

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Ключева 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»

Диссертационная работа Ключева Н.А. посвящена актуальной проблеме численного моделирования турбулентных течений, а именно разработке эффективных методов, позволяющих снизить вычислительные затраты при сохранении приемлемой точности. Несмотря на интенсивное развитие вычислительной техники численное решение осреднённых по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (RANS) остаётся достаточно ресурсоёмким в ряде промышленных приложений, например, при параметрических исследованиях или численной оптимизации облика летательного аппарата. Ресурсоёмкость обуславливается строгим требованием к пристеночному разрешению расчётной сетки ($y^+ \leq 1$) для проведения корректного моделирования, которое может быть снижено за счёт применения методов пристеночных функций. Автор сосредоточился на развитии перспективного сравнительно нового метода пенализированных пристеночных функций (ППФ), который позволяет преодолеть недостатки традиционных методов пристеночных функций.

В рамках работы автором предложен новый метод адаптации положения точки сшивки (метод ППФр), учитывающий градиент давления, что позволяет повысить точность моделирования в областях отрыва и присоединения потока без ручной настройки параметров под конкретную задачу. Также разработан подход к повышению устойчивости численного решения на неструктурированных сетках за счёт введения искусственной анизотропной вязкости в уравнение для скорости трения. Важно отметить, что все предложенные модификации реализованы в программном комплексе NOISEtte с использованием технологий распараллеливания для расчётов на суперкомпьютерах и верифицированы на широком круге тестовых задач, от плоской пластины до обтекания модели самолёта с посадочной механизацией крыла (CRM-HL), где продемонстрирована возможность применения расчётных сеток с существенно увеличенным пристеночным шагом ($y^+ \sim 20-100$) без значительной потери точности (до 3%) в интегральных характеристиках. Это демонстрирует высокий потенциал метода для инженерной практики.

Вместе с тем, к автореферату можно сделать следующие замечания:

1. В тексте не приведены количественные оценки вычислительной эффективности метода ППФ с точки зрения экономии машинного времени по сравнению с традиционными методами пристеночных функций. Было бы интересно увидеть сравнение времени счёта до достижения сходимости для различных подходов в рамках моделирования обтекания модели самолёта.

2. При описании метода адаптации положения точки сшивки ППФр значения параметров C_{pt} и C_{pn} указаны как подобранные для конкретной задачи обтекания профиля NASA 0012. Однако не обсуждается, насколько эти значения универсальны для других классов задач и других параметров течения, например, числа Рейнольдса.

3. В работе используется модель турбулентности Спаларта–Аллмараса. Было бы интересно увидеть обсуждение перспектив применения метода ППФ с другими, более сложными моделями (например, $k-\omega$ SST), особенно для отрывных течений.

Указанные замечания носят частный характер и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы. Диссертационная работа Ключева Н.А. представляет собой законченное научно-квалификационное исследование, полностью соответствующее

критериям, установленным в п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.). Автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Я, Босняков Игорь Сергеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Клюева Никиты Андреевича, и их дальнейшую обработку.

Начальник отдела 4 НИО-2 ЦАГИ
Кандидат физико-математических наук
Босняков Игорь Сергеевич

Баш 26.08.16

Федеральное автономное учреждение «Центральный
аэрогидродинамический институт имени профессора
Н.Е. Жуковского»
Россия, 140180, Московская обл., г. Жуковский,
ул. Жуковского, д. 1, ФАУ «ЦАГИ»,
+7-495-556-41-21

Подпись начальника отдела Боснякова И.С. удостоверяю:
Учёный секретарь диссертационного совета ФАУ ЦАГИ,
Доктор физико-математических наук
Брутян Мурад Абрамович

