

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Немцева Максима Юрьевича на тему «Численное моделирование процессов горения пористых энергетических материалов в широком диапазоне объемной доли», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Многофазные течения дисперсных смесей, в которых объемная доля дисперсной фазы изменяется в широком диапазоне значений, встречаются во многих прикладных задачах, в частности при исследовании процессов внутренней баллистики, при распространении ударных и детонационных волн в газо-дисперсных средах и др.

Создание физико-математических и вычислительных моделей течений многофазных сред, а также развитие вычислительной техники привели к тому, что математическое моделирование в настоящее время активно используется как дополнение и альтернатива экспериментальным исследованиям. Необходимо отметить, что задача моделирования многофазных течений с физико-химическими превращениями в полном объеме до сих пор не может быть решена с помощью широко используемых импортных и отечественных универсальных пакетов прикладных программ. Таким образом, диссертационная работа Немцова М.Ю. является актуальной и направлена на создание отечественного научного задела, включающего многомасштабные физико-математические модели, оригинальные вычислительные алгоритмы и комплексы программ для моделирования многофазных течений.

Целью диссертационной работы является создание физико-математической модели, вычислительного алгоритма и программных модулей для моделирования процессов конвективного горения в

энергетическом материале, состоящем из пороховых зерен, покрытых полимерной пленкой, в двухфазном эйлеровом приближении.

Диссертация включает 90 страниц и состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

В первой главе диссертации приводится физико-математическая модель горения пористого энергетического материала с полимерным покрытием. Описывается межфазное силовое и тепловое взаимодействие. При этом автором на основе экспериментальных данных по используемым в работе энергетическим материалам получены эмпирические константы, входящие в коэффициент сопротивления и число Нуссельта. Приводятся уточненные модели воспламенения, пиролиза, изменения поверхности пленки и горения энергетического материала.

Во второй главе описывается процедура приведения используемой системы уравнений к гиперболическому виду, а также численная схема ее интегрирования в двумерном осесимметричном случае. Автором предложено решение задачи Римана для случая двухфазных течений с учетом объемной доли частиц, включающее волны “компактирования” и “раскомпактирования”. Приведены особенности параллельной программной реализации, использующей интерфейс MPI.

В третьей главе приведены результаты верификации вычислительных алгоритмов и программ на ряде одномерных задач без горения, имеющих аналитическое решение или решенных другими авторами, а также валидация используемых моделей на экспериментальных данных по горению энергетического материала в установке постоянного объема.

В четвертой главе приведены результаты численного моделирования горения высокоплотного заряда конвективного горения в экспериментальной установке, состоящей из секции с энергетическим

материалом, дожигательной секции с воспламенителем и сопла, выпускающего продукты сгорания во внешнее пространство. Приведенные в работе результаты сравнения рассчитанных и измеренных зависимостей давления (в рабочей секции – 4 датчика, в дожигательной – 1) показали удовлетворительное согласие.

По работе имеются следующие замечания.

1. Используемые в работе газообразные продукты сгорания и воздух описываются брутто-веществами (продукты сгорания энергетического материала, полимерной пленки, дымного пороха, бензотрифуроксана), которые характеризуются набором констант, входящих в термическое и калорическое уравнения состояния, цифровые значения констант не приводятся. Также имеются неточности в выражениях (2.1.4), описывающих термодинамические свойства продуктов сгорания. Значения (и способ определения) тепловых составляющих энергий, выделяющихся при горении и входящих в правые части системы уравнений в частных производных (2.1.5)-(2.1.8), не приводятся.
2. Отсутствует описание расчетных сеток, используемых при моделировании экспериментов в главах 3 и 4 в двумерной нестационарной постановке. Соответственно, отсутствует проверка сходимости результатов вычислений при измельчении расчетной сетки.
3. В работе представлена крайне скудная визуализация параметров многофазного течения, полученных в двумерной нестационарной постановке. Присутствуют только зависимости параметров течения вдоль оси установки и в точках размещения численных датчиков.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Таким образом, диссертация Немцева Максима Юрьевича является законченным научным исследованием, содержание и результаты работы соответствуют паспорту научной специальности 1.2.2. “Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ” и требованиям п.9 Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Немцев М.Ю., заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент:



Гидаспов Владимир Юрьевич

05 декабря 2023г.

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования «Московский
авиационный институт (национальный исследовательский университет)»
125993 г. Москва, Волоколамское ш., 4
e-mail: gidaspov@mai.ru

Подпись Гидаспова В.Ю. заверяю

Заместитель начальника Управления
по работе с персоналом



Иванов М.А.