

## Отзыв на автореферат диссертации

Гарбарука Андрея Викторовича

«Численное моделирование и анализ устойчивости пристеночных турбулентных течений»,  
представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук  
по специальности 01.02.05 — Механика жидкости, газа и плазмы

Численное моделирование пристеночных турбулентных течений является в настоящее время одной из ключевых и самых сложных задач, возникающих при расчете аэротермодинамических характеристик перспективных летательных аппаратов. Диссертация А.В. Гарбарука посвящена именно этой крайне актуальной теме. В частности, в диссертации представлены новые модификации полуэмпирических моделей турбулентности и гибридных RANS-LES подходов к численному моделированию пристеночных турбулентных течений. Разработаны оригинальная гибридная численная схема и технология реализации зонных гибридных RANS-LES подходов для неструктурированных сеток. Предложенные модели верифицированы на достаточно широком круге течений. С помощью предложенных подходов решены сложные практически значимые течения, в частности, задачи транс- и сверхзвукового обтекания возвращаемого аппарата и отделяемого головного блока пилотируемого космического корабля.

В первой главе диссертации представлен аналитический обзор подходов к моделированию пристеночных турбулентных течений. В частности, обсуждаются возможности и ограничения полуэмпирических моделей турбулентности и анализируются различные гибридные RANS-LES-модели.

Во второй главе приводятся предложенные автором усовершенствованные версии известных RANS моделей турбулентности (SST и SA), которые расширяют их возможности и повышают точность расчетов при моделировании ряда течений. Представлены также результаты их тестирования. Предложены нелинейные модели для учета анизотропии рейнольдсовых напряжений, поправка на кривизну линий тока, модификация модели SST для расчета обтекания аэродинамических профилей, а также поправки к модели SA на осесимметричность потока и низкие числа Рейнольдса.

В третьей главе представлены новые вихререзающие подходы (гибридные RANS-LES подходы) и результаты их тестирования. К предложенным подходам, в частности, относятся оригинальные формулировки DDES- и IDDES-моделей на базе модели турбулентности SST, новые способы ускорения перехода к разрешенной крупномасштабной турбулентности и технология генерации синтетической турбулентности для неструктурированных сеток.

В четвертой главе описаны результаты расчетов с помощью гибридных RANS-LES методов сложных практически значимых течений, таких как обтекание тандема цилиндров, трехэлементного профиля DLR-F15, расчета аэродинамического шума. В этой главе представлены новые результаты расчетов трансзвукового обтекания возвращаемого космического аппарата, обтекания космической головной части корабля на участке выведения и пилотируемого космического корабля при аварийном отделении головного блока от ракеты-носителя.

Пятая глава посвящена разработке и тестированию методов глобального линейного анализа устойчивости стационарных решений уравнений Рейнольдса, а также их применению для предсказания трансзвукового бафтинга крыла.

Актуальность темы диссертации обусловлена потребностью многих отраслей промышленности в надежных данных по характеристикам турбулентных течений. Поэтому проблема повышения точности и надежности их расчета, на решение которой направлены исследования, представленные в диссертации, является одной из наиболее важных и злободневных проблем теоретической и вычислительной механики жидкости и газа.

Научная новизна работы состоит в разработке оригинальных модификаций полуэмпирических моделей турбулентности для пристеночных течений, усовершенствовании гибридных вихререшающих RANS-LES подходов к моделированию турбулентности.

Достоверность результатов работы подтверждена обширными верификационными расчетами.

Практическая значимость диссертационной работы автора состоит, в частности, в возможности использования ее результатов для численных исследований дозвуковых-сверхзвуковых режимов обтекания проектируемых пилотируемых космических аппаратов нового поколения и прогнозирования их аэродинамических характеристик с целью сокращения сроков и повышения информативности анализов и уменьшения (оптимизации) объемов дорогостоящих модельных экспериментальных исследований в аэродинамических трубах.

Работы автора широко обсуждались на многочисленных конференциях и достаточно подробно освещены в публикациях автора, 18 из которых опубликованы в изданиях из "Перечня российских рецензируемых научных журналов" (ВАК), 39 в изданиях, реферируемых WoS или Scopus.

По автореферату можно сделать следующее замечание, которое не снижает общего положительного впечатления от работы, а может быть рассмотрено как пожелание к дальнейшим исследованиям:

А именно, при анализе устойчивости решений уравнений Рейнольдса не рассмотрены сценарии, связанные с немодовой неустойчивостью (Theferthen L.N. Hydrodynamic Stability without Eigenvalues// Science -1993.- v. 261 - N 5121. - pp. 578-584. Бойко А.В., Довгаль А.В., Сорокин А.М. Немодовое нарастание стационарных возмущений ламинарного течения в зоне отрыва пограничного слоя // Теплофизика и аэромеханика. 2011. Т. 18, № 1. С. 109–115.)

В целом, судя по автореферату, диссертация А.В.Гарбарука выполнена на высоком научном уровне, является законченной научно-квалификационной работой и удовлетворяет требованиям п.п. 2.1 -2.8 Положения о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО СПбПУ (в действующей редакции), предъявляемым к докторским диссертациям.

Автор диссертации, Гарбарук Андрей Викторович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

27.11.2020

Начальник отдела аэрогазодинамики и теплообмена  
ПАО «РКК «Энергия»,

Михайлов Максим Викторович

Главный научный сотрудник отдела аэрогазодинамики и  
теплообмена ПАО «РКК «Энергия»,

доцент, доктор физико-математических наук

Алексеев Алексей Кириллович

ПАО "Ракетно-космическая корпорация "Энергия" имени С.П. Королёва"  
(ПАО "РКК "Энергия")

Адрес: 141070, Королев, Московская обл., ул. Ленина, д. 4А

Телефон: 8 (495) 513-86-55, e-mail: post@rsce.ru

Адрес официального сайта организации: www.energia.ru

Подпись Алексева А.К. заверяю

Ученый секретарь ПАО «РКК «Энергия», кандидат физико-математических наук



Хатунцева Ольга Николаевна