

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу

Крапошина Матвея Викторовича

«Математическое моделирование сжимаемых течений с использованием гибридного метода аппроксимации конвективных потоков», представленную на соискание ученной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 — «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Один из современных трендов развития численного моделирования состоит в создании универсальных подходов способных интегрировать в себя различные методы решения комплексных физических проблем, возникающих на стыке разных научных направлений. Основным драйвером такого развития является разработка программных вычислительных комплексов, для которых универсальность наряду с производительностью, является одним из ключевых свойств для успешной конкуренции на рынке инженерных расчетов. Сложности при создании универсальных подходов для решения задач аэро- гидромеханики кроются в наличии нескольких хорошо обоснованных классов вычислительных методов, каждый из которых предназначен для эффективного решения исключительно своего блока проблем. Ярким примером здесь являются методы для моделирования сжимаемой и несжимаемой жидкостей, интеграция которых в единый подход, позволяющий в себе сочетать преимущества обоих классов, представляет отнюдь нетривиальную задачу. По этой причине тема исследования диссертационной работы Крапошина М.В. является, безусловно, актуальной.

Структурно представленная работа поделена на несколько разделов имеющих внутреннюю взаимосвязь.

Во введении обоснованы актуальность темы диссертационного исследования, научная новизна и практическая значимость результатов, сформулированы цель и положения, выносимые на защиту.

В первой главе приводятся базовые уравнения гидро-, аэро- и газо-динамики, описывающие движения сред, рассматриваемых в рамках диссертационной работы: сжимаемого и несжимаемого однофазных течений, течений многокомпонентных газов и двухфазных жидкостей. Рассматриваются наиболее распространенные численные методы их решения. Исследуются преимущества и недостатки этих методов применительно к классам сжимаемых и несжимаемых течений. На основании этих исследований **во второй главе** работы формулируется новый гибридный метод, представляющей собой комбинацию метода Курганова — Тадмора для численного решения гиперболических уравнений и численного метода расщепления для слабосжимаемых течений, позволяющий собрать в себе все сильные стороны обоих этих подходов. Программная реализация гибридного метода представлена в виде программных модулей на языке C++ для использования в составе конечно-объёмной библиотеки OpenFOAM. При этом модульная архитектура пакета позволяет обеспечить взаимодействие нового кода практически со всеми встроенными библиотеками OpenFOAM, включая: расчёт течений в областях с меняющимися границами; поиск стационарных решений; моделирование турбулентных течений методами RANS и LES.

Тестирование возможностей разработанного гибридного метода проводится в **третьей главе** работы на следующих группах задач: верификационные задачи для случая сжимаемого течения; верификационные задачи для случая несжимаемого течения; моделирование распространения акустических колебаний; промышленные задачи. Полученные данные показывают устойчивость, сходимость метода, хорошую точность результатов, а также широкие прикладные возможности метода для решения промышленных задач. Также в этой главе приводятся результаты успешного использования разработанного метода в работах других научных коллективов.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты работы.

Результаты, полученные автором в диссертации – оригинальные, безусловно, обладают **научной новизной**. Особенno следует отметить

практическую ценность работы. Универсальность гибридного метода и представленный формат реализации в виде модулей открытой платформы «OpenFOAM», дают конечным пользователям практически готовый инструмент, который можно использовать на практике для решения широкого круга прикладных задач гидро-, газо- и аэродинамики. Высокие вычислительные возможности гибридного метода М.В. Крапошина нашли свое подтверждение не только в рамках данного диссертационного исследования, но и в работах других ведущих отечественных и зарубежных научных коллективов.

В качестве **замечаний** по диссертационной работе можно отметить:

1. В постановке задачи (3.2.2.1. Обтекание цилиндра в ламинарном режиме) написано, что проводится сравнение решений задачи для двух значений числа Маха – меньше 0.1 и 0.3, которые соответствуют двум предельно допустимым случаям – “глубокий” дозвук (полностью несжимаемое течение) и сжимаемое течение, при фиксированном числе Рейнольдса. Тем не менее в результатах представлено только одно значение коэффициента C_d лобового сопротивления цилиндра. Остаются неразрешенными вопросы. Влияет ли число Маха на интегральные характеристики течения? Для какого случая представлены значения в таблице 3.4.?
2. Для анализа влияния функции-переключателя на свойства численного решения автором выбрана только модифицированная задача Сода. Хотелось бы видеть более обширную серию экспериментов.
3. В работе отсутствуют обобщающие замечания о результатах верификации метода.

Указанные замечания не являются принципиальными и не меняют общего положительного мнения о диссертации. В целом работа представляет завершенное практически значимое научное исследование, выполненное на хорошем теоретическом и прикладном уровне. Текст диссертации написан добрым научным языком и дает полное представление о поставленных задачах и достигнутых результатах.

Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание

диссертации. Результаты исследования прошли достаточную апробацию, представлялись на конференциях и семинарах различного уровня. По работе имеется достаточное количество публикаций в журналах из перечня ВАК.

Диссертационная работа «Математическое моделирование сжимаемых течений с использованием гибридного метода аппроксимации конвективных потоков» отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а её автор – Крапошин Матвей Викторович, без сомнения, заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 — «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

К. ф.-м. н., научный сотрудник НИИ механики
ФГАОУ ВО “Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского”

Нуриев Артем Наилевич

603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23, корп.6
+79033407647
e-mail: nuriev_an@mail.ru

