

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Виктора Александровича Шорстова “Разработка метода расчета шума элементов авиационных силовых установок с использованием зонного RANS-IDDES подхода”, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. (01.02.05) – Механика жидкости, газа и плазмы.

Разработка новых образцов авиационной техники требует создания инструментария для всестороннего исследования изучаемых явлений, к которым, в частности, относится и проблема борьбы с шумом, возникающим вследствие развития турбулентности в газодинамических потоках. Экспериментальные исследования здесь весьма ограничены по информативности. Поэтому актуальной задачей, связанной с исследованием явлений, сопровождающих турбулентные течения, является разработка наиболее полных расчетных моделей.

Диссертационное исследование Виктора Александровича Шорстова посвящено разработке расчетной методологии описания акустических явлений и применение ее для моделирования шума элементов авиационных силовых установок с целью определения управляющих параметров и способов уменьшения шума.

Структура диссертации включает введение, пять глав, заключение и список литературы. Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены основные цели и направления исследований, приводится обзор литературы по теме исследования. На защиту выносятся три положения.

Первая глава посвящена разработке численной методики. В качестве отправной точки при построении методики была выбрана явная схема Рунге-Кутты третьего порядка точности и ее вариант MP5 применительно к решению уравнений газовой динамики на структурированных сетках. Автором для увеличения счетного шага предложен неявный вариант этой схемы. Для сокращения числа операций и повышения эффективности вычислений на параллельных ЭВМ предложена неявная аппроксимация к расчету потоков по одному либо двум направлениям. Для повышения разрешающей способности схемы построен алгоритм одномерной реконструкции «предраспадных» параметров по полиному четвертой степени на пятиточечном шаблоне. Численное определение потоков проводится по

противопоточной схеме Ro_y . Для уменьшения диссипативной ошибки за счет введения коэффициента усреднения центрально разностной и противоположной схем автором предложена модификация ограничения этого коэффициента в зависимости от структуры потока. В заключение главы разработан зонный подход для описания турбулентности.

Во второй главе проводится исследование и калибровка построенной методики и зонного подхода на задачах о распаде изотропной турбулентности и развитии турбулентности в плоском канале.

Третья глава посвящена разработке технологии WMLES расчетов, включающей использование пристеночных функций и увеличение поперечного шага сетки до уровня продольного в WMLES. Эта технология проверена на модельной задаче о развитом турбулентном течении в плоском канале и позволила существенно уменьшить число ячеек расчетной модели при сохранении точности получаемых результатов.

Четвертая глава посвящена валидации созданной расчетной методологии на задачах, имеющих экспериментальную информацию, и путем сравнения с результатами, полученными по другим CFD кодам. Отмечается, что полученные результаты находятся в соответствии с известными экспериментальными данными и с расчетными данными, полученными в работах, выполненных ведущими специалистами по вихреразрешающим расчетным технологиям.

Результаты, представленные в первых четырех главах, полностью обосновывают первое и второе положения, выносимые на защиту.

Пятая глава посвящена практическому применению разработанной методологии для численного исследования акустических характеристик элементов авиационных силовых установок. В этой главе рассматриваются два основных элемента силовых установок, которые дают наиболее существенный вклад в шум современных и перспективных летательных аппаратов: выходное устройство и вентилятор. Для выходного устройства перспективных сверхзвуковых самолетов проведено исследование нестационарных процессов, возникающих при истечении струи. Из анализа результатов обнаружено и дано объяснение возникновения при докритическом истечении струи из сопла с прямоугольным поперечным сечением и

центральным телом интенсивных поперечных колебаний слоя смещения, вызывающих сильные изменения давления на элементах выходного устройства и появление дискретных составляющих спектра шума струи в дальнем поле. Автором предложена схема выходного устройства с изменяемой геометрией, для которой выполнен численный анализ структуры потоков. Показано, что в такой схеме, за счет изменения геометрии, можно существенно понизить уровень шума. Очень впечатляют результаты расчетного исследования шума модельной вентиляторной ступени ТРДД с большой степенью двухконтурности. Автором получены тональные составляющие акустической мощности во входном и выходном сечениях канала ступени, которые хорошо согласуются с экспериментальными данными и результатами расчетов других авторов. Для расчета нестационарной турбулентности по вихререзающим моделям во вращающихся регионах предложена модификация генератора синтетической турбулентности, позволившая улучшить качество описания турбулентности в следах за рабочими лопатками вентилятора.

Результаты, представленные в четвертой и пятой главах, полностью обосновывают третье положение, выносимое на защиту.

В Заключение сформулированы результаты работы и основные выводы.

Список используемой литературы содержит 66 наименований. Основные результаты работы, представленные в диссертации, в достаточном объеме отражены в 3 статьях, опубликованных в журналах, входящих в перечень ВАК. Результаты работы также докладывались на многих отечественных и международных конференциях. Это свидетельствует о полноте представления основных результатов работы в научных публикациях и достаточности для широкой дискуссии по этой работе. Тема диссертации и результаты исследований полностью соответствуют паспорту специальности 1.1.9. (01.02.05) – Механика жидкости, газа и плазмы.

Актуальность работы обосновывается необходимостью создания методологии решения задач аэроакустики, связанных с проблемой уменьшения шума от элементов разрабатываемых силовых установок авиационной техники.

Новыми научными результатами диссертационной работы являются:

1. Конечно-объемная методика, построенная на основе метода Рунге-Кутты третьего порядка точности (типа MP5) на структурированных сетках, включающая

локализованное введение невязности по выбранным сеточным направлениям, алгоритм реконструкции «предраспадных» параметров на гранях ячеек, обеспечивающий снижение ошибок аппроксимации на неравномерной сетке и алгоритм управление диссипативными свойствами схемы в зависимости от структуры потока.

2. Методология решения задач аэроакустики, основанная на использовании разработанной экономичной методики решения исходных уравнений, построение структурированных сеточных моделей расчетных областей с учетом используемых моделей турбулентности и зонного подхода для описания турбулентности, включающего: зоны RANS с применением неравновесного закона стенки; зоны IDDES с улучшением работы в режиме WMLES; зоны DES и зоны генерации синтетической турбулентности (VSTG) на входе в зоны с вихреразрешающими моделями турбулентности.

3. Результаты численных исследований нестационарных процессов, возникающих при истечении струи из выходного устройства. Из анализа структуры потока обнаружено и дано объяснение, имеющее экспериментальное подтверждение, возникновению при докритическом истечении струи из сопла с прямоугольным поперечным сечением и центральным телом интенсивных поперечных колебаний слоя смешения, вызывающих сильные изменения давления на элементах выходного устройства, и появлению ярко выраженных дискретных составляющих спектра шума струи в дальнем поле.

4. Предложена схема выходного устройства для перспективного сверхзвукового самолета с более простым способом интенсификации смешения, настроенная на заданные перепады давления в сопле для условий взлета и сверхзвукового полета. Численно показано, что акустические характеристики предложенного выходного устройства не хуже аналогичных характеристик для секторного выходного устройства при более высоком коэффициенте тяги и гораздо более простой конструкции.

5. Результаты расчета шума вентиляторной ступени, в которых выявлены тональные составляющие акустической мощности во входном и выходном сечениях канала ступени. Модификация генератора синтетической турбулентности, позволившая

улучшить качество описания турбулентности в следах за рабочими лопатками вентилятора.

Практическая ценность диссертации состоит в разработке методологии решения задач аэроакустики, опирающейся на разработанную экономичную методику решения исходных уравнений, зонный подход для описания турбулентности и построение структурированных сеточных моделей расчетных областей с учетом особенностей используемых моделей турбулентности.

Замечания. Серьезных замечаний по материалам, представленным в содержательных главах диссертации нет. Тем не менее, диссертационная работа не лишена ряда недостатков, в частности:

1. Есть некоторая небрежность в оформлении иллюстративного материала диссертации. Так, например, пропущен рис. 1.3, на рис. 2.1 отсутствует ссылка на эксперимент, на рис. 2.5 разные ссылки на рисунке и в тексте, то же самое на рис. 3.2, 3.3, 4.12, 4.13. 4.14, 4.15. Ряд рисунков: 4.18, 4.29, 4.21, 4.24, 4.30 лучше было представить цветными, так как в черно-белом цвете эти рисунки мало информативны. На ряде рисунков отсутствуют размерности.

2. Есть несколько опечаток в тексте диссертации: стр. 23 - индекс этапа обозначен m , а коэффициент k_n ; стр. 43 - лишнее слово (скольких?); стр. 43 – толщиной 0.2с; стр. 52 – при таком (?).

3. Материал диссертации плохо структурирован с положениями, выносимыми на защиту.

4. В ряде представленных результатов численных экспериментов весьма скупо приводятся постановки задач и описание методов построения сеточных моделей.

5. При построении расчетной методики повышенной разрешающей способности для понижения ее диссипативности за счет введения коэффициента усреднения центрально-разностной и противопоточной схем, автором предложен способ ограничения этого коэффициента по изменению плотности (формула 1.14). Однако плотность может иметь разрывы даже на гладких решениях. Кроме того, энтропийные следы проявляются именно в плотности на контактных разрывах и на границах, что приводит к ее немонотонности. Обычно, при построении операторов сглаживания,

фильтровка решения проводится по давлению. Поэтому было бы желательно привести аргументацию используемого подхода.

6. Было бы весьма интересно на простейших задачах, таких как течение Прандтля-Майера и косой скачок уплотнения, показать порядок сходимости численного решения построенной методики.

7. Весьма важным является создание верификационной базы по аэроакустике для разрабатываемых расчетных методик. В диссертации приводятся результаты расчета ряда задач, детальные постановки и экспериментальные данные которых содержатся в технических отчетах. Возможна ли обработка этих результатов и их публикация? Или мы все время будем обосновывать методики по зарубежным работам?

8. Автор весьма скупое сформулировал положения, выносимые на защиту. В заключении диссертации приводятся более содержательные формулировки итогов работы, которые и должны были быть отражены в положениях, выносимых на защиту. По полученным результатам, при их должном оформлении, работа вполне соответствует докторской диссертации.

Сделанные замечания имеют рекомендательный характер и не снижают ценности и достоверности полученных результатов.

Заключение. Диссертация написана на высоком научном уровне и показывает, что автор имеет высокую математическую культуру и может самостоятельно проводить полномасштабное научное исследование от анализа проблемы и постановки задач до разработки численных методов их решения, построения алгоритмов, проведения объемного вычислительного эксперимента, анализа результатов, сопоставления расчета и эксперимента.

Анализ диссертации, автореферата и публикаций автора, соответствующих основному содержанию диссертации, позволяют сделать вывод, что работа Шорстова В.А. посвящена решению актуальной задачи. Представляет собой законченное самостоятельное исследование, в котором приведены научные результаты, позволяющие их квалифицировать как решение важной актуальной задачи в создании методологии численного исследования аэроакустических явлений элементов силовых установок. Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание.

Диссертационное исследование соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Шорстов Виктор Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. (01.02.05) – Механика жидкости, газа и плазмы.

25 октября 2021 г.

Дерюгин Юрий Николаевич
Доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник
Главный научный сотрудник ИТМФ ФГУП - «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

Почтовый адрес 607188, г. Саров, Нижегородской обл., пр. Мира, 37 ФГУП - «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

Тел. 8 (83130) 2-90-29, E-mail: deryugin@vniief.ru

Организация – место работы: Федеральное государственное унитарное предприятие – «Российский Федеральный Ядерный Центр - Всероссийский Научно Исследовательский Институт Экспериментальной Физики
web-сайт организации: <http://www.vniief.ru/>

Подпись и сведения Дерюгина Юрия Николаевича заверяю:
Ученый секретарь ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
кандидат физико-математических наук
Хижняков Владимир Васильевич



607188, г. Саров, Нижегородской обл., пр. Мира, 37

Телефон 8 (83130) 2-90-29, факс 8(83130) 4-47-61

E-mail: deryugin@vniief.ru