



Государственная корпорация
по космической деятельности «Роскосмос»

**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
«ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ИМЕНИ М.В.КЕЛДЫША»
(АО ГНЦ «Центр Келдыша»)**

Онежская ул., д. 8, Москва, Россия, 125438
Тел. +7 (495) 456-4608 Факс: +7 (495) 456-8228
ОКПО 47430587 ОГРН 1217700095667 ИНН/КПП 7743355574 / 774301001
kerc@elnet.msk.ru; http://www.kerc.msk.ru

13.02.23 № 200-06/53

на № _____ от _____

МАИ.

Ученому секретарю
диссертационного совета
24.2.327.08.

доктору физ.-мат. наук
Гидаспову В.Ю.

Волоколамское шоссе, д. 4,
г. Москва, А-80, ГСП-3,
125412

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»

Диссертация посвящена исследованию методами математического моделирования процессов, происходящих в ударном слое у поверхности затупленного тела, обтекаемого сверхзвуковым потоком газа с твёрдыми частицами. Рассматриваются как двухфазные течения с миллионами частиц, так и противоположная ситуация с небольшим числом относительно крупных частиц. **Актуальность** работы обусловлена сложностью воспроизведения в экспериментах ситуаций, с которыми может на практике столкнуться высокоскоростной летательный или спускаемый аппарат, преодолевая атмосферные зоны с примесью частиц в виде песка, снега, вулканической пыли. В этой связи аппарат математического моделирования запылённых потоков позволяет как существенно сократить затраты на проверку стойкости обтекаемой поверхности к разнородному воздействию со стороны запылённого потока, так и детально изучить механизмы происходящих в ударном слое процессов, что определяет высокую **практическую значимость** работы.

Научная новизна диссертации заключается в построении комплексной модели обтекания тела сверхзвуковым потоком, включающую, в том числе, модель эрозионного воздействия примеси на преграду и модель распространения теплового излучения в ударном слое. Оригинальный подход на основе полномасштабного прямого моделирования динамики частиц, который последовательно воспроизводит все столкновения, позволил провести сравнение со статистическими моделями, а также подтвердить важность учёта

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«16» 02 2023г. 1

столкновений в задачах обтекания, которые способствуют рассеянию энергии потока частиц и снижают эрозионное воздействие примеси. Показано, что с ростом концентрации, а также уменьшением частиц в размере экранирующий эффект и влияние примеси на течение газа усиливаются.

Несомненной научной ценностью и новизной отличаются разработанные автором диссертации многомасштабные вычислительные модели движения крупных частиц в сверхзвуковом ударном слое с выходом за его пределы и полученные с их помощью картины течения газа. Эти модели позволяют объяснить механизмы возникновения таких наблюдаемых в экспериментах эффектов, как локальное кратное усиления давления и теплового потока, а также появление колебательного режима течения в случае преграды с плоским торцом.

Отличительной чертой работы является активное использование параллельных вычислений, в том числе, на графических процессорах, что и позволило реализовать прямой подход к моделированию движения частиц, а также расчёт обтекания газом преграды и частиц, многократно различающихся в размерах.

По автореферату диссертации имеются следующие **замечания**:

1. На стр. 9 в уравнении, определяющем теплообмен частицы, не конкретизируется, каким образом вычисляются конвективный и радиационный тепловые потоки.

2. В работе продемонстрирован локальный рост теплового потока на ограниченных участках поверхности вследствие влияния на ударный слой одной крупной частицы. Как ведёт себя при этом интегральный тепловой поток по поверхности и по времени?

3. Из автореферата неясно, учитывается ли в расчетах турбулентность.

Высказанные замечания не меняют общей положительной оценки диссертационной работы. Судя по автореферату, диссертация выполнена на высоком научном уровне. Автореферат написан ясно и последовательно, хорошо проиллюстрирован, структура автореферата соответствует рекомендациям ВАК. Представленные результаты прошли очень хорошую **апробацию** на большом числе научных конференций, соответствующих тематике диссертационной работы. Количество и уровень **публикаций** автора по теме работы соответствуют актуальным требованиям ВАК к докторским диссертациям.

Судя по автореферату, диссертационная работа «Численное моделирование обтекания тел сверхзвуковыми потоками с твёрдыми частицами» соответствует паспорту специальности 1.1.9. – «Механика жидкости, газа и плазмы» и удовлетворяет требованиям ВАК РФ,

