

«УТВЕРЖДАЮ»



И.о. директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматизации проектирования Российской академии наук, член-корреспондент РАН

 Холодов А.С.

«» 2014г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Кондакова Василия Гаврильевича «Обобщение разностной схемы КАБАРЕ на многомерные уравнения газовой динамики», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – “Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ”.

Эффективные алгоритмы для решения уравнений газовой динамики играют ключевую роль во многих областях механики жидкости и газа, от нестационарной аэродинамики и аэроакустики до задач переноса в гидродинамике при высоких числах Рейнольдса и Пекле. В этой связи разработка новых и модификация уже существующих численных методов решения уравнений газовой динамики остается актуальной задачей вычислительной математики. Примером перспективного метода второго порядка является схема КАБАРЕ, определенная на компактном постоянном шаблоне, обладающая улучшенными диссипативными и дисперсионными свойствами и допускающая введение нелинейной коррекции потоков на основе принципа максимума в областях больших градиентов. Диссертационная работа Кондакова В.Г. посвящена обобщению исходных идей метода КАБАРЕ, сформулированных для одномерных уравнений газовой динамики, на многомерный случай, разработке соответствующих вычислительных алгоритмов, их программной реализации на многопроцессорных вычислительных комплексах и решению на суперкомпьютере «Ломоносов» прикладной задачи о генерации шума струей авиационного двигателя.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, содержащего 69 цитированных источников.

Во введении сформулированы цель и задачи работы, дается обоснование актуальности выбранной темы исследования.

Первая глава диссертации посвящена описанию модификации одномерной схемы КАБАРЕ для уравнения газовой динамики с учетом возникновения звуковых точек. Введена новая процедура реконструкции потоков. Показано, что модифицированная схема, позволяет моделировать дозвуковые, сверхзвуковые и промежуточные течения в газе для широкого круга задач. На тестовых примерах проиллюстрированы диссипативные и дисперсионные свойства разностной схемы КАБАРЕ. Решены задача Сода об ударной трубе со сверхзвуковой волной разрежения и задача Шу-Ошера, в которой рассматривается прохождение сильной ударной волны по неподвижному фону с синусоидально возмущенной плотностью.

Во второй главе диссертации описывается обобщение разностной схемы КАБАРЕ с улучшенной процедурой коррекции потоков, предложенной в первой главе, на двумерные уравнения Эйлера. Рассмотрен случай неравномерных ортогональных сеток и различные виды граничных условий. Проведено исследование диссипативных и дисперсионных свойств новой схемы на серии модельных задач. Показано, что двумерная схема КАБАРЕ на ортогональных сетках оказывается бездиссипативной на классах двумерных течений, в которых характеристики одного семейства не пересекаются. К таким задачам относятся задачи о распространении звуковых возмущений и задачи о двумерных вихрях с неподвижной осью вращения. Продемонстрировано, что неподвижный вихрь Гаусса на грубой расчетной сетке в расчетах по схеме КАБАРЕ не теряет своей амплитуды. Решена модельная задача о взаимодействии сильного и слабого вихрей Гаусса с ударной волной.

В третьей главе описывается обобщение схемы КАБАРЕ на уравнения Навье-Стокса для трехмерных ортогональных сеток. Как и в одномерном случае переменные подразделяются на консервативные и потоковые. Консервативные переменные относятся к центрам расчетных ячеек, потоковые – к граням. Таким образом, в трехмерном случае общее количество неизвестных оказывается в четыре раза больше, чем в традиционных схемах. Вязкие члены в уравнениях аппроксимируются явным образом на 7-ми точечном шаблоне. Вихреразрешающие свойства трехмерной схемы КАБАРЕ демонстрируются на модельной задаче об обтекании обратного уступа при числе Рейнольдса 5000 и числе Маха 0.5. Задача решалась без использования каких либо моделей турбулентности, т.е., по

существо, методом прямого численного моделирования. Продемонстрировано удовлетворительное совпадение результатов расчетов с имеющимися экспериментальными данными.

В четвертой главе диссертации схема КАБАРЕ обобщается на произвольные неструктурированные расчетные сетки с косоугольными гексагональными ячейками. Переход к косоугольным ячейкам дает возможность использовать в расчетах производственных задач расчетные сетки, адаптированные к криволинейным границам областей, характерных для инженерно – технических устройств. В частном случае ортогональных сеток алгоритм переходит в описанный в третьей главе. Описанная вычислительная методика реализована в пакте прикладных программ с использованием библиотеки MPI, ориентированном на многопроцессорные вычислительные комплексы.

Пятая глава посвящена численному решению прикладной задачи о генерации звука реактивной струей, истекающей из одноконтурного авиационного двигателя. Эта задача является чрезвычайно актуальной в свете нарастания конкурентной борьбы между авиаперевозчиками при ужесточении ограничений на допустимый шум на местности. Для адекватного описания источника шума необходимо с высокой точностью рассчитывать турбулентные характеристики струи. Использование для этих целей схемы КАБАРЕ позволяет отказаться от настроечных параметров и использования моделей турбулентности. Расчеты, тем самым, ведутся в Implicit LES приближении. Задача решена на последовательности сгущающихся сеток. Проведена статистическая обработка результатов, получено совпадение результатов с данными европейского верификационного эксперимента JEAN.

Замечания.

- При описании постановки задачи об обтекании обратного уступа не указано число Маха, нет информации об используемых расчетных сетках, не описаны граничные условия. Нет полноты и в описание результатов расчетов. В качестве основного результата дается длина зоны рециркуляции. Следовало бы привести и распределение средних значений вязких напряжений по нижней границе области.
- В задаче о генерации шума турбулентной струей отсутствует описание алгоритма расчета звуковых полей в дальней зоне.

Указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы.

Научная новизна и практическая значимость настоящей диссертационной работы состоит в том, что схема КАБАРЕ была впервые обобщена на многомерный случай, написан пакет программ для многопроцессорных вычислительных комплексов и продемонстрирована возможность его использования при решении актуальных задач аэроакустики.

Все положения и выводы диссертации достоверны и научно обоснованы. Полученные в диссертационной работе результаты являются новыми и имеют общенаучный интерес. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК. Автореферат верно отражает содержание диссертации. Выносимые на защиту положения опубликованы в научных журналах, рекомендованных ВАК.

Диссертация Кондакова В.Г. «Обобщение разностной схемы КАБАРЕ на многомерные уравнения газовой динамики», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», удовлетворяет требованиям ВАК, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв подготовлен на основании положительного заключения, сделанного в Отделе вычислительных методов и турбулентности Института автоматизации проектирования Российской академии наук на заседании 1-го сентября 2014 г., протокол № 1.



ав.отделом, д.ф.-м.н., профессор

В. Трофимкина
01.09.2014

Трошкин О.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматизации проектирования Российской академии наук.

123056, Москва, 2-ая Брестская ул, д.19/18, эл.почта: icad@icad.org.ru, т. (499) 250-02-62.