

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Способина Андрея Витальевича**
**«Численное моделирование обтекания тел сверхзвуковыми потоками
с твёрдыми частицами»,**

представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 1.1.9. – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Диссертация Способина А.В. посвящена *актуальной и практически важной теме* разработки численной модели двухфазного (газ – твердые частицы) ударного слоя, формирующегося при обтекании затупленного тела сверхзвуковым запыленным потоком. Несмотря на большую практическую значимость рассматриваемой диссертантом темы, известные программные комплексы решения задач механики сплошных сред, как правило, не предназначены для численного моделирования рассматриваемой в диссертации задачи, поскольку она содержит малый параметр (отношение среднего размера твердых частиц к размеру обтекаемого тела) и, кроме того, концентрация частиц не достаточна, чтобы к множеству частиц была применима модель сплошной среды (в противном случае, могла быть использована модель двух взаимодействующих континуумов: газа и твердых частиц). Предложенный Способиным А.В. комбинированный подход, в котором для газовой компоненты используется модель сплошной среды, описываемая уравнениями газовой динамики, а для твердых частиц – дискретная модель, в которой движение каждой частицы рассматривается индивидуально на основе уравнений движения для недеформируемых шаров, решает поставленную задачу. Отметим, что ранее численная модель в такой постановке не могла быть реализована из-за ограниченных возможностей вычислительной техники.

Рассмотрение в единой численной модели двух математически разнородных сред (непрерывной и дискретной) требует грамотного описания взаимодействия между этими средами. Диссертант успешно справился с этой задачей, в его модели: коэффициент аэродинамического сопротивления определяется хорошо себя зарекомендовавшим соотношением Хендерсона; учитываются обусловленная вращением сила Магнуса и обратное влияние частиц на течение несущего газа. Принципиально важным достижением работы является учет теплового излучения нагретых в ударном слое частиц, который оказывается существенным для мелкодисперсной примеси. Большой интерес для дальнейшего развития вычислительных методов механики сплошной среды представляет численная модель, построенная в главах 4-6. Эта модель позволяет рассматривать крупные частица, выходящие после отражения за фронт ударной волны и существенно меняющие картину течения всей среды в целом. В этом случае такие крупные частицы рассматриваются в численной модели, как индивидуальные макротела, наряду с основной преградой.

Достоверность научных результатов и выводов диссертации Способина А.В. обусловлена: корректной физико-математической постановкой рассматриваемых задач, использованием современных численных методов, а также сравнением с экспериментальными данными.

Таким образом, диссертационная работа Способина А.В. выполнена на высоком научном уровне, содержит ряд новых результатов, имеющих важное значение для практики. Выводы в диссертации, сделанные на основе полученных расчетных результатов, являются обоснованными и их достоверность не вызывают сомнений. Результаты диссертации неоднократно докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях. Опубликованные в 25 статьях журналов, входящих в перечень ВАК, либо индексируемых в Scopus и/или Web of Science, материалы содержат полную информацию о результатах исследований.

«13» 03 2023

результатах. Приведенная в диссертации библиография отражает современный уровень проблемы. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации (рецензент ознакомился и с диссертационной работой).

В качестве замечаний отметим следующие.

- 1) Хотя автором указывается в работе, что вопросы, связанные с влиянием турбулентности не рассматриваются, но не обосновывается почему. В то же время, по мере продвижения вдоль образующей обтекаемого тела ламинарный поток неизбежно становится турбулентным, кроме того, турбулизации потока способствует наличие в нём твердых нагретых частиц.
 - 2) Не сформулированы граничные условия в задаче переноса теплового излучения.
- Сделанные замечания не изменяют положительной оценки работы Способина А.В. и носят характер пожеланий для дальнейших исследований.

Общая оценка работы. В целом, диссертация Способина А.В. представляет собой законченную **научно-квалификационную работу**, выполненную на актуальную тему и на высоком научном уровне. Достоверность полученных результатов сомнений не вызывает.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Полученные результаты могут быть использованы в практической деятельности научно-исследовательских учреждений, занимающихся разработкой программных расчетных комплексов для решения задач механики многофазных сред: Института прикладной математики имени М. В. Келдыша РАН, Института математического моделирования РАН, Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН и многих других.

Заключение. Диссертационная работа Способина Андрея Витальевича «Численное моделирование обтекания тел сверхзвуковыми потоками с твердыми частицами» полностью удовлетворяет квалификационным требованиям, изложенным в пункте 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г.

Диссертация выполнена на актуальную тему, содержит научную новизну, имеет законченный характер, соответствует паспорту специальности 1.1.9. – «Механика жидкости, газа и плазмы», удовлетворяет требованиям к докторским диссертациям, а ее автор, Способин Андрей Витальевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

Главный научный сотрудник
отдела Экстремальных состояний вещества
ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН,
доктор технических наук по специальности 20.00.14 «Вооружения и военная техника. Комплексы и системы военного назначения», профессор

«1» 03 2023 г.

Острик Афанасий Викторович

e-mail: ostrik@icp.ac.ru

служебный телефон: +7(496-52) 2-52-44, моб. телефон: +7(926) 981-32-43

служебный адрес: 142432, г. Черноголовка, пр. Акад. Семенова, д.1, ИПХФ РАН

домашний адрес: 142432, г. Черноголовка, ул. Коммунальная 3-А, кв.31.

Подпись А.В. Острика заверяю
Ученый секретарь ФИЦ ПХФ и МХ РАН
Доктор химических наук



Б.Л. Психа