

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования

«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»
(МФТИ, Физтех)

Юридический адрес: 117303, г. Москва,
ул. Керченская, дом 1 А, корпус 1

Почтовый адрес: 141700, Московская обл.,
г. Долгопрудный, Институтский переулок, 9
Тел.: +7 (495) 408-57-00, факс: +7 (495) 408-68-69

info@mipt.ru

30.10.2023 № 8.08-05/8402
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

Баган Виталий

Анатольевич

2023 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Цветковой Валерии Олеговны** «Динамическая адаптация подвижной неструктурированной сетки для моделирования течений газа вблизи движущихся тел произвольной конфигурации» представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Актуальность темы. Моделирование турбулентных течение актуально для множества отраслей промышленности, включая медицину и авиационную отрасль. Соответствующий интерес постоянно стимулирует появление новых исследований в области газодинамики и поиск подходов для решения все более разнообразных задач. Особенно актуальны исследования в области нестационарной газодинамики, в частности задачи обтекания подвижных тел. Решение задач, где присутствуют один или несколько подвижных обтекаемых объектов, или объекты с подвижными или отделяемыми частями, воспроизводит множество реальных конфигураций.

Исследование обозначенных задач, как правило, подразумевает разработку сеточных технологий и численных моделей для воспроизведения

течений вблизи подвижных тел. Разработке и исследованию таких методов посвящена работа Цветковой Валерии. Предложенный метод строится на основе сочетания метода погруженных границ с разработанной автором анизотропной адаптацией подвижной сетки, использующей гибридную явно- неявную модель описания тела.

Общая характеристика диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы.

Введение посвящено обзору существующих подходов к моделированию течений вблизи движущихся тел. Рассматриваются различные подходы к сеточной адаптации в контексте использования метода погруженных границ. Во введении представлены актуальность, научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы задачи, приведены положения, выносимые на защиту.

Первая глава описывает математическую модель на основе уравнений Навье-Стокса с погруженными граничными условиями и используемые численные методы. Обсуждается целесообразность включения сеточной адаптации в методику.

Вторая глава посвящена математическому описанию метода анизотропной адаптации подвижной неструктурированной сетки к поверхности тел произвольной формы. Приводится алгоритм адаптации на основе вариационного исчисления и методика задания управляющих метрик с использованием параметров поверхности для построения оптимальной анизотропной адаптации к телам сложной конфигурации.

В третьей главе описывается гибридная геометрическая модель тела. Модель позволяет задавать положение тела в односвязной области и хранит характеристики его формы, используя фоновые сетки и поисковые деревья.

Четвертая глава посвящена программной реализации модулей, связанных с построением адаптации, и схеме их взаимодействия с расчетным кодом.

В *пятой главе* приводятся результаты тестовых и верификационных расчетов. Рассматриваются различные двух- и трехмерные модельные задачи.

Шестая глава содержит основные численные результаты по моделированию тонального шума изолированного винта квадрокоптера. Предварительно решаются некоторые вспомогательные постановки для тестирования алгоритмов для работы со сложной формой винта. В итоге, для трехмерной постановки представлены численные результаты по тональной акустике и аэродинамическим силам.

В *заключении* сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна заключается в разработке и программной реализации метода моделирования течений вблизи движущихся тел сложной формы на основе комбинации метода погруженных границ с динамической адаптацией подвижной неструктурированной сетки. Предложен новый алгоритм задания управления анизотропной адаптации сетки с учетом особенностей геометрии. Разработана эффективная гибридная модель задания тела, включающая в себя этап предварительной подготовки и обработки геометрии и методы быстрого доступа к различным параметрам формы тела.

Практическая и теоретическая значимость работы заключается в разработке алгоритма задания управляющей метрики анизотропной адаптации подвижной сетки для использования ее в комбинации с методом погруженных границ и программной реализации в рамках программного комплекса NOISEtte предложенной методики для моделирования аэродинамики подвижных тел сложной формы.

Достоверность обеспечивается проведением тестирования и верификации всех изложенных алгоритмов, и сравнением численных результатов моделирования относительно иных достоверных подходов и экспериментальных данных. Результаты работы докладывались на пяти российских и международных конференциях. Материалы диссертации

представлены в 10 работах, опубликованных в журналах из перечня ВАК или индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science.

Автореферат полностью и точно отражает содержание диссертации.

В ходе ознакомления с текстом диссертации возникли следующие вопросы и замечания.

1. В работе не проведен анализ области применимости разработанной методики, а также не сформулированы условия для ее применимости.
2. В работе проведены оценки эффективности разработанной методики на примере решения ряда задач. Из полученных оценок следует, что предложенная методика требует существенных вычислительных затрат. Содержащиеся в диссертации примеры снижения вычислительных затрат за счет применения интерполяции при адаптации не совсем убедительны, в частности из-за того, остается открытым вопрос, всегда ли такая интерполяция применима.
3. Замечание о возможности уменьшения степени сгущения сетки для снижения вычислительных затрат за счет применения функции стенки не подтверждено примерами
4. В работе не упоминается порядок аппроксимации используемой в расчетах численной схемы, а также не содержатся результаты экспериментального исследования порядка схемы путем решения задач на последовательности сгущающихся сеток.
5. Вызывает сомнение использование термина «модель» в контексте «гибридной геометрической модели». Как минимум, необходимо было бы дать дополнительное обоснование правомерности этого термина.
6. Для рассмотренной в диссертации задачи моделирования турбулентного обтекания изолированного винта квадрокоптера не указаны вычислительные затраты (ни в терминах задействованных ресурсов вычислительного кластера, ни в терминах физического времени расчета).

Указанные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертационной работы В.О. Цветковой.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней. Диссертация Цветковой Валерии Олеговны является законченным научным исследованием, содержание и результаты работы соответствуют паспорту научной специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ и требованиям п. 9 Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 №842 «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, В.О. Цветкова, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв обсужден и одобрен на научном семинаре кафедры вычислительной физики 07 сентября 2023 года протокол № 2.

Отзыв подготовил

д.ф.-м.н., доцент



Симаков Сергей Сергеевич

Почтовый адрес: 141700, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9.

Телефон: 8(495) 408-73-81

Адрес электронной почты: simakov.ss@mipt.ru

Организация – место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», кафедра вычислительной физики.

Должность: доцент кафедры вычислительной физики МФТИ.

Web-сайт организации: <https://mipt.ru>