


«УТВЕРЖДАЮ»

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Московский государственный
университет имени М.В. Ломоносова»

Проректор МГУ д.ф.м.-н. профессор

 Федянин А.А.

« 30 » сентября 2014 г.



Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Чепрасова Сергея Александровича «Разработка модели турбулентности и исследование особенностей моделирования течения и шума струй со скачками уплотнения на основе методов RANS и LES», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 (механика жидкости, газа и плазмы)

Актуальность избранной темы

Работа Чепрасова С.А. посвящена актуальной проблеме моделирования турбулентных струй сжимаемого газа. Цель представленной работы состоит в усовершенствовании известных методов численного моделирования характеристик струйных течений со скачками уплотнения на основе уравнений Рейнольдса (RANS) и Навье-Стокса с отдельным

моделированием крупномасштабной и мелкомасштабной (подсеточной) турбулентности (LES). Аккуратный расчет струйного течения и генерируемого им шума – актуальная научная и практическая задача, связанная со снижением шума и уровня токсичности выхлопных газов авиационных двигателей. Экологические характеристики авиационного транспорта в настоящее время являются важнейшими показателями, определяющими его конкурентоспособность на мировом рынке и возможность эксплуатации на международных авиалиниях.

В работе решаются две основные задачи, одна из которых состоит в повышении точности моделирования турбулентных струй на основе RANS, другая заключается в усовершенствовании методики LES при расчете шума, генерируемого струями выхлопных газов.

Новизна исследования и полученных результатов

Многочисленные расчеты, проведенные на основе LES моделирования, показывают, что в области взаимодействия падающего скачка уплотнения с турбулентным слоем смешения напряжения Рейнольдса и турбулентная вязкость резко возрастают, а корреляция пульсаций давления и дивергенции скорости знакопеременна, что не учитывают существующие полуэмпирические модели турбулентности. Для более корректного описания указанного взаимодействия на базе RANS в работе предлагается использовать два разных, но связанных между собой коэффициента турбулентной вязкости: один в уравнениях движения, второй в уравнении для турбулентной вязкости. Связь между ними задается конкретной функцией двух безразмерных параметров осредненного потока: числа Маха и коэффициента скоростного напора.

Для решения проблемы, связанной с расчетом шума от авиационных двигателей в работе предлагается уровень начальной турбулентности внутри сопла задавать с помощью внесения в поток искусственных элементов, генерирующих турбулентность.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования

Проведенные расчеты и их сравнение с известными экспериментальными данными показывают, что предложенная модификация полуэмпирических моделей турбулентности позволяет повысить точность RANS расчетов сложных струйных течений со скачками уплотнения, характерных для выхлопных струй авиационных двигателей современных гражданских самолетов. Задание начальной турбулентности во внутренней полости сопла с помощью турбулизаторов позволяет повысить точность и эффективность методики LES в условиях массовых расчетов шумовых характеристик авиационных двигателей, проводимых в конструкторских бюро.

Обоснованность и достоверность результатов

Обоснованность и достоверность полученных результатов численного моделирования подтверждается тем, что большая часть из них сопоставляется с экспериментальными данными, а также с результатами расчетов других авторов. Достоверность проверяется также путем сравнения различных версий программы ANSYS Fluent.

Оценка содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 96 наименований. Во введении представлен обзор литературы по теме диссертационной работы, обоснована актуальность темы, ее научная и практическая значимость, сформулированы цели и основные задачи исследования. Кратко излагается содержание.

Первая глава содержит описание методов численного моделирования течения и шума, которые применяются в диссертационной работе. Соискатель демонстрирует свободное владение знаниями в области турбулентных струйных течений и подходами к решению проблем их численного моделирования. Им, в частности, дополнен набор моделей турбулентности, имеющийся в прикладном пакете ANSYS Fluent: в пакет встроена модель Nut-92.

В этой главе обоснован также выбор задач для тестирования существующих моделей турбулентных струйных течений со скачками уплотнения.

Во второй главе тестируется несколько современных полуэмпирических моделей турбулентности. Установлено, что ни одна из них не способна удовлетворительно описывать взаимодействие падающего скачка уплотнения с турбулентным слоем смешения на основе RANS. В работе показано, что особенности этого взаимодействия связаны с резким ростом напряжений Рейнольдса и турбулентной вязкости, а также переменностью знака корреляции пульсаций давления и дивергенции скорости. Соискателем предложена и апробирована модификация полуэмпирической модели Nut-92, которая позволяет учесть обнаруженные особенности струйных течений со скачками уплотнения и повысить точность их численного моделирования на основе уравнений Рейнольдса.

Третья глава посвящена анализу возможностей метода LES для проведения массовых расчетов шума, генерируемого струями выхлопных газов авиационных двигателей. На примере четырех струйных течений дается оценка погрешности данных по уровню и спектру генерируемого шума, полученных на «грубых» (5-8 млн. ячеек) сетках. При этом основные трудности возникают при описании турбулентности внутри сопла и вблизи его среза. Соискателем разработан приближенный подход к моделированию турбулентности в пограничном слое и внутри сопла с внесением в поток искусственных турбулизаторов. Проведенный автором анализ показывает, что, несмотря на развитие вычислительной техники и использование миллиардных расчетных сеток, в ближайшем будущем не удастся полностью решить проблемы моделирования турбулентности у среза сопла.

В заключении кратко сообщается о разработанной модификации полуэмпирических моделей турбулентности, которая позволяет повысить точность расчета струйных течений со скачками уплотнения методом RANS,

а также об авторском методе турбулизаторов для задания начальной турбулентности внутри сопла при расчете шума струй на основе LES.

Автореферат диссертации соответствует основным положениям диссертации.

Основные недостатки связаны с изложением материала.

1. Текст написан исключительно для специалистов, занимающихся численным моделированием струйных течений. Отсутствует, в частности, постановка задач со строгим описанием граничных условий для затопленной струи и струи в спутном потоке, как и список определяющих параметров и искомых интегральных характеристик в исследуемых струйных течениях. О расчетной сетке в пристеночной области кратко сообщается, что $Y^+ = 10-50$, без каких-либо пояснений. Нет ясности даже в определении такого важного параметра струйных течений, как число Рейнольдса (глава 2). Такой стиль изложения затрудняет прочтение диссертации и возможность критически оценивать полученные результаты специалистами смежных разделов газовой динамики.
2. Оценка работоспособности численных схем, используемых для расчета струйных течений, а также методики расчета шумов, генерируемых струйными течениями в разделах 1.2 и 1.3, опирается исключительно на численные результаты автора без ссылки на опыт других исследователей.
3. При расчетах шума, генерируемого струями выхлопных газов (глава 3), не показана сходимость результатов при измельчении расчетной сетки, что, по-видимому, связано с ограниченностью доступных вычислительных ресурсов.
4. Каждая глава сопровождается выводами, имеющими отношение к усовершенствованию расчетных методик. Однако в заключении

хотелось бы получить собранные воедино четкие рекомендации по использованию различных моделей турбулентности для расчета струйных течений в условиях реальных полетов. В конце третьей главы следовало бы также изложить оптимальную последовательность расчета шума, генерируемого выхлопными струями.

5. В работе отсутствуют практические рекомендации по снижению уровня шума авиационных двигателей.

Несмотря на отмеченные недостатки и высказанные в пунктах 4 и 5 пожелания, работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени.

Академик РАН, гл.н.с.

А.Г. Куликовский А.Г. Куликовский

Д.т.н., в.н.с.

В.Г. Луцник В.Г. Луцник

Д.ф.-м.н., в.н.с.

Ю.В. Туник Ю.В. Туник

Отзыв на диссертацию С.А. Чепрасова обсужден и одобрен на Секции по аэромеханике Совета НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова (Протокол № 392 от 29.09.2014).

Зам. председателя Секции по аэромеханике
Совета НИИ механики МГУ,
зам. директора, д.ф.-м.н.

Н.А. Остапенко



Н.А. Остапенко
Секция по аэромеханике
Курсусский 14