

Результаты публичной защиты

Дата защиты: 18 ноября 2021 г.

Соискатель: Шорстов Виктор Александрович.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему: «Разработка метода расчета шума элементов авиационных силовых установок с использованием зонного RANS-IDDES подхода».

Специальность 1.1.9. – Механика жидкости, газа и плазмы.

Отрасль наук: физико-математические науки.

Председатель: академик РАН, д.ф.-м.н., профессор Б.Н. ЧЕТВЕРУШКИН.

Ученый секретарь – к.ф.-м.н. М.А. КОРНИЛИНА.

На заседании из 24 человек, входящих в состав совета, присутствовали - 22 члена совета, из них очно - 18 человек, удаленно – 4 человека, в том числе 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации:

№	Фамилия, И.О.	Учёная степень	Шифр специальности в совете	Присутствие
1.	ЧЕТВЕРУШКИН Б.Н.	д.ф.-м.н.	1.2.2.	очно
2.	ТИШКИН В.Ф.	д.ф.-м.н.	1.1.6.	очно
3.	ЯКОВОВСКИЙ М.В.	д.ф.-м.н.	1.2.2.	очно
4.	КОРНИЛИНА М.А.	к.ф.-м.н.	1.2.2.	очно
5.	АНДРЕЕВ В.Б.	д.ф.-м.н.	1.1.6.	удаленно
6.	АРИСТОВА Е.Н.	д.ф.-м.н.	1.1.9.	очно
7.	ВАСИЛЕВСКИЙ Ю.В.	д.ф.-м.н.	1.1.6.	очно
8.	ГАРАНЖА В.А.	д.ф.-м.н.	1.1.6.	очно
9.	ЕЛИЗАРОВА Т.Г.	д.ф.-м.н.	1.1.6.	очно
10.	ЗМИТРЕНКО Н.В.	д.ф.-м.н.	1.1.9.	очно
11.	КАРАМЗИН Ю.Н.	д.ф.-м.н.	1.1.6.	очно
12.	КОВАЛЕВ В.Ф.	д.ф.-м.н.	1.2.2.	очно
13.	КОЗЛОВ А.Н.	д.ф.-м.н.	1.1.9.	удаленно
14.	КОЛЕСНИЧЕНКО А.В.	д.ф.-м.н.	1.1.9.	удаленно
15.	КУЛЕШОВ А.А.	д.ф.-м.н.	1.2.2.	очно
16.	ЛУЦКИЙ А.Е.	д.ф.-м.н.	1.1.9.	очно
17.	МАЖУКИН В.И.	д.ф.-м.н.	1.2.2.	очно
18.	МЕНЬШОВ И.С.	д.ф.-м.н.	1.2.2.	очно
19.	ОРЛОВ Ю.Н.	д.ф.-м.н.	1.1.6.	очно
20.	ПЕТРОВ И.Б.	д.ф.-м.н.	1.1.9.	удаленно
21.	ПОЛЯКОВ С.В.	д.ф.-м.н.	1.1.6.	очно
22.	ШПАТАКОВСКАЯ Г.В.	д.ф.-м.н.	1.2.2.	очно

При проведении тайного голосования по вопросу присуждения ученой степени в системе электронного голосования Крипто Вече - 21 человек: за – 21, против – 0, воздержались – 0.

По результатам публичной защиты диссертационный совет принял решение: присудить Шорстову Виктору Александровичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. – Механика жидкости, газа и плазмы.

Заключение диссертационного совета приведено ниже:

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
24.1.237.01, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИНСТИТУТ
ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ ИМ. М.В. КЕЛДЫША РАН»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 18.11.2021 г. № 5

О присуждении **Шорстову Виктору Александровичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация на тему "Разработка метода расчета шума элементов авиационных силовых установок с использованием зонного RANS-IDDES подхода" по специальности 1.1.9 — механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 30.08.2021 (№ 5/пз) диссертационным советом 24.1.237.01 (Д 002.024.03), созданным на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН» (125047, Москва, Миусская пл., 4). Диссертационный совет утвержден приказом Минобрнауки России №105/нк от 11.04.2012 г., шифр совета изменен приказом Минобрнауки России № 561/нк от 03.06.2021 г.

Соискатель Шорстов Виктор Александрович, 27 ноября 1975 года рождения, в 2000 году соискатель окончил Московский государственный авиационный институт (технический университет), в 2006 - аспирантуру ФГУП ЦИАМ им. П.И. Баранова. Работает в должности научного сотрудника

в отделах 017 ФАУ ЦИАМ им. П.И. Баранова. Диссертация выполнена в отделе 017 ФАУ ЦИАМ им. П.И. Баранова

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук **Макаров Владимир Евгеньевич**, начальник отдела 017 ФАУ ЦИАМ им. П.И. Баранова

Официальные оппоненты:

Дерюгин Юрий Николаевич, д.ф.-м.н., главный научный сотрудник ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров,

Власенко Владимир Викторович, д.ф.-м.н., доцент, заместитель заведующего лабораторией отделения силовых установок ФГУП «ЦАГИ» дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация **Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого** в своем положительном отзыве, подписанном **Стрельцом Михаилом Хаимовичем**, доктором физико-математических наук, заведующий лабораторией «Вычислительная гидроаэроакустика и турбулентность» указала, что диссертация Шорстова В.А. содержит оригинальные результаты, касающиеся как численного моделирования турбулентных течений, так и физических аспектов конкретных течений, которые являются значимыми для развития данной отрасли науки. В диссертации представлены результаты решения как относительно простых задач аэродинамики и аэроакустики, которые служат базой для оценки точности расчетов, обеспечиваемой разработанной вычислительной системой, так и результаты решения весьма сложных прикладных задач, непосредственно связанных с расчетом шума элементов силовых установок авиационных двигателей и представляющих большой практический интерес. Работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Соискатель имеет 3 опубликованные работы по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях:

1. *В.А. Шорстов, В.Е. Макаров. Расчет аэродинамических и акустических характеристик профиля NACA0012 с использованием зонного RANS-IDDES подхода. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, 2018 год, том 30, номер 5, стр.19-36. (список ВАК, Scopus).*

В указанной работе опубликована часть модификаций базовой схемы MP5, проведена калибровка модифицированной схемы на задаче о распаде однородной изотропной турбулентности, проведены расчеты модельных задач с WMLES представлением пограничного слоя и решена задача о шуме задней кромки профиля NACA012 при турбулентном обтекании.

2. *В.А. Шорстов, В.Е. Макаров. Развитие зонного RANS-IDDES подхода к моделированию обтекания тел с целью снижения требований к вычислительным ресурсам при решении задач аэроакустики. УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ЦАГИ, 2019, том L, номер 6, стр. 41-52 (список ВАК).*

В указанной работе были предложены и апробированы способы снижения ресурсоемкости WMLES расчетов в рамках аэроакустических задач.

3. *В.А. Шорстов, В.Е. Макаров. Расчет акустических характеристик струи из прямоугольного сопла с оценкой влияния пластины, примыкающей к его срезу. УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ЦАГИ, 2020, том LI, номер 1, стр. 41-57 (список ВАК).*

В рамках указанной работы были выполнены расчеты струи из прямоугольного сопла большого удлинения, и в сравнении с расчетами модельной круглой струи рассмотрена проблема описания начального участка слоя смешения, и ее влияние на шум, получаемый в расчете.

Недостовверных сведений в тексте диссертации об опубликованных соискателем работах нет. Вклад соискателя в опубликованные работы является определяющим. Участие В.Е. Макарова в публикациях объясняется осуществлением научного руководства работой соискателя, которое

заключалось в выборе направления исследований, определении перечня и последовательности задач, а также структуры и объема целевых результатов. Объем публикаций – 6,1 п.л. авторский вклад – 4,5 п.л.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы ведущей организации, официальных оппонентов, 2 дополнительных отзыва на автореферат. Отзывы положительные, содержат ряд замечаний, наиболее существенные приведены ниже.

В отзыве ведущей организации СПбПУ:

- Обзор литературы по гибридным вихреразрешающим подходам к расчету турбулентных течений сосредоточен на подходах, базирующихся на методе DES, которые используются в диссертации. Однако в литературе существует ряд других гибридных подходов, например, SAS, PANS, PITM, различные версии WMLES и др. Хотя выбор DES- подобных методов представляется оправданным, его следовало бы обосновать во Введении;
- Используемый в работе для построения пристеночных функций «закон стенки» (соотношение (15)) ошибочно называется в диссертации «неравновесным». Неравновесным называется закон стенки, учитывающий наличие в потоке продольного градиента давления;
- Вывод о том, что предложенные приемы, направленные на снижение требований к вычислительным ресурсам, необходимым для IDDES развитого течения в плоском канале, не приводят к снижению точности расчета, представляется слишком сильным. Базируясь на результатах Рис. 3.2, следовало бы сказать, что они «не приводят к значительному снижению точности расчета». Отметим также, что в профилях скорости, полученных автором, так же, как и в профилях из работы [56], с которыми они сравниваются, наблюдается хорошо известный дефект, а именно наличие двух сдвинутых относительно друг друга логарифмических слоев (“Log-layer mismatch”). В связи с этим более объективным было бы сравнение полученных результатов с результатами [55], в которых этот дефект практически отсутствует;

- Вывод о том, что диаграмма направленности и спектры в дальнем поле модельной струи, истекающей из круглого сопла с числом Маха 0.9, находятся в хорошем соответствии с расчетными данными, полученными в работе [47], представляется слишком сильным. Как видно из Рис. 4.14 и 4.15, спектры шума, излучаемого в направлениях с углами больше 120° и интегральный уровень шума в этих направлениях, полученные в двух расчетах, заметно (до 4 dB) отличаются друг от друга;
- При расчете ступени вентилятора использование оригинальной формулировки VSTG [21] привело к неверным результатам (Рис. 5.18), что послужило стимулом к ее модификации (раздел 5.3.4, “Проблема VSTG генерации, встреченная в расчете, и ее решение”). Однако в работе [18] использование стандартной формулировки VSTG [21] при решении данной задачи не привело к каким-либо проблемам. Возможные причины указанного важного различия в диссертации не обсуждаются;
- В диссертации отсутствует оценка погрешности, вносимой при использовании упрощенного подхода к расчету акустической мощности, опирающегося на результаты нестационарных расчетов только в одной плоскости (формулы (23)).

В отзыве официального оппонента д.ф.-м.н. Дерюгина Ю.Н.:

- Материал диссертации плохо структурирован с положениями, выносимыми на защиту;
- В ряде представленных результатов численных экспериментов весьма скупо приводятся постановки задач и описание методов построения сеточных моделей;
- 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;

- Автор весьма скупо 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.

В отзыве официального оппонента д.ф.-м.н. Власенко В.В.:

- Использованный автором в пристенных функциях способ оценки кинетической энергии турбулентности на основе эмпирической формулы Брэдшоу должен приводить к неточному описанию характеристик пограничного слоя, поскольку соотношение Брэдшоу неприменимо к неравновесной турбулентности в вязком подслое и в буферной зоне пограничного слоя. В этом смысле более предпочтительны гибридные RANS/LES методы, основанные на двухпараметрических моделях турбулентности, где кинетическая энергия и характерный масштаб турбулентности определяются напрямую. В рамках модели Спаларта-Альмараса возможным путем улучшения пристенной функции является применение соотношения Брэдшоу не в пристенных ячейках, а в ячейках с $y^+ \sim 100$;

- Предполагаемый автором "механизм" колебаний струи при докритическом режиме истечения (раздел 5.1.4) вызывает большие сомнения. Главный недостаток рассуждений автора в том, что он применяет к существенно нестационарному процессу связь между давлением и площадью, основанную на законах сохранения стационарных течений. Скорее всего, наблюдаемое явление связано с тем, что крупные вихри, возникающие в слое смешения струи, периодически вызывают локальное заклинивание течения с формированием волн, идущих вверх по дозвуковому потоку и отклоняющихся

слой смешения в районе среза сопла. К счастью, в диссертации механизм назван предположительным, а в выводы вынесено утверждение о существовании “положительной обратной связи между изменением статического давления на нижней стенке и центральном теле сопла и смещением слоя смешения, сходящего с верхней стенки сопла”. Против такой формулировки возражений нет.

В отзыве на автореферат к.ф.-м.н. Чувахова Павла Владимировича (ЦАГИ):

- Описание разработанных вычислительных методов и особенности их реализации не дано в автореферате;
- Несмотря на детальную валидацию численных методов, сеточная сходимость в автореферате строго не демонстрируется;
- Закон стенки — это логарифмически растущая часть профиля классического равновесного турбулентного пограничного слоя на пластине. Неясно, что автор подразумевает под «Неравновесным законом стенки» (стр. 7) и фразой «в отсутствие закона стенки» (стр. 11).

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н. Титарева Владимира Александровича (ФИЦ ИУ РАН):

- Отсутствует какое-либо описание численного метода помимо словесного;
- Отсутствуют данные по временным затратам (в ядро-часах) для типичного нестационарного расчета предлагаемым вихререзающим методом.

Во всех поступивших отзывах дана общая положительная оценка диссертации и автореферата и указано, что соискатель заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. – Механика жидкости, газа и плазмы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широко известной компетенцией в вопросах механики жидкости, газа и плазмы, разработки численных методов и алгоритмов их решения. Это подтверждается научными публикациями оппонентов и сотрудников ведущей организации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан вихререзающий метод расчета шума элементов авиационных силовых установок, основанный на комплексе математических, алгоритмических, программных и методических решений, апробированных на валидационных расчетах;

предложены:

- оригинальные модификации базовой расчетной схемы, обусловившие ее эффективное использование в разработанном методе,
- модификация в формулировке метода IDDES, улучшающая его работу в режиме WMLES на сетках с равномерными тангенциальными шагами,
- модификация известного способа генерации синтетической турбулентности, улучшающая его работу в условиях неоднородного поля средних скоростей,
- решение задачи о шуме задней кромки профиля NACA012, существенно зависящего от разрешения деталей ламинарно-турбулентного перехода в отрыве ламинарного пограничного слоя,
- новая схема шумоглушающего выходного устройства для сверхзвукового гражданского самолета.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

Результаты расчетов по созданной методике находятся в хорошем согласовании с расчетными и экспериментальными данными для валидационных задач разной степени сложности, а впервые описанные в расчетах шум задней кромки профиля NACA012 существенно зависящего от разрешения деталей ламинарно-турбулентного перехода в отрыве ламинарного пограничного слоя, и интенсивный тональный шум в модели выходного устройства сверхзвукового самолета подтверждены экспериментально.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Возможности разработанного соискателем метода могут быть использованы для развития теоретических представлений о некоторых не полностью исследованных физических явлениях, в частности явления генерации шума, существенно зависящего от деталей турбулизации пограничного слоя в отрывном пузыре, и явления генерации тонального шума в условиях взаимодействия газовой струи и стенок.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

Разработанный метод существенно расширяет возможности вихреразрешающих расчетов за счет внедрения зонного подхода и приближения WMLES расчетов к аэроакустическим задачам, представляющим практический интерес. Вихреразрешающий метод может использоваться при создании малозумных авиационных силовых установок, что является практически-значимой промышленной задачей.

Личный вклад соискателя состоит в том, что:

Все модификации базовой расчетной схемы предложены лично автором, а именно: оригинальный способ введения невязности, приводящий к появлению точно решаемых систем алгебраических уравнений для большинства случаев; эффективный алгоритм реконструкции «предраспадных параметров» на сгущающихся сетках; комплексное применение известных методов для снижения диссипативности схемы. Также лично автором найдено удачное сочетание ранее известных и предложенных в работе приемов, позволяющее адаптировать зонный подход к практически значимым задачам. Также лично автором, с помощью разработанного метода, по-видимому впервые, проведен расчет генерации шума, существенно зависящего от деталей турбулизации пограничного слоя в отрывном пузыре на профиле NASA012 и обнаружено явление генерации сильного тонального

шума в модельном выходном устройстве, которое впоследствии подтвердилось экспериментально.

В ходе защиты диссертации соискатель Шорстов В.А. ответил на заданные ему вопросы и согласился с критическими замечаниями, указанными в письменных отзывах. Критических замечаний от членов совета не было.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Шорстова В.А. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной научной задачи - создание метода расчета шума от элементов авиационных силовых установок с использованием зонного подхода к вихреразрешению, имеющей большое практическое значение для развития авиационной промышленности страны. Диссертация соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842.

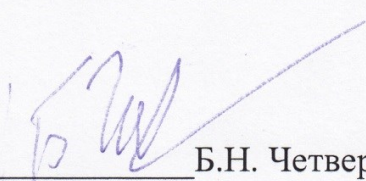
На заседании 18 ноября 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Шорстову Виктору Александровичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. – «Механика жидкости, газа и плазмы».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек участвовавших в заседании (из них очно - 18 человек, удаленно – 4 человека, в том числе 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации) из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали в системе электронного голосования Кристо Вече - 21 человек: за – 21, против – 0, воздержались – 0.

Разница между числом участвовавших в заседании членов совета и числом проголосовавших предположительно объясняется техническими причинами.


Председатель

диссертационного совета 24.1.237.01


Б.Н. Четверушкин

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.1.237.01


М.А. Корнилина

18 ноября 2021 г.

