание происходящих при этом ударно-волновых динамических процессов до сегодняшнего дня остаются актуальными в связи с разработкой новых технологий создания эффективных энергетических материалов.

Задачи, которые исследовал Немцев М.Ю., были связаны, в первую очередь, с разработкой адекватных математических моделей и прецизионных численных методов для расчетов динамики многофазных дисперсных смесей с учетом горения дисперсной фазы в широком диапазоне объемной доли. Адекватное математическое моделирование этих задач сопряжено с рядом трудностей, связанных с описанием горения дисперсной фазы в условиях переменного объема и поверхности горения при наличии пленочного ингибитора с учетом его прогрева и пиролиза под действием пороховых газов. Кроме этого, особенностью математической модели является неконсервативная форма определяющих уравнений, что затрудняет разработку численных методов ввиду неединственности соотношений на поверхности сильного разрыва.

Диссертационная работа Немцева М.Ю. затрагивает некоторые вопросы численного моделирования горения и динамики многофазных дисперсных смесей. Это – разработка физико-математической модели горения гранулы унитарного горючего материала при наличии пленочного ингибитора с учетом его прогрева и пиролиза под действием газовой фазы продуктов горения, усовершенствование модели межфазного силового и теплового взаимодействия, в особенности, на режимах плотной упаковки пороховых элементов, разработка

основных положений численного метода решения неконсервативной гиперболической системы определяющих уравнений.

Для исследования этих вопросов автор провел детальный обзор имеющихся в литературе моделей горения твердых частиц с пленочным ингибитором и численных методов для решения уравнений многофазной дисперсной среды. Автором были предложены уточненные модель горения частицы с пленочным ингибитором и формула межфазного взаимодействия. Им предложен оригинальный способ регуляризации используемой математической модели Р. И. Нигматулина на основе метода расщепления по физическим процессам, которая устраняет на дискретном уровне два основных недостатка исходной модели – неконсервативность и негиперболичность определяющей системы уравнений. Для регуляризованной системы уравнений построен эффективный численный метод годуновского типа, включающий решение газовой, конденсированной фазы и нелокального межфазного обмена. При этом подробно рассматривается модельная система движения дисперсной фазы (ансамбля частиц без учета влияния несущей газовой фазы) и находится точное решение задачи Римана и ее двухволновое приближенное решение. Выполнена программная реализация этих моделей и методов и проведено их детальное тестирование. Предложенные математические модели и численные методы реализованы в программном параллельном комплексе, предназначенном для решения двумерных осесимметричных задач механики многофазных многокомпонентных сжимаемых сред на неструктурированных сетках на кластерных вычислительных системах с разделенной памятью.

В результате проведенных работ Немцевым М.Ю. была разработана математическая модель и численный метод для расчета нестационарного горения многофазной дисперсной среды пороховых элементов с пленочным ингибитором, проведены верификационное тестирование разработанных методов и моделей и валидационные расчеты на экспериментах по исследованию горения зарядов трех различных плотностей из семиканальных зерен, ингибированных пленкой, в установке с дожигательной секцией.

Основные научные результаты диссертации получены автором самостоятельно, являются новыми и соответствуют мировому уровню. В частности, им предложена регуляризация на дискретном уровне многофазной модели Р.И. Нигматулина для описания дисперсных сред, эффективные численные методы годуновского типа для совместного решения уравнений динамики газовой и конденсированной фазы и их нелокального взаимодействия,

эффективные схемы расщепления для расчета кинетики межфазного массообмена.

Основное содержание диссертации опубликовано в 5 научных работах. Из них 4 статьи опубликованы в рецензируемых научных журналах из списка ВАК, 2 входят в мировые индексы цитирования Web of Science и SCOPUS. Работа прошла апробацию на 16 российских и международных конференциях. Автор являлся исполнителем гранта РФФИ («Аспирант»).

Немцев М. Ю. в процессе работы над диссертацией проявил себя квалифицированным специалистом, умеющим работать с первоисточниками, ставить промежуточные вспомогательные задачи, добиваться поставленных целей.

Принимая во внимание всё вышесказанное, считаю, что диссертация Немцева Максима Юрьевича “Численное моделирование процессов горения пористых энергетических материалов в широком диапазоне объемной доли” представляет собой законченную работу, выполненную на высоком научном уровне, отвечает требованиям Положения ВАК о присуждении ученых степеней. Автор диссертации Немцев Максим Юрьевич безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 — “Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ”.

Научный руководитель,
главный научный сотрудник ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,
д.ф.-м.н.

И.С. Меньшов

Подпись И.С. Меньшова удостоверяю

Врио ученого секретаря ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,
к.ф.-м.н.



И.А. Тараканов

“ 03 ” августа 2023 г.