

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Клюева Никиты Андреевича
на тему «Моделирование турбулентных течений с применением пенализированных
пристеночных функций», предоставленной на соискание степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ»

В диссертационной работе Клюева Н.А. рассматривается актуальная задача повышения эффективности численного моделирования турбулентных течений в рамках подхода RANS за счёт снижения требований к разрешению расчётной сетки в пристеночной области. Тема исследования имеет важное прикладное значение для задач вычислительной аэродинамики, где высокая стоимость расчётов с разрешённым вязким подслоем остаётся одним из главных ограничений при проведении инженерных расчетов.

Автореферат содержит последовательное и логичное изложение разработанной автором методики моделирования турбулентных течений с применением оригинального метода пенализированных пристеночных функций (ППФ).

В работе предложены новые алгоритмы динамической адаптации положения точки сшивки, расширяющие применимость метода ППФ на течения с неблагоприятным градиентом давления и отрывом потока. Разработанные алгоритмы учитывают локальное разрешение сетки и градиенты давления. Для повышения устойчивости расчётов на неструктурированных сетках разработан подход на основе введения анизотропной искусственной вязкости в уравнение для скорости трения.

Метод ППФ со всеми модификациями реализован в программном комплексе NOISEtte с использованием технологий гибридного параллелизма (MPI+OpenMP). Разработанная методика верифицирована на широком классе тестовых задач: безградиентное и отрывное обтекание пластины, течение в канале с трёхмерной выпуклостью, обтекание профиля NASA 0012, расчёт модели самолёта CRM-HL. В ходе верификации полученные результаты сопоставлены с расчётами на сетках с разрешённым вязким подслоем без применения методов пристеночных функций, а также с доступными экспериментальными данными.

Основные результаты опубликованы в 3 рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК, два из которых индексируются в международных базах данных Scopus и Web of Science, и представлены на профильных конференциях.

Вместе с тем, по тексту автореферата можно высказать следующие замечания:


1. В тексте автореферата часто встречается выражения «точка сшивки», «область сшивки». Эти понятия при использовании сеточных функций обычно не применяются. Суть сеточных функций сводится к тому, чтобы правильно описать трение на стенке при использовании грубых сеток. В зависимости от конкретной реализации меняются значения параметров течения в одной точке: либо на стенке, либо в центре фиктивной ячейки. Для определения указанных значений используются параметры потока около стенки и приближенные выражения для скорости трения. В этом случае никакой сшивки не нужно. Также не требуется интерполяция, если используются сетки, совпадающие со стенками. Из автореферата трудно понять, что такое сшивка и почему она необходима.
2. Использование ППФ требует решения дополнительного уравнения специального вида в частных производных. Неясно, как оно себя будет вести в процессе численного решения. Какие для него нужны граничные условия, каковы размеры области/областей, в которой/которых оно решается. Скорость трения нужна только около стенки. Является ли точка сшивки границей области, в которой решается дополнительное уравнение? Насколько возрастает время счета при использовании ППФ?

3. Полученный автором результат, что решение перестает зависеть от размеров ячеек расчетной сетки при использовании ППФ является спорным, поскольку есть понятие сеточной сходимости. И действительно, решение разностных уравнений зависит от размеров будет зависеть от размеров ячеек сетки. В дальнейших работах автору диссертации можно рекомендовать найти объяснение полученному результату.
4. При описании результатов разделов 5.1 и 5.2 автор не указывает количество ячеек сетки по координатным направлениям и не приводит рисунок сетки в продольном направлении. Граничные условия также описаны очень скудно. Например, непонятно, присутствует ли турбулентная вязкость в набегающем потоке. Если нет, то она может возникать только при реализации условия функции стенки. На рис. 4 на верхней стенке не указано, какое граничное условие используется. А от него будет зависеть решение.
5. При описании положений, выносимых на защиту, автору следовало бы больше уделить внимания на стилистику.

Указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общей положительной оценки работы. Диссертационная работа Клюева Н.А. является завершённым научным исследованием, соответствует паспорту специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а её автор, Клюев Никита Андреевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Я, Любимов Дмитрий Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Клюева Никиты Андреевича, и их дальнейшую обработку.

Заместитель директора центра информационных
и суперкомпьютерных технологий
ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова»,
доктор физико-математических наук

15.05.2026 

Любимов Дмитрий Александрович

Подпись Д.А. Любимова заверяю

Ученый секретарь ФАУ «ЦИАМ им. П.И.
Баранова», доктор экономических наук,
доцент



Джамай Екатерина Викторовна

Печать института

Государственный научный центр Федеральное автономное учреждение «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова»

Адрес: 121116, город Москва, Авиамоторная улица, 2

Email: ad@iam.ru

Сайт: <http://ciam.ru>

Тел 8(495)3616638