

ОТЗЫВ

**официального оппонента доктора физико-математических наук
Мартыненко Сергея Ивановича
на диссертационную работу Минюшкина Дмитрия Николаевича
«Математическое моделирование изменения формы
метеороидного тела при аэродинамическом нагреве», представленную
на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы»**

Физико-химические процессы, связанные с прохождением метеоритов через атмосферу Земли, представляют не только теоретический, но практический интерес. Особенность данного явления состоит в сложности экспериментальной верификации результатов математического моделирования, поэтому составление и уточнение моделей нагрева, уноса вещества и разрушения метеоритов будет ещё долго привлекать внимание исследователей. Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки эффективного метода расчёта изменения метеоритной формы при движении по траектории в трёхмерной постановке.

Разработка новых методов для решения подобных задач должна быть согласована с достижимой погрешностью вычислений. Постановка задачи об изменении формы метеорита характеризуется большими погрешностями в начальных (исходная форма и состав метеорита, определяющий его механические свойства) и граничных (состояние поверхности) условиях. Ожидаемая погрешность моделирования превышает погрешность начальных и граничных условий, поэтому не следует надеяться, что применение высокоточных численных методов решения уравнений Навье-Стокса вместе с совместным решением задач термического и механического разрушения метеорита приведёт к повышению точности моделирования. Поэтому применение в работе полуэмпирических подходов типа метода эффективной длины не только обосновано, но и позволяет существенно уменьшить объём выполняемой вычислительной работы без существенной потери точности получаемых численных результатов.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«8» 06 2023

В диссертационной работе Минюшкина Д.Н. предложен оригинальный метод расчёта прогрева метеорита и уноса вещества с поверхности в результате аэродинамического нагрева на основе модифицированного метода эффективной длины и решения вспомогательной задачи деформации твёрдого. Использование допущений физического характера позволило автору моделировать тепловые нагрузки и рассчитывать изменение формы тел сложной формы. Оригинальная методика реализована в виде комплекса программ. Научную новизну и теоретическую значимость работы составляют разработанные математические модели физико-химических процессов при прохождении метеоритов через атмосферу Земли и комплексы программ для их реализации. Практическая ценность полученных результатов связана не только с оценкой возможного ущерба от падений крупных метеоритов на Землю, но с возможностью совершенствования отдельных изделий ракетно-космической техники.

Работа состоит из Введения, пяти глав, заключения и приложения.

Во Введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулирована цель и задачи, кратко изложены содержание глав диссертации.

В первой главе представлен обзор результатов исследований в области моделирования уноса материалов метеороидных тел, включая особенности современных комплексов программ для расчёта прогрева и уноса материалов.

Во второй главе представлена модификация метода эффективной длины. Дано описание сегрегированного вычислительного алгоритма с выделением критических областей, сформулированы требования к устойчивости. Результаты валидационных расчётов показали удовлетворительную точность вычислений.

В третьей главе описан метод расчёта уноса материала, представлены результаты тестовых расчётов и выполнен анализ точности вычислений.

В четвертой главе представлен комплекс программ для реализации разработанных автором алгоритмов.

Пятая глава посвящена 3D моделированию изменения формы метеоритного тела с учётом прогрева материала. Продемонстрированы возможности разработанных алгоритмов и комплексов программ.

Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 1.1.9 в части п.9 (физико-химическая гидромеханика (течения

с химическими реакциями, горением, детонацией, фазовыми переходами, при наличии излучения и др.), п.10. (аэродинамика и теплообмен летательных аппаратов) и др.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

По теме диссертации опубликованы 4 статьи, из них 3 статьи в журналах из списка, одобренного ВАК. Работа прошла апробацию – докладывалась на конференциях, в том числе и международных.

Вместе с тем, по работе можно сделать некоторые замечания:

1. Первая глава (аналитический обзор состояния исследования в области моделирования уноса материалов метеороидных тел) не содержит сравнительного анализа математических моделей рассматриваемых физико-химических процессов, а так же комплексов программ для их реализации. Поэтому трудно понять какие задачи с точки зрения автора являются наиболее актуальными, решению которых и должна быть посвящена диссертация.

2. В формуле для коэффициента искусственной вязкости (2.11) квадратный корень извлекают из отрицательного числа.

3. Параграф 2.3 заканчивается словами: «Показано, что при уменьшении характерного размера ячеек (то есть повышении их числа и, соответственно, увеличении ресурсозатратности вычислений) можно повысить качество расчета ламинарного теплового потока в окрестности критической точки». Означает ли это отсутствие «сходимости по сетке» (т.е. слабой зависимости характеристик от параметра дискретизации)?

4. Отдельные фразы в диссертации не проясняют ситуацию, а приводят к дополнительным вопросам. Например, на с. 85 сказано: «Сильное изменение поверхности означает сильное движение точек расчётной сетки, что может привести к ухудшению качества расчётной сетки и сделать её непригодной для расчёта». Следует пояснить:

– Какое изменение кривизны поверхности метеорита автор считает сильным?

– Какую адаптацию вычислительной сетки автор считает сильной?

– Какие характеристики автор использует для оценки качества сетки?

5. Автор часто оперирует терминами, не приводя их определений, что затрудняет понимание работы. Например: лётная характеристика метеоритных тел (с. 4), поверхность метеорита может быть «некачественной» (с. 34), распад пограничного слоя (с. 47), поверхностная сетка формы метеорита (с. 73) и др.

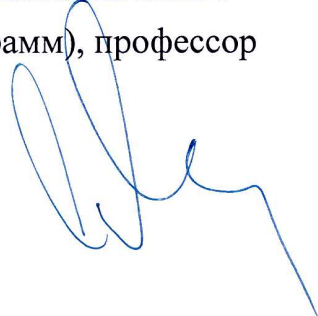
6. Выводы плохо соответствуют поставленным задачам исследования, не содержат количественных параметров, поэтому трудно судить о достижимости цели исследования.

7. В диссертации отмечено чересчур много опечаток.

Отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки работы.

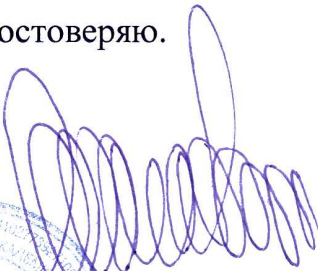
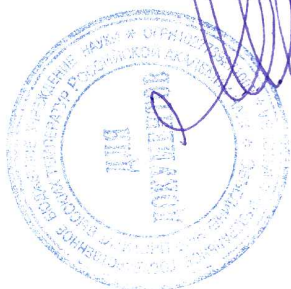
Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям ВАК, в том числе, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор Минюшкин Дмитрий Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Мартыненко Сергей Иванович,
ведущий научный сотрудник Лаборатории №8 (физического моделирования двухфазных течений) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН), д.ф.-м.н. (по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), профессор
Адрес: 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2
Тел: +7(916)9876-079
E-mail: Martynenko@icp.ac.ru, martyn_s@mail.ru



Подпись Мартыненко С.И. удостоверяю.

Заведующий лабораторией,
д.ф.-м.н.
чл.-корр. РАН



05.06.23

А.Ю. Варакин

С отзывом ознакомлен
08.06.23