

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

В диссертации А.В. Гарбарука представлены модификации полуэмпирических моделей турбулентности и гибридных RANS-LES-моделей, оригинальный гибридный численный метод, способ генерации синтетической турбулентности и новый подход к линейному анализу устойчивости решений уравнений Рейнольдса. С помощью этих инструментов решен широкий круг задач, от базовых верификационных тестов до сложных практически значимых течений, таких, как обтекание возвращаемого космического аппарата.

В первой главе диссертации автор делает обзор подходов к расчетам течений с пристеночной турбулентностью. Обсуждаются возможности и ограничения полуэмпирических моделей турбулентности. Сравниваются гибридные RANS-LES-модели, формулировки подсеточного масштаба длины и RANS-модели, служащие базой для гибридного подхода. Рассматриваются вопросы, возникающие при зонном применении RANS-LES-моделей, в первую очередь, способы генерации нестационарных возмущений на входе в зону LES.

Во второй главе автор формулирует усовершенствованные версии известных моделей турбулентности SST и SA, предлагая оригинальные способы учета эффектов анизотропии напряжений, кривизны линий тока, низких чисел Рейнольдса, поправки для предотрывных режимов полета и осесимметричных течений. Положительное влияние модификаций демонстрируется в серии расчетов подходящих задач.

В третьей главе предложены оригинальные формулировки DDES- и IDDES-моделей на базе модели турбулентности SST, новые способы ускорения перехода к разрешенной крупномасштабной турбулентности (σ -DDES и подсеточный масштаб Δ_{SLA}) и технология генерации синтетической турбулентности с помощью объемных источников. Разработана новая численная схема с весовой функцией, обеспечивающей переключение между центрально-разностной схемой в областях с разрешенной турбулентностью и схемой BCD в остальной части расчетной области. Представленные разработки систематически изучены в серии стандартных отрывных тестовых случаев.

В четвертой главе описаны результаты расчетов сложных практически значимых течений: обтекание тандема цилиндров, трехэлементного профиля DLR-F15, аэроакустический расчет модельной конфигурации «крыло-закрылок», три расчета аэрокосмических аппаратов на различных режимах полета и рекордный для России расчет продольного обтекания цилиндра с осесимметричным утолщением на сетке 8.3 миллиарда узлов с помощью зонного RANS-DNS-IDDES-подхода.

Пятая глава посвящена разработке и применению методов линейного анализа устойчивости стационарных решений уравнений Рейнольдса. Автор использует варианты модели турбулентности SA и демонстрирует работоспособность метода в серии задач, начиная с

верификационного «ламинарного» теста развития неустойчивости Толлмина–Шлихтинга и заканчивая определением параметров начала трансзвукового бафтинга крыла.

Выбранная тема диссертации обладает несомненной актуальностью, связанной с необходимостью повышения точности расчетов турбулентных течений во многих областях техники. Научная новизна работы заключается в модификациях RANS- и гибридных RANS-LES-моделей, которые расширяют область их применимости и надежность работы; в низкодиссипативной численной схеме, сохраняющей устойчивость на сетках сложной геометрической конфигурации; в новых данных о физике сложных пристеночных течений; в зонном RANS-DNS-IDDES-подходе; в новом линейном анализе устойчивости турбулентных течений на базе уравнений Рейнольдса. Приведенные в автореферате сведения позволяют судить о достоверности результатов исследования. Работа имеет практическую значимость: полученные результаты могут применяться при расчетах широкого класса турбулентных пристеночных течений с получением более надежных, чем в RANS, данных по средним и пульсационным характеристикам потока.

Важным достоинством работы является то, что предложенные в ней методы уже сейчас успешно используются в нескольких научных группах и доказали свою эффективность и пригодность к практическому применению. Автор находит тонкий баланс между детальностью физической модели и удобством ее реализации, ориентируясь на практическую необходимость в высокоточных инструментах для приближенных к практике сценариев использования. На высоте логическая связность работы и ясность изложения. По автореферату можно сделать следующие замечания:

1. Автор уделяет много внимания усовершенствованиям полуэмпирических моделей турбулентности, касаясь, судя по автореферату, только моделирования турбулентных потоков импульса (напряжений Рейнольдса). На практике часто возникают задачи с теплообменом, при этом уточнению моделей турбулентных тепловых потоков внимание в работе не уделено.
2. При чтении автореферата складывается впечатление, что гибридная RANS-LES-модель и численный метод — почти независимые вещи: например, в разделе 3.1 автор модифицирует модели семейства DES и говорит об их точности, и только после этого в разделе 3.2 формулирует численную схему. В вихреразрешающих расчетах *система уравнений и численный метод неразрывно связаны в единую математическую модель течения*. Модификация любой из этих компонент может влиять на результат расчета. Изменение численного метода, как правило, требует перекалибровки коэффициентов модели. К сожалению, мысль о том, что численный метод является частью подхода LES, не звучит в автореферате явно.
3. В главе 5 линейный анализ устойчивости делается на базе модели турбулентности SA. Вызывает сомнения, что простая однопараметрическая модель турбулентности способна к корректному описанию развития нестационарных возмущений.

4. В автореферате не приводятся количественных сравнений моделей и методов. Неясно, например, является ли модель σ -DDES на основе SST более предпочтительной, чем SST-DDES с подсеточным масштабом Δ_{SLA} . Недостаточно конкретно определены области применимости предлагаемых моделей и методов.
5. Выводы из работы заменены результатами, которые, в сущности, повторяют вводную часть текста.

Высказанные замечания не критичны. Представленный автореферат позволяет заключить, что диссертация А.В. Гарбарука 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.

Заместитель начальника отделения ФГУП ЦАГИ
д.т.н., профессор

Босняков Сергей Михайлович

Старший научный сотрудник ФГУП ЦАГИ
к.ф.-м.н.

Трошин Алексей Игоревич

Подписи С.М. Боснякова и А.И. Трошина заверяю.

Ученый секретарь диссертационного совета

Д403.004.01

д.ф.-м.н., доцент



Брутян Мурад Абрамович

«17» ноября 2020 г.

Государственный научный центр

Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского»

Адрес: 140180, Московская обл., г. Жуковский, ул. Жуковского, д. 1

Телефон: 8 (495) 556-43-03

e-mail: info@tsagi.ru

Босняков Сергей Михайлович

Телефон: 8 (495) 556-35-87

e-mail: bosnyakov@tsagi.ru

Трошин Алексей Игоревич

Телефон: 8 (495) 556-34-42

e-mail: aleksey.troshin@tsagi.ru