

Отзыв
официального оппонента на диссертационную работу
Гарбарука Андрея Викторовича
«Численное моделирование и анализ устойчивости
пристеночных турбулентных течений»,
представленную на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

Моделированию пристеночных течений посвящено огромное число работ. Это вызвано с одной стороны большим прикладным значением данной проблемы, с другой стороны ее сложностью. Таким образом, тема диссертации безусловно является актуальной.

Диссертация А.В. Гарбарука состоит из 5 глав и Заключения. Первая глава является обзорной. Она посвящена методам исследований пристеночных турбулентных течений на основе уравнений Рейнольдса (RANS) и на основе гибридных моделей RANS-LES. Большое внимание в обзоре уделяется подходу DES, который является одним из наиболее популярных при исследовании отрывных турбулентных течений и к развитию которого имеет непосредственное отношение сам соискатель. В целом, обзор является достаточно полным, представляет точку зрения автора на изучаемую проблему и читается с большим интересом.

Во второй главе диссертации излагаются модели RANS, в развитие которых существенный вклад внес соискатель. Рассматриваются модели BSL E:ARSM и нелинейная версия k- ω SST модели (модель SST NL). Модификации моделей направлены на повышение их точности при моделировании анизотропных

течений, поскольку обе модели ориентированы на моделирование течений с сильной анизотропией рейнольдсовых напряжений при значительной нелокальности течения. Примечательно, что обе модели были реализованы в коммерческом коде ANSYS FLUENT. Там же приводятся модификации широко распространенных моделей SA и SST, направленные на расширение их области применимости.

В Главе 3 изложены результаты соискателя в области применения гибридных моделей RANS-LES. Здесь основные результаты автора связаны с модификациями моделей DDES и IDDES на основе $k-\omega$ SST модели. Продемонстрировано, что предложенная модель SST σ -DDES обеспечивает значительное ускорение формирования турбулентных структур в отрывных слоях смешения. Предложена эффективная реализация одностадийного зонного подхода RANS-LES с использованием объемных источников для генерации искусственной турбулентности на границе сопряжения двух моделей. Следует отметить, что в каждой из Глав 2 и 3 предложенные модификации моделей и алгоритмов убедительно подкреплены многочисленными тестами и всесторонним физическим анализом. В данной главе также предложена новая гибридная схема для аппроксимации невязких потоков. Схема одновременно обеспечивает устойчивость алгоритма и высокую точность разрешения турбулентных вихревых структур.

Глава 4 посвящена изложению применения подходов, разработанных в предыдущей главе, к моделированию сложных пристеночных течений. Рассмотрено поперечное обтекание тандема цилиндров и многоэлементных аэродинамических профилей, включая профиль DLR-F15. Особо следует отметить моделирование трансзвукового возвращаемого космического

аппарата. Получены поля турбулентных пульсаций около капсулы возвращаемого космического аппарата, а также данные о нестационарных нагрузках на поверхность аппарата. Данные результаты востребованы практическими организациями и являются уникальными. Расчеты взаимодействия пограничного слоя со скачком уплотнения проведены с помощью разработанного подхода RANS-DNS-IDDES на расчетной сетке с 8.3 миллиардом узлов, что является рекордным в отечественных условиях.

Заключительная глава диссертации посвящена исследованию линейной устойчивости ламинарных и турбулентных течений. В отличие от классических подходов Орра-Зоммерфельда и Жигулева, автор, совместно с Кроучем, исследует линейную устойчивость по отношению к уравнениям Рейнольдса. Этот подход выглядит несколько неожиданным, т.к. неясно почему уравнения Рейнольдса вообще применимы для анализа развития нестационарной устойчивости. По-видимому, обсуждению этого вопроса стоило уделить несколько большее внимание. Исследовано также развитие волн Толлмина-Шлихтинга в случае ламинарных течений. Рассмотрены устойчивость ламинарного обтекания прямоугольной каверны на плоской поверхности, устойчивость слоя Экмана и стационарного поперечного обтекания цилиндров постоянного и переменного диаметра. Впервые получены некоторые условия возникновения трансзвукового бафтинга на прямых и стреловидных крыльях.

Полученные результаты находятся на уровне последних мировых достижений на момент их опубликования. Автор принадлежит к Школе Лойцянского-Лапина-Стрельца по моделированию и изучению турбулентных процессов, имеющей многолетнюю мировую известность. Он обладает богатым опытом работы мирового уровня. Ряд работ автора широко

используются другими исследователями. Квалификация автора не вызывает сомнений. Соискатель несомненно внес значительный вклад в развитие методов моделирования пристеночных турбулентных течений.

По тексту диссертации имеется ряд незначительных замечаний:

1. с.11: 4-я строка снизу. Должно быть: HE превышают размер фильтра.
2. С. 50 наибольшее – должно быть два e.
3. В Главе 5 почему-то совершенно не отражены работы отечественной школы Жигулева, Федорова и др.
4. При описании подходов к разрешению области сопряжения RANS-LES ничего не сказано о влиянии некоммутативности операторов производной и осреднения по пространству.
5. Корректнее называть всех авторов при упоминании работы. Например, ссылка на статью [371] на с. 202.
6. Автор имеет множество совместных публикаций, что вполне объяснимо, но хотелось бы видеть личный вклад там, где это возможно. Не вызывает сомнений, что вся практическая реализация с такими соавторами как Спаларт, Менгер и Кроуч принадлежит автору. Реализация крайне важна, но вклад в идейную составляющую для докторской диссертации является несомненно важным фактором и стоило бы его указать.

Вышеприведенные замечания никак не изменяют общей положительной оценки диссертации Гарбарука Андрея Викторовича, которая является законченной научно-квалификационной работой, имеет большое практическое значение для науки и техники и полностью соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО СПбПУ в действующей редакции. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Диссертация написана на высоком научном уровне, а ее автор,

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

Официальный оппонент



С.В. Утюжников

Заведующий лабораторией математического моделирования нелинейных процессов в газовых средах МФТИ, д.ф.-м.н., профессор 23.10.2020



С.В. Утюжникова