

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Стручкова Андрея Викторовича «Повышение эффективности трехмерного численного моделирования сверхзвуковых течений при конечно-объемной дискретизации на неструктурированных сетках», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 — «Механика жидкости, газа и плазмы».

Стручков А.В. проходил обучение в аспирантуре ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» с 1.10.2012 по 1.10.2015 г. по специальности «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». По завершению обучения были сданы кандидатские экзамены по дисциплинам «История и философия науки», «Иностранный язык» и специальной дисциплине. Для сдачи кандидатского экзамена по дисциплине «Механика жидкости, газа и плазмы» Стручков А.В. был прикреплен к аспирантуре ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (ФГБОУ ВО «НГТУ») в мае 2023 года.

В период подготовки диссертации Стручков Андрей Викторович работал в ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» ИТМФ в должности старшего научного сотрудника. Характерными чертами Стручкова А.В. является: ответственность, отзывчивость, доброжелательность, трудолюбие. Он обладает большой работоспособностью, его отличают инициативность, увлеченность и творческий подход к решению задач. За весь период работы Стручков А.В. зарекомендовал себя как квалифицированный специалист в области численного моделирования.

Он активно принимает участие в решении методических и производственных задач, участвует в выполнении НИР и связанных с ней расчетных исследований, проводимых в рамках совместных работ с предприятиями авиационной промышленности.

Кроме того, Стручков А.В. занимался решением методических вопросов в области моделирования различных течений. Полученные результаты были использованы для написания диссертационной работа, посвященной исследованию ударно-волновой структуры течения при сверхзвуковом обтекании тел различной конфигурации на произвольной неструктурированной сетке, включая описание ударных волн при их отражении и взаимодействии с пограничным слоем, а также характеристики распределения газодинамических величин в зависимости от параметров течения. В диссертации представлены результаты разработки:

- схемы расчета ограничителя потока, порог срабатывания которого основан на газодинамических параметрах течения;
- гибридной схемы вычисления градиента газодинамической величины, обеспечивающей повышение точности определения аэродинамических характеристик тел;
- технологии многосеточной инициализации расчетного поля, применяемой на неструктурированных сетках с гранево-ячеечной структурой хранения данных, используемых при конечно-объемном способе дискретизации;
- технологии статической адаптации неструктурированной расчетной сетки, использующей гранево-ячеечную структуру хранения данных, при конечно-объемном способе дискретизации;

и результаты научных исследований:

- ударно-волновой структуры течения при сверхзвуковом обтекании тел различной конфигурации на произвольной неструктурированной сетке, включая описание ударных волн при их отражении и взаимодействии с пограничным слоем, а также характеристики распределения газодинамических величин в зависимости от параметров течения в совокупности со случаями внедрения дополнительных механических элементов;

- применимости модифицированного ограничителя потока для моделирования сверхзвуковых течений, показывающие возможность достоверно воспроизводить поведение ударной волны в процессе ее распространения в газовой среде;
- точности схем вычисления градиентов газодинамических величин в зависимости от формы расчетной ячейки;
- ускорения сходимости решения при использовании многосеточной инициализации на задачах сверхзвукового обтекания объектов, показывающие сокращение (до 20%) времени расчета задач сверхзвуковых течений;
- применения метода адаптивно-встраивающихся сеток для моделирования сверхзвуковых течений, выражаемые в повышении достоверности моделирования процессов вследствие увеличения точности разрешения фронта ударных волн, получаемых на сеточной модели с областями локального измельчения, соответствующих положению особенностей сверхзвукового течения.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы. Во введении обосновывается актуальность исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, приводится обзор научной литературы по изучаемой проблеме, формулируется цель, ставятся задачи работы, излагается научная новизна и практическая значимость представляемой работы.

Первая глава посвящена описанию математической модели, основанной на методе конечных объемов применительно к системе уравнений Навье-Стокса с ориентацией на произвольные неструктурированные сетки.

Вторая глава посвящена разработке методов повышения эффективности расчета на сеточном уровне – рассматривается процедура инициализации на основе геометрического многосеточного метода и алгоритм статической адаптации расчетной сетки под особенности течения.

Третья глава посвящена применению методов и алгоритмов, описанных в работе, для численного исследования сверхзвукового течения в канале, характеризующегося взаимодействием отраженной ударной волны с пристеночным слоем течения. Так же рассматривается сверхзвуковое обтекание маневренного летательного аппарата, при исследовании АДХ которого применяются разработки, описанные в диссертационной работе.

В заключении сформулированы основные результаты, изложенные в диссертации:

- 1) Исследована ударно-волновая структура течения при сверхзвуковом обтекании тел различной конфигурации на произвольной неструктурированной сетке. Получено достоверное описание ударных волн при их отражении и взаимодействии с пограничным слоем, а также характеристики распределения газодинамических величин в зависимости от параметров течения, включая случаи внедрения дополнительных механических элементов;
- 2) Исследована применимость ограничителя потока при расчете на неструктурированной сетке. Разработана и реализована модифицированная схема расчета ограничителя потока. Проведена калибровка и получено значение константы, входящей в выражение, определяющего порог срабатывания ограничителя. Показано повышение точности расчета и возможность достоверно воспроизводить поведение ударной волны в процессе ее распространения в газовой среде при использовании разработанной схемы расчета ограничителя на различных сетках.
- 3) Исследованы свойства метода Грина-Гаусса и метода наименьших квадратов для расчета градиента с целью выявления зависимости точности получаемого значения от формы расчетной ячейки. Разработана и реализована гибридная схема расчета градиента с использованием весовой функции. Разработана весовая функция, учитывающая геометрические особенности расчетной ячейки. Показано повышение

- точности решения и достоверности моделирования процессов сверхзвукового течения газа при использовании разработанной схемы на различных сетках.
- 4) Разработан и реализован метод, основанный на алгоритме построения последовательности грубых сеток, для инициализации поля течения газодинамическими параметрами. Для моделирования сверхзвукового обтекания на произвольной неструктурированной сетке и получения распределения газодинамических величин показано ускорение сходимости решения при использовании данного метода.
 - 5) Разработан и реализован метод статической адаптации расчетной сетки. Показано повышение достоверности моделирования сверхзвукового течения вследствие увеличения точности разрешения фронта ударных волн при расчете на сетке, полученной в результате применения алгоритма адаптации.

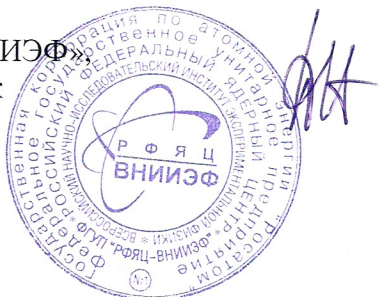
Результаты, описанные в диссертационной работе, были представлены Стручковым А.В. на всероссийских и международных конференциях, а также научных школах-семинарах. Кроме того, в соавторстве со Стручковым А.В. основные положения диссертации представлены в 8 публикациях, включенных в список ВАК и/или входящих в мировые индексы цитирования (SCOPUS, Web of Science).

Диссертация Стручкова А.В. представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, выполненную на высоком научном уровне. Полученные результаты достоверны, являются новыми, выводы и заключения обоснованы. Считаю, что диссертанту Стручкову Андрею Викторовичу может быть присуждена учёная степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 «Механике жидкости, газа и плазмы».

Научный руководитель:
начальник научно-исследовательского отдела
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» ИТМФ,
доктор физико-математических наук

Козелков
Андрей Сергеевич

Подпись А.С. Козелкова заверяю,
учёный секретарь ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,
кандидат физико-математических наук



Бликов
Антон Олегович