

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 НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 28 ноября 2024 № 4

О присуждении **Родионову Павлу Вадимовичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Численное моделирование турбулентных течений для авиационных приложений с применением криволинейных реконструкций в призматических слоях неструктурированных сеток» по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите 12 сентября 2024 (протокол №5/пз) диссертационным советом 24.1.237.01, созданным на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН), 125047, Москва, Миусская пл., д. 4. Диссертационный совет утвержден приказом Минобрнауки России №105/нк от 11 апреля 2012 года.

Соискатель **Родионов Павел Вадимович**, 1992 года рождения, в 2014 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» по специальности «Прикладная математика и информатика» с присвоением квалификации «Математик, системный программист». В 2018 г. соискатель окончил очную аспирантуру

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» по направлению 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника», присвоена квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь». Сведения о сданных кандидатских экзаменах приводятся в приложении к диплому аспирантуры.

В настоящее время соискатель работает в должности младшего научного сотрудника в отделе № 16 ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Диссертация выполнена в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Научный руководитель – Козубская Татьяна Константиновна, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник отдела № 16 ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Официальные оппоненты:

Босняков Сергей Михайлович, доктор технических наук, главный научный сотрудник отделения аэрогазодинамики силовых установок летательных аппаратов Федерального автономного учреждения «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского»,

Шорстов Виктор Александрович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела 017 Государственного научного центра, федерального автономного учреждения «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова»

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (СПбПУ) в своем **положительном** отзыве, подписанном **Смирновым Евгением Михайловичем**, доктором физико-математических наук, профессором (уч. зв.), профессором Высшей школы прикладной математики и вычислительной физики Физико-механического института СПбПУ, и **Ивановым Николаем**

Георгиевичем, кандидатом физико-математических наук, доцентом, директором Высшей школы прикладной математики и вычислительной физики Физико-механического института СПбПУ, и утвержденным **Фоминим Юрием Владимировичем**, кандидатом физико-математических наук, проректором по научной работе СПбПУ, указала, что представленная диссертация посвящена развитию методики численного моделирования течений вязкого газа на основе конечно-объемных вершинно-центрированных схем повышенной точности на неструктурированных сетках с призматическими слоями и приложениям данной методики для решения сложных аэродинамических и аэроакустических задач внешнего обтекания. Разработанная в рамках диссертационного исследования численная схема для аппроксимации конвективных слагаемых в уравнениях динамики текучей среды, использующая криволинейные реконструкции, обеспечивает возможность существенного повышения точности результатов и устойчивости расчетов при численном моделировании течений, характеризуемых одновременно высокими значениями числа Рейнольдса, сложностью общей геометрии и выраженной искривленностью обтекаемых поверхностей; задачи такого рода типичны для авиационной отрасли, судостроения и энергомашиностроения. Полученные в работе результаты по оценке шума крыла прототипа сверхзвукового пассажирского самолета на режиме посадки в точках ближнего и дальнего полей полезны для расчета общего шума сверхзвукового пассажирского самолета на этом режиме. Оценки общего шума гражданского самолета необходимы для проверки соответствия разрабатываемого прототипа летательного аппарата международным сертификационным нормам. Диссертация Родионова Павла Вадимовича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи повышения точности численного решения аэродинамических и аэроакустических задач внешнего обтекания при высоких значениях числа Рейнольдса, характерных для авиационных приложений, и ряд новых научных результатов, имеющих

важное практическое значение. Работа П.В. Родионова соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Соискатель имеет 6 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 4 публикации в изданиях из перечня ВАК, 5 статей в журналах, индексируемых в международных базах данных, 1 работа без соавторов.

1. Bakhvalov P., Kozubskaya T., Rodionov P. EBR schemes with curvilinear reconstructions for hybrid meshes // *Computers & Fluids*. 2022. V. 239. P. 105352. **(WoS, Scopus)**
2. Дубень А.П., Козубская Т.К., Родионов П.В., Цветкова В.О. EBR схемы с криволинейными реконструкциями переменных вблизи обтекаемых тел // *Журнал вычислительной математики и математической физики*. 2021. Т. 61, № 1. С. 3–19 **(перечень ВАК)**; *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 2021. V. 61. P. 1–16. **(WoS, Scopus)**
3. **Rodionov P.V.** Curvilinear Reconstructions for EBR Schemes On Semi-Structured Meshes // *14th WCCM-ECCOMAS Congress*. 2021. V. 700. P. 1–12. **(Scopus)**
4. Бахвалов П.А., Дубень А.П., Козубская Т.К., Родионов П.В. EBR схемы с криволинейными реконструкциями для решения двумерных задач внешнего обтекания // *Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша*. 2019. № 152. С. 1–22. **(перечень ВАК)**
5. Горобец А.В., Дубень А.П., Козубская Т.К., Родионов П.В. Подходы к численному моделированию акустического поля, создаваемого крылом самолета с механизацией на режиме посадки // *Математическое*

моделирование. 2022. Т. 34. № 7. С. 24–48 (**перечень ВАК**); Mathematical Models and Computer Simulations. 2023. V. 15. P. 92–108. (**Scopus**)

6. Gorobets A.V., Bakhvalov P.A., Duben A.P., Rodionov P.V. Acceleration of NOISEtte Code for Scale-Resolving Supercomputer Simulations of Turbulent Flows // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2020. V. 41. P. 1463–1474. (**перечень ВАК, WoS, Scopus**)

В работах [1-4] автором сформулирована новая конечно-объемная вершинно-центрированная схема, использующая криволинейные квазиодномерные реконструкции для аппроксимации конвективных потоков в призматических слоях неструктурированных сеток, предназначенная для расчета внешних турбулентных течений сжимаемой среды. В работах [4,6] автор выполнил тестирование предложенной схемы на двумерных задачах обтекания профилей крыльев. В работах [2,3] автор продемонстрировал преимущества новой схемы с криволинейными реконструкциями в сравнении со схемами с прямолинейными реконструкциями при численном моделировании обтекания сегмента крыла в трехмерной постановке. В работе [1] автор представил результаты численного решения задачи о распространения акустической волны в цилиндрическом канале и результаты моделирования обтекания двухлопастного винта на режиме висения, свидетельствующие о повышении точности моделирования при замене в реберно-ориентированных схемах прямолинейных квазиодномерных реконструкций криволинейными. В работе [5] автор описал методику моделирования внешних турбулентных течений для решения аэродинамических и аэроакустических задач, применил ее для вихреразрешающего моделирования шума крыла пассажирского самолета на режиме посадки и выполнил анализ полученных акустических спектров в точках ближнего и дальнего полей.

Научные статьи отражают основные результаты диссертационной работы. Сведения об опубликованных соискателем работах, приведенные в диссертации, достоверны.

На диссертацию поступили отзывы ведущей организации и оппонентов, а также 2 отзыва на автореферат. Все отзывы положительные. В отзывах содержатся следующие замечания:

В отзыве ведущей организации СПбПУ:

1. Последовательный обзор литературы по теме диссертации содержится лишь в подразделе «Степень разработанности темы исследования», однако он посвящен преимущественно обзору решаемых уравнений и подходам к моделированию турбулентности. Вопросы, относящиеся к построению шаблона реконструкции, излагаются вперемешку с методами построения схем повышенной точности (TVD, WENO). Вместе с тем, диссертация во многом посвящена разработке новой численной схемы с криволинейной реконструкцией требующихся при расчете значений переменных, однако же, обзор/анализ литературы по этой части далек от полноты.

2. Неясно, почему преимущество новой, разработанной автором схемы с криволинейной реконструкцией не продемонстрировано при решении тестовой задачи об обтекании модельной геометрии пассажирского самолета NASA Common Research Model в конфигурации High Lift (глава 4): в пункте 4.4 приведены результаты, полученные с применением только новой схемы. Или с применением исходной схемы с прямолинейной реконструкцией не удалось получить сошедшееся решение?

3. Приведенные на рис. 41 поверхностные распределения коэффициента трения на крыле самолета содержат отчетливо выраженные полосы, ориентированные по потоку, однако в диссертации отсутствуют комментарии, поясняющие причины возникновения этих полос.

4. Отсутствует обоснование выбора существенно дозвуковых режимов при обращении к тестовой задаче о треугольном крыле, применяющемся, как правило, для высокоскоростных летательных аппаратов.

5. Первый пункт в представленных соискателем формулировках научной новизны подразумевает определенные преимущества от

использования подробных сеток на поверхностях, формируемых для приложения метода Ффокса Уильямса - Хокингса (FWH), в то время как в разделе 5.6 обосновывается применение относительно грубых сеток. Остается непонятным, какие сетки на FWH поверхностях рекомендует использовать автор в рамках своей методики: подробные или грубые?

6. При математической постановке ряда задач область решения, начальные и граничные условия явно не прописываются, читателю приходится их доопределять при рассмотрении результатов решения и картин моделируемого течения.

7. В стилистическом отношении текст слабо проработан. В значительном ряде мест отсутствуют предложения, связывающие один абзац с последующим, что затрудняет восприятие логики изложения. Нередко встречаются различного вида жаргонизмы, несогласованные и/или неудачные выражения, например, «изучать обтекание геометрии», «для RANS моделирования используется только URANS», «расчетную область заполним сеткой» и т.п.

В отзыве официального оппонента, д.т.н. Боснякова С.М.:

1. В ряде случаев отсутствует четкое определение важных понятий, например, на стр. 34 автор пишет: «После выхода моделируемого течения на установившийся режим целесообразно начать накопление данных, необходимых для расчета целевых характеристик». Вопрос: «Что такое установившийся режим?»

2. Наблюдается небрежная работа с графическим материалом, например, на рисунках 12, 14 для течений с разными пределами использованы палитры с идентичной цветовой гаммой. Это затрудняет восприятие материала. Приходится всматриваться в очень маленькие цифры. Другой пример, на рисунке 41 предлагается сравнивать расчет и эксперимент при разных ракурсах.

3. Наблюдается небрежная работа при построении графиков, например, на стр. 68 размер экспериментальных маркеров на графике распределения

коэффициента C_p приблизительно составляет 0.1. Но это равно цене деления на оси Y данного графика. Кроме того, обычно точность определения экспериментальных значений C_p не хуже, чем 0.01. Вопрос: «Как проводить сопоставления в таких условиях?»

4. В ряде случаев отсутствует тщательный анализ результатов, например, на рисунках 42-44 наблюдается неприемлемо большое расхождение расчетных и экспериментальных данных в области предкрылков и закрылков. Автор при этом пишет, что «на предкрылках и закрылках, особенно в сечениях, содержащих отрывы потока, соответствие численных и экспериментальных данных несколько снижается». Вопрос: «Может, это является местом, где надо приложить усилия и, используя новый точный метод, добиться лучшего соответствия?» Кроме того, в таблице 12 величины ошибок в процентах отличаются от величин, указанных в диссертации. Вопрос: «почему?»

5. В ряде случаев трудно найти логическое объяснение действиям автора, например, в Таблице 10 нет сопоставления результатов EBR и EBR PL. Вопрос: «Не считает ли автор естественным при модификации метода, прежде всего, сравнивать «старые» и «новые» результаты с целью оценки эффективности новшества?»

6. Некоторые физические результаты автора требуют пояснения, например, на стр. 83 автор пишет: «Отметим, что использование модели SST RC привело к возникновению ложного «взрыва» вихря на обеих сетках. Данное наблюдение подтверждается повышением коэффициента давления на 0.3 в сечении $x/cg = 0.8$ на подробной сетке». Как известно, интенсивность вихря измеряется циркуляцией. В работе нет исследования этого параметра. Вопрос: «Что называется «взрывом вихря?» «Каким образом повышение статического давления связано со взрывом вихря?»

7. Хочется посоветовать автору иногда быть скромнее, например, на стр. 108 автор пишет: «проведены передовые суперкомпьютерные расчеты».

Вопрос: «Может, написать проще: «проведены суперкомпьютерные расчеты?»»

В отзыве также указаны недочеты в оформлении диссертации:

8. В разделе 1.1 «Физическая постановка» автор значительное внимание уделяет задаче обтекания модели в условиях аэродинамической трубы, хотя в самой диссертации исследования на эту тему отсутствуют.

9. В работе отсутствует раздел «Критический анализ источников литературы». Это создает неудобства при прочтении работы. Так, обзор литературы частично распределен между разделами «Степень разработанности темы исследования» и «Методы исследования». При этом крайне тяжело выделить ту часть обзора, которая относится непосредственно к предлагаемому методу.

10. В разделе «Заключение» автор не сформулировал рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

В отзыве официального оппонента, к.ф.-м.н. Шорстова В.А.:

1. При рассмотрении расчетных схем мало внимания уделено ограничителям, применяемым или отсутствующим при реконструкции.

2. При построении расчетной сетки не обращается внимание на коэффициент нарастания сеточных шагов в соседних ячейках.

3. Выбор сеточного шага и шага по времени нужно связывать не только с длинами акустических волн, но и с масштабами подлежащих разрешению турбулентных структур, так как они могут быть меньше.

4. Выбор веса противопоточной схемы из принципа минимального значения устойчивой работы расчетного алгоритма предпочтительно заменить на калибровку на модельных задачах в комплексе с другими параметрами.

5. Разработанный метод криволинейных реконструкций подразумевает резкое переключение между значительно отличающимися способами реконструкции, что может негативно сказаться на свойствах итоговой расчетной схемы.

Отзыв на автореферат от д.ф.-м.н. **Волкова Андрея Викторовича**, доцента, начальника научно-исследовательского отдела № 2 Федерального автономного учреждения «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского», г. Жуковский, содержит следующие замечания:

1. В автореферате не приводятся оценки вычислительных затрат разработанного метода, потребных для выполнения представленных тестов, при использовании CPU и GPU.

2. В представленной методике моделирования численного обтекания отсутствует оценка номинальных вычислительных затрат (потребные сетки, память и ожидаемое процессорное время), требуемых для достижения заданной точности результата при использовании разработанной программы

3. Решение задачи обтекания крыла, представленное на левом нижнем графике рисунка 10 не выглядит сошедшимся по сетке.

Отзыв на автореферат от д.ф.-м.н. **Исаева Сергея Александровича**, профессора, заведующего лабораторией фундаментальных исследований Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова», г. Санкт-Петербург, содержит следующие замечания:

1. Каков размер пристеночного шага?

2. Все-таки о сеточной сходимости следовало что-то конкретное написать.

3. Каковы пределы применимости расчетной методики, в особенности по числу Рейнольдса?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью и высоким уровнем компетентности по всем основным вопросам, рассмотренным в диссертации, включая численное моделирование течений сжимаемых сред при помощи конечно-объемных схем, разработку методов вихреразрешающего

моделирования турбулентных течений и реализующих их программных комплексов, численное решение тестовых и практических задач из области аэродинамики и аэроакустики, что подтверждается списком публикаций официальных оппонентов и сотрудников ведущей организации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. **Разработана** методика моделирования турбулентных течений и создаваемых ими акустических полей для авиационных приложений с использованием схем повышенной точности на неструктурированных сетках.

2. **Разработана** новая схема аппроксимации конвективных слагаемых в дифференциальных уравнениях, описывающих течение сжимаемой среды, позволяющая в расчетах задач внешнего обтекания повысить точность численных результатов за счет применения криволинейных реконструкций в призматических слоях неструктурированных сеток.

3. **Создан** вычислительный модуль в составе программного комплекса NOISEtte, реализующий новый тип реконструкций при сохранении высокой параллельной эффективности и масштабируемости кода. Получено свидетельство РИД о государственной регистрации данного модуля.

4. **Продемонстрированы** преимущества новой схемы в задачах распространения акустической волны в цилиндрическом канале, обтекания сегмента с аэродинамическим профилем NASA 0012 и обтекания модельного двухлопастного винта.

5. С использованием разработанной методики вихререзающего моделирования **проведены** суперкомпьютерные расчеты по моделированию турбулентного течения вблизи **модели** крыла прототипа сверхзвукового пассажирского самолета на режиме посадки и **получены** оценки спектральных характеристик производимого им шума для ближнего и дальнего полей.

Теоретическая значимость исследования состоит в разработке нового типа квазиодномерных реберно-ориентированных реконструкций для

конечно-объемных вершинно-центрированных схем аппроксимации конвективных слагаемых в дифференциальных уравнениях, описывающих течение сжимаемой среды.

Практическая значимость исследования заключается в разработке методики проведения аэродинамических и аэроакустических расчетов внешнего обтекания на неструктурированных сетках и демонстрации возможностей по повышению точности соответствующих численных результатов за счет использования криволинейных реконструкций в области пограничных слоев. Практической значимостью обладают также полученные результаты вихререзающих расчетов шума крыла прототипа сверхзвукового пассажирского самолета на режиме посадки, позволяющие количественно оценить вклад крыла в общий шум данного самолета на посадке, величина которого важна для прохождения сертификационных испытаний.

Достоверность результатов исследования подтверждается при помощи сопоставления точного и численного решений для задачи распространения акустической волны в цилиндрическом канале и сравнения результатов расчетов с экспериментальными данными для задач обтекания сегмента с аэродинамическим профилем НАСА 0012, модельного двухлопастного винта, треугольного крыла и модельной геометрии планера магистрального самолета в посадочной конфигурации.

Личный вклад соискателя состоит в формулировке методики численного решения аэродинамических и аэроакустических задач внешнего обтекания на неструктурированных сетках, разработке новой схемы с криволинейными реконструкциями, реализации данной схемы в программном комплексе NOISEtte, проведении всех описанных в диссертации расчетов, анализе полученных численных результатов и подготовке соответствующих публикаций в научных изданиях.

В ходе защиты диссертации вопросы соискателю задали члены диссертационного совета: д.ф.-м.н., академик РАН Б.Н. Четверушкин,

д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН В.Ф. Тишкин, д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН Ю.В. Василевский, д.ф.-м.н. А.В. Колесниченко, д.ф.-м.н. А.Е. Луцкий.

Тишкин В.Ф. спросил соискателя, какие типы кривых использовались для построения криволинейных реконструкций? Соискатель ответил, что при построении криволинейной реконструкции для каждого ребра, принадлежащего призматическому слою, строилась ломанная линия, полученная при помощи сечения сеточной изоповерхности призматического слоя плоскостью, определяемой рассматриваемым ребром и вектором внешней нормали к нему. Представление в виде гладкой кривой при построении криволинейных реконструкций не использовалось. Тишкин В.Ф. также поинтересовался, рассматривались ли в диссертации только дозвуковые течения? Соискатель ответил утвердительно. Колесниченко А.В. спросил, при помощи каких уравнений или моделей учитывалась турбулентность течения? Соискатель сообщил, что для моделирования турбулентного течения в диссертации применялись осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье–Стокса (RANS), замкнутые при помощи моделей турбулентности Спаларта–Аллмараса (SA), Ментера (SST) или их модификаций с поправками на кривизну линий тока и вращение, а также уравнения гибридного метода отсоединенных вихрей с запаздыванием, замкнутые в RANS области при помощи модели SA. Василевский Ю.В. высказал замечание, что поверхностная сетка, построенная по методу продвигающегося фронта также является полностью неструктурированной, как и сетка, построенная при помощи триангуляции Делоне, обозначенная в диссертации как «полностью неструктурированная». Соискатель согласился с высказанным замечанием. Василевский Ю.В. также спросил, почему новая схема оказывается лучше исходной, в то время как в ней применяются криволинейные реконструкции без перехода к криволинейной системе координат? Соискатель ответил, что положительный эффект от замены прямолинейных реконструкций криволинейными проявляется на сильно анизотропных сетках в областях пограничных слоев, характеризующихся

высокими значениями градиентов течения, и является следствием лучшей согласованности положения точек криволинейной реконструкции с линиями тока вблизи обтекаемой геометрии вместе с обеспечением лучшего баланса расстояний между данными точками. Четверушкин Б.Н. поинтересовался, наблюдалась ли разница в численных результатах при использовании различных моделей турбулентности? Соискатель ответил, что разница в получаемых результатах сильно зависит от решаемой задачи, и во многих задачах является весьма существенной. Четверушкин Б.Н. спросил о том, что принципиально нового в научном плане предложено соискателем для работы со сложными неструктурированными сетками? Соискатель ответил, что принципиальная новизна работы заключается в предложенном подходе к аппроксимации потоков для конечно-объемных реберно-ориентированных схем, основанных на квазиодномерных реконструкциях, в неструктурированных призматических слоях с высокой анизотропией сеточных элементов. Предложенный подход, основанный на использовании криволинейных реконструкций, позволил улучшить точность указанных схем при решении задач аэродинамики и аэроакустики. Тишкин В.Ф. задал вопрос, какое фоновое поле использовалось при линейаризации уравнений в задаче о распространении акустической волны в цилиндрическом канале? Соискатель указал, что при линейаризации скорость невозмущенной среды полагалась равной нулю, а безразмерная плотность – единице.

Луцкий А.Е. попросил объяснить, в чем заключается суть подхода, вынесенного в первый пункт научной новизны диссертации. Соискатель ответил, что данный пункт посвящен вопросу выбора сеточного разрешения на поверхности, используемой в методе Ффокса Уильямса – Хокинга для расчета шума в дальнем поле. Стандартный подход заключается в выборе сеточного разрешения на данной поверхности в полном соответствии с локальным разрешением сетки для прямого расчета, а в диссертации предлагаются параметры более грубого разрешения на указанной поверхности, которые позволяют значительно сократить объем

накапливаемых в ближнем поле данных без существенного ухудшения точности численных результатов.

Принципиальных замечаний в ходе обсуждения диссертации высказано не было. Соискатель содержательно ответил на заданные ему вопросы, в целом согласился с замечаниями, указанными в отзывах, и дал комментарии в необходимых случаях.

Во время дискуссии в поддержку диссертации выступили: д.ф.-м.н., академик РАН Четверушкин Б.Н., д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН Тишкин В.Ф., д.ф.-м.н. Гаранжа В.А., к.ф.-м.н. Корнилина М.А..

На заседании 28 ноября 2024 года диссертационный совет принял решение за разработку метода моделирования турбулентных течений, основанного на использовании криволинейных реконструкций в призматических слоях неструктурированных сеток, и численное исследование с его помощью шума крыла прототипа сверхзвукового пассажирского самолета на режиме посадки, которые вносят существенный вклад в развитие методов математического моделирования, присудить Родионову Павлу Вадимовичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета проголосовали: «за» - 19, «против» - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного совета 24.1.237.01

Четверушкин Б. Н.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.1.237.01

Корнилина М. А.

28.11.2024