

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Рощина Антона Сергеевича «Моделирование пространственных течений в газовых трактах с использованием адаптивных сеток», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - механика жидкости, газа и плазмы.

Диссертационная работа Рощина А.С. посвящена созданию численной методики моделирования высокоскоростных потоков в газодинамических трактах воздухозаборных устройств и выхлопных трактах ракетных двигателей с учётом изменения теплофизических свойств газа.

Газодинамические трубы используются как для испытаний высотных ступеней ракетных двигателей в наземных условиях, так и при экспериментальном моделировании условий полёта в верхних слоях атмосферы прямоточных двигательных установок и летательных аппаратов. Течения в воздухозаборных устройствах и газодинамических трубах характеризуются наличием взаимно влияющих друг на друга сложной системы ударных волн и пограничного слоя. Общим физическим принципом работы данного класса устройств является эффективное торможение газового потока в системе ударных волн. Расчёт торможения потока осложнён значительным изменением теплофизических параметров газа вдоль тракта. Повышение требований к точности расчёта таких течений в технических приложениях диктует необходимость совершенствования математических моделей и соответствующего расчетного аппарата. Таким образом, **актуальность** работы Рощина А.С. не вызывает сомнений.

В качестве **научной новизны** можно отметить следующие наиболее существенные результаты работы. Диссертантом предложена TVD модификация метода Годунова для расчёта течения с учётом зависимости теплофизических параметров газа от температуры. Созданы алгоритмы дискретизации расчётной области, заданной криволинейными границами, позволяющие разрешать как особенности течения, так и особенностями геометрии. Было проведено численное и экспериментальное моделирование комбинированного воздухозаборного устройства.

Диссертация Рощина А.С. состоит из 4 глав, заключения и списка литературы.

В первой главе обосновывается актуальность работы, формулируется ее цель, научная новизна и практическая ценность полученных результатов. Далее приводится описание исследуемых в работе течений и методов их расчёта, формируются цели и задачи исследования, показаны практическая значимость, научная новизна и обоснована достоверность полученных результатов.

Во второй главе описываются алгоритмы дискретизации расчётной области при помощи неструктурированных сеток. Вводятся элементарные операции над элементами триангуляции и приводятся алгоритмы увеличения и уменьшения разрешающей способности сетки.

Третья глава посвящена построению физико-математической модели течения сжимаемого газа с учётом изменения теплофизических свойств. Приводятся результаты верификации созданного программного комплекса.

В четвёртой главе приводятся результаты численного и экспериментального моделирования комбинированного воздухозаборного устройства, а так же результаты расчёта процессов запуска и срыва потока в газодинамической трубе.

В заключении диссертации формулируются выводы о проведённой работе.

**Достоверность** полученных результатов подтверждается сопоставлением численных решений и экспериментальных результатов как самого автора, так и других исследователей. Созданная методика позволяет проводить расчеты натуральных двигательных установок, что составляет **практическую значимость** работы.

Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают содержание диссертации. Работа апробирована на Международных научно-технических семинарах и конференциях, и опубликована в научных журналах, рекомендованных ВАК.

В качестве замечаний и недостатков можно указать следующие:

- одной из основных целей диссертации является создание метода численного моделирования с учетом эффектов реального газа. На основе имеющегося программного обеспечения при упрощающем предположении, что газодинамические переменные зависят только от температуры (на самом деле они зависят от давления и температуры), диссертант создал требуемую программу.

Согласно тестовым расчетам для невязкого и вязкого газов, это вносит некоторые дополнительные погрешности в результаты расчетов. В тестовых задачах оценивалась погрешность расчета полей газодинамических переменных путем сравнения с решением по методу Годунова, следовало бы оценить погрешность расчета местных коэффициентов сопротивления трения и теплопередачи, которая больше погрешностей расчета газодинамических переменных;

- диссертантом разработанным методом численного моделирования рассчитано достаточно много задач в различной постановке. Их можно разбить на две группы. Задачи первой группы решены в достаточно большом диапазоне изменения определяющих параметров, содержат обширный расчетный материал и на их примере изучаются процессы, происходящие в движущейся среде. Результаты численного моделирования для задач второй группы носят единичный и иллюстративный характер и служат для верификации численных методов.

- в тексте диссертации и в автореферате не описан процесс вычисления тепловых физических параметров газа;

- некоторые работы из обзора литературы описаны недостаточно полно, не понятна их суть.

Сделанные замечания не снижают общую высокую оценку диссертационной работы. Диссертация Рощина А.С. отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

**Официальный оппонент:**

Начальник научно-исследовательского  
отделения «Исследование Аэротермодинамики  
гиперзвуковых летательных аппаратов и  
объектов ракетно-космической техники»  
ФГУП «Центральный аэрогидродинамический  
Институт имени профессора Н.Е. Жуковского»  
(140180 г. Жуковский, Московская обл.  
ул. Жуковского, 1, тел. 8-495-5564205)

web-сайт <http://www.tsagi.ru>)  
доктор физико-математических наук,  
член-корреспондент РАН  
(тел. 8-495-5564172,  
e-mail: [ivan.egorov@tsagi.ru](mailto:ivan.egorov@tsagi.ru))

Иван Владимирович Егоров

Подпись И.В. Егорова заверяю.  
Ученый секретарь Ученого совета ЦАГИ  
Доктор технических наук, доцент  
С.А. Таковицкий



«05» 12 2014 г.