

ОТЗЫВ

научного консультанта на диссертационную работу **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

С Цветковой Валерией Олеговной мы начали совместную работу в 2016 году во время ее обучения в магистратуре МФТИ. Под моим научным руководством Цветкова В.О. подготовила магистерскую работу «Построение разбиений с точным выполнением условий Делоне-Вороного в областях сложной формы», посвященную геометрическому моделированию и построению расчетных сеток. После окончания обучения Цветкова В.О. поступила в аспирантуру ИПМ РАН и продолжила работу под руководством д.ф.-м.н. Козубской Татьяны Константиновны. Цветкова В.О. занялась моделированием обтекания подвижных тел, а также разработкой и тестированием модулей программного обеспечения NOISEtte. Рассматриваемая задача обтекания в рамках используемого метода подвижных границ потребовала отдельного рассмотрения проблем, связанных с геометрическим представлением подвижного тела и адаптацией расчетной сетки к его границе.

Перед Цветковой В.О. была поставлена задача модификации вариационного метода построения расчетной сетки, разрабатываемого в группе д.ф.-м.н. Гаранжи В.А. на базе ФИЦ ИУ РАН, для адаптации к геометрии тела. В таком подходе связность сетки не изменяется, а узлы сетки смещаются в зависимости от времени таким образом, чтобы вблизи тела размер сетки удовлетворял заданному закону сгущения. Новое положение узлов сетки находится посредством минимизации функционала меры искажения, которая тем больше, чем хуже соответствие сетки управлению. Вариационный метод позволяет смещать узлы расчетной области на большие расстояния в сравнении с размером тела с гарантией невырожденности ячеек сетки и решать задачу адаптации даже в случае большого смещения тела без перестроения сетки, без изменения числа узлов и без дополнительной перераспределения данных между процессами. Требовалось добиться максимально возможного сгущения к границе тела для априори заданного числа узлов в расчетной области без разрыва сетки.

В настоящее время эта задача слабо исследована в такой постановке, поэтому ее решение потребовало продолжения нашей совместной работы с Цветковой В.О. в области построения расчетных сеток.

В ходе работы выяснилось, что результат адаптации очень чувствителен к заданию управления. Для получения распределения узлов пригодного для расчета в двумерном случае потребовалось задание специального закона, который не приводил бы к скачкам размера между соседними ячейками и разрывам вдали от тела. В трехмерном случае задача усложнилась подбором управления в касательной плоскости к границе тела таким образом, чтобы добиться хорошего разрешения границы тела без изменения числа узлов. Подбор закона размера по нормали и закона распределения анизотропии в касательной плоскости, а также другие возникшие в ходе работы задачи, потребовали глубокого изучения данной темы, проведения исследования и аккуратного тестирования.

Цветкова В.О. справилась со всеми поставленными задачами. В результате чего был разработан новый метод адаптации расчетной сетки к геометрии тела, использующий в качестве управляющих параметров главные кривизны тела, а также расстояния до внутренних и внешних медиальных осей. Ей удалось добиться сгущения относительно исходной квазиравномерной сетки в 100 раз в двумерном и до 30-40 раз в трехмерном случае для реалистичных конфигураций. Предложенный алгоритм был протестирован на

серии двумерных тестовых примерах, а также на таких сложных трехмерных моделях как фюзеляж вертолета и винт квадрокоптера, которые по своей сложности находятся вблизи предела применимости используемого подхода сеточной адаптации. Тем не менее удалось провести расчет для этих тел, используя гибридный подход на основе метода погруженных границ в сочетании с динамической подвижной сеткой, и получить приемлемые результаты.

Цветковой В.О. предложена гибридная геометрическая модель тела. Эта модель предполагает возможность задания тела или в явном виде с возможностью прямого вычисления расстояния до его триангулированной границы, или в неявном виде, как функция расстояния, заранее вычисленная на интерполяционной решетке. Также ею реализована комбинация этих представлений для достижения ускорения вычислений без потери точности. Использование гибридной модели предполагает также перенос на интерполяционную решетку геометрических характеристик тела, таких как главные кривизны, направления главных кривизн и расстояния до медиальных осей. Цветковой В.О. было реализовано хранение всех необходимых характеристик тела, а также алгоритм эффективной интерполяции метрического тензора, построенного по этим характеристикам.

Разработанный подход был реализован Цветковой В.О. в качестве модуля программного комплекса NOISEtte. Ею было проведено тестирование параллельной эффективности данного модуля с использованием средств библиотеки MPI для работы на вычислительных системах с распределенной памятью.

Таким образом, Цветкова В.О. является сложившимся специалистом, способным решать сложные научные задачи. Ее диссертационная работа «Динамическая адаптация подвижной неструктурированной сетки для моделирования течений газа вблизи движущихся тел произвольной конфигурации» представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне, она отвечает всем требованиям Положения ВАК о присуждении ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Научный консультант,
к.ф.-м.н.,
научный сотрудник
ФИЦ ИУ РАН

Кудрявцева Людмила Николаевна

Подпись Кудрявцевой Л.Н. удостоверяю
Ученый секретарь
ФИЦ ИУ РАН,
д.т.н.



Захаров Виктор Николаевич

06.06.2023