

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Способина Андрея Витальевича

«Численное моделирование обтекания тел сверхзвуковыми потоками с твёрдыми частицами», представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.9. – Механика жидкости, газа и плазмы

Исследованию гетерогенных потоков посвящено большое число научных работ. При этом в большинстве работ используется модель взаимопроникающих континуумов, в ней движение множества частиц описывается уравнениями сплошной среды, которая обменивается импульсом и энергией с газовой фазой. Альтернативный класс моделей построен на сочетании уравнений сплошной среды для газовой фазы и траекторного лагранжевого описания движения частиц. Проблематике моделирования сверхзвукового обтекания тел запылённым потоком и исследованию влиянию частиц на течение в ударном слое посвящено значительное количество работ. При этом следует отметить, что даже в случае применения лагранжевого подхода к описанию частиц, для моделирования столкновений между частицами применялись статистические методы, а моделируемая частица соответствовала группе физических. Моделирование в запылённом потоке каждой физической частицы в отдельности с расчётом столкновений на основе решения уравнений движения стало возможным относительно недавно в связи с ростом мощностей вычислительной техники и представляет безусловный научный интерес, поскольку максимально приближено к физической реальности.

Особый интерес вызывает детальное исследование влияния крупных частиц на ударный слой при низких концентрациях. Кратный рост теплового потока к поверхности при наличии даже небольшой концентрации примеси крупных частиц был обнаружен в ходе стендовых испытаний поршневой газодинамической установки в 1960-х годах отечественными исследователями из ЦНИИМАШ. Впоследствии аналогичные эксперименты проводились и в зарубежных лабораториях, данные которых автор воспроизводит в численных расчётах. Для объяснения наблюдаемых эффектов был предложен ряд феноменологических моделей, которые с тем или иным успехом могли прогнозировать усиление теплообмена в зависимости от условий эксперимента, но универсальных моделей, насколько известно автору отзыва, разработано не было. Непосредственное же численное моделирование данного класса явлений оказывается затруднительным вследствие большой разницы в размерах частиц и преграды, и с решением таких задач, как показывает практика, не справляются стандартные, в том числе коммерческие, программные пакеты гидрогазодинамических расчётов. В этой связи разработка математических моделей и

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«13» 03 2023

специализированного программного кода, предназначенного для решения подобного рода задач вычислительной гидрогазодинамики, является актуальной и практически значимой.

В диссертационной работе получен ряд новых научных результатов, среди которых особо следует отметить следующие:

1. Разработана комплексная вычислительная модель обтекания тела запылённым потоком, учитывающая столкновения частиц между собой и с обтекаемой поверхностью. Это позволило установить основные закономерности влияния примеси на течение газа, проанализировать влияние межчастичных столкновений и экранирующего эффекта.
2. Для полидисперсных потоков найдены эффективные размеры монодисперсной примеси, обеспечивающие эквивалентное энергетическое воздействие частиц на обтекаемую поверхность. Это касается как непосредственного ударного воздействия частиц, так и радиационного теплового потока. Данный результат актуален для инженерной практики, так как позволяет существенно упростить вычислительный процесс.
3. Разработаны вычислительные модели расчёта газодинамического взаимодействия высоко-инерционных частиц с ударным слоем. Применение безсеточной вычислительной технологии позволило подойти к решению этих задач в трехмерной постановке.
4. Описана эволюция структуры течения газа в ударном слое в присутствии крупных частиц, изучен механизм возникновения колебательного режима течения. Дано объяснение появлению зон с повышенным конвективным потоком от газа к поверхности тела. В расчётах воспроизведены результаты стендовых испытаний, получено хорошее согласование как картин течения, так и параметров газа на поверхности обтекаемого тела.

Достоверность представленных в работе результатов обеспечивается корректным построением математических моделей, использованием известных численных методов решения задач математической физики, тестированием разработанных программ путём сравнения с данными других авторов, прямым сопоставлением расчётных данных с результатами, полученными на экспериментальных установках.

По содержанию автореферата диссертации есть следующие замечания:

1. Судя по приведённым рисункам, адаптивная расчётная декартова сетка для решения уравнений газовой динамики измельчается вблизи поверхности обтекаемого тела, но не производится адаптация сетки на скачках уплотнения.

2. Принято допущение, что при ударе о поверхность тела, а также столкновениях друг с другом, в том числе на больших скоростях, частицы остаются неизменными – не деформируются и не распадаются на части.

Перечисленные выше замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Тема диссертации и полученные в ней результаты соответствуют паспорту специальности 1.1.9. – Механика жидкости, газа и плазмы. Логика изложения диссертации соответствует поэтапной разработке и усложнению аппарата математического моделирования рассматриваемых в работе физических явлений. Структура автореферата удовлетворяет рекомендациям ВАК РФ.

Разработанные модели и полученные в диссертационной работе результаты апробированы на большом числе научных конференций и в достаточной мере опубликованы в периодических научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации материалов диссертаций на соискание учёной степени кандидата и доктора наук по соответствующей специальности.

Рассмотрев автореферат диссертации А.В. Способина «Численное моделирование обтекания тел сверхзвуковыми потоками с твёрдыми частицами», приходим к заключению о том, что она соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, включая п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, а её автор Способин Андрей Витальевич заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.9. – Механика жидкости, газа и плазмы.

Заместитель директора по научной работе
Филиала ИМАШ РАН «Научного центра нелинейной
волновой механики и технологии РАН»,
д.т.н., член-корреспондент РАН



07.03.2023

Л.Е.Украинский

e-mail: leukrainsky@gmail.com

тел.: +7-499-135-55-26

адрес: 119334, Россия, г. Москва, ул. Бардина, д.4, стр.22

Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН

Филиал ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН»