



ФЕДЕРАЛЬНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО

Федеральное государственное унитарное предприятие
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ» (ФГУП ЦНИИМаш)



ул. Пионерская, д. 4, г. Королёв,
Московская область, 141070

Тел. (495) 513-59-51
Факс (495) 512-21-00

E-mail: corp@tsnimash.ru
http://www.tsnimash.ru

ОКПО 07553682, ОГРН 1025002032791
ИНН/КПП 5018034218/501801001

09.12.14 исх. № 67А-1823
на № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель генерального директора по науке

д.т.н. О.П. Клишев

« _____ » _____ 2014 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Рощина Антона Сергеевича

на тему: «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 А.С. Рощина посвящена созданию методики моделирования высокоскоростных газовых потоков в трактах воздухозаборных устройств, газодинамических труб и соплах, предназначенных для работы на больших высотах.

Актуальность этой проблемы и практическое применение работы связаны с решением сложных научных вопросов газодинамики сверхзвуковых прямооточных двигателей летательных аппаратов и вопросов обработки высотных сопел на наземных стендах.

К новым научным результатам работы относится моделирование запуска и работы комбинированного высокоскоростного воздухозаборного устройства, позволившее оптимизировать его геометрию с целью улучшения интегральных

параметров, расчет параметров запуска и остановки газодинамических труб и расчет отрывных течений в соплах. Предложено точное итерационное решение задачи распада газодинамического разрыва с учетом зависимости теплофизических параметров газа от температуры с реализацией повышенного порядка аппроксимации метода Годунова. Разработан пакет программ численного моделирования газодинамики с собственным алгоритмом построения сеток.

Диссертация состоит из 4 глав.

В **первой главе** обоснована актуальность темы, формулируются цели исследования, дана постановка задачи, определены физические особенности, на которые необходимо акцентировать внимание при проектировании новых и совершенствовании существующих воздухозаборных устройств. Проведен обзор существующих методов расчета и алгоритмов построения неструктурированных расчетных сеток.

Во **второй главе** подробно рассмотрен алгоритм построения неструктурированной расчетной сетки, метод адаптации расчетной сетки к особенностям течения.

В **третьей главе** представлена решаемая система уравнений, модифицированный численный метод типа Годунова с учетом переменного показателя адиабаты при решении задачи распада газодинамического разрыва, описаны используемые граничные условия. Даны результаты методических расчетов и их сравнение с экспериментальными данными и данными расчетов других авторов.

В **четвертой главе** представлены результаты численных и экспериментальных исследований течений в воздухозаборном устройстве для различных режимов и при различных углах атаки. На основании численных расчетов проведена оптимизация геометрии для улучшения характеристик воздухозаборного устройства. Также представлены результаты численного моделирования нестационарных процессов в газодинамических трубах.

В целом, диссертация **Рощина А.С.** представляет собой законченное исследование на одном из важных направлений механики жидкости и газа по моделированию течений в газовых трактах с использованием адаптивных сеток. Автором разработан программный комплекс, проведены расчетно-экспериментальные исследования, выполнено сравнение расчетных данных с результатами численного моделирования, на основании численных расчетов проведена оптимизация характеристик высокоскоростных воздухозаборных устройств, выполнено численное моделирование течений в газодинамических трубах при наземной отработке высотных сопел.

Вместе с тем необходимо отметить следующие недостатки работы:

1. В диссертации применяются неструктурированные расчетные сетки, описаны их преимущества по сравнению со структурированными для задач со сложной геометрией. Вместе с тем указывается о сильной зависимости аппроксимации и получаемом решении от качества расчетной сетки, ориентации граней относительно течения газа. При этом не приведены данные сравнений по двум вариантам сеток, подтверждающие указанные преимущества (сравнения получаемой численной вязкости, различие в количестве порождаемой турбулентной вязкости на скачках).

2. Автор упоминает о применении схемы 3-го порядка аппроксимации по времени, вместе с этим по пространству используемые схемы имеют 2-ой порядок. В работе не обоснована целесообразность такого подхода.

3. Метод пристеночных функций, без разрешения течения в зоне ламинарного подслоя основан на приближенном решении уравнении пограничного слоя в этой зоне, в частности без учета градиентов давления. Его применимость для расчета градиентных отрывных течений автором недостаточно обоснована.

4. На с. 61 в формуле для функции полной вариации существует опечатка.

5. На с. 13 автореферата не понятна формула приближенного решения уравнений пограничного слоя.

Отмеченные недостатки не снижают общего высокого уровня диссертации. Автором получены новые результаты, имеющие научный и прикладной интерес. Результаты работы рекомендуются использовать при создании стендов и наземной отработке ракетных двигателей второй ступени, а также при разработке и оптимизации конструкций воздухозаборных устройств прямоточных двигателей летательных аппаратов в организациях ФГУП "Исследовательский центр имени М.В. Келдыша", ФГУП ЦАГИ имени Н.Е. Жуковского, ФКП "НИЦ РКП", ФГУП ЦНИИмаш, КБхиммаш им. А.М. Исаева, ОАО «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко».

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертация Рощина Антона Сергеевича на тему: «Моделирование пространственных течений в газовых трактах с использованием адаптивных сеток» выполнена на высоком уровне и заслуживает положительной оценки.

Данный отзыв был обсужден и одобрен на заседании подсекции № 1 секции № 2 НТС института, протокол №28 от 27.11.14г.

Начальник центра аэрогазодинамики
и теплообмена д.т.н., профессор

Липницкий Ю.М.

Начальник отдела
газодинамики старта, к.ф.-м.н.

Сафронов А.В.

Начальник сектора, к.ф.-м.н.

3.12.14г.

Кудимов Н.Ф.