

УДК 621.52

Д.М.Поздеев (4 курс, каф. ИМТ), Ю.М.Печатников, к.т.н., доц.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ В ОБЛАСТИ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ

Работа турбин, компрессоров и вакуумных насосов, двигателей внутреннего сгорания, реактивных двигателей, нано - технологии, распространение загрязнений в атмосфере и океанах, полеты летательных аппаратов, атмосферные явления и многие другие физические процессы обусловлены динамикой газов.

При исследовании газодинамических процессов в практически важных приложениях интегрально – кинетическими методами возникают значительные и, как правило, непреодолимые трудности [1-3]. Эти трудности возникают, так как рассматриваются течения газа через каналы со сложной геометрией, что приводит к значительным трудностям при формулировании и постановке начальных и граничных условий.

Исследования на базе натуральных измерений, как правило, дают качественную информацию о распределении плотности и давления в исследуемой области. Датчики могут зарегистрировать числовые значения лишь в тех точках пространства, где они установлены. При этом наличие датчиков искажает структуру исходного явления, что приводит к существенным погрешностям и систематическим ошибкам, оценка которых весьма затруднительна. Отметим, что натурные измерения, как правило, являются дорогостоящими.

Численные методы моделирования газодинамических процессов, в настоящее время, являются основным инструментом в исследовании сложных процессов газовой динамики. В условиях установившихся представлений о физике этих процессов численные методы применимы в любых пространственных и временных диапазонах, при любых давлениях и температурах. Позволяют получить распределение всех газодинамических параметров во всей области и в каждой отдельно взятой ячейке. При численном моделировании исследователь имеет возможность качественно и количественно проследить эволюцию изучаемого явления.

Следует отметить, что в настоящее время существуют программные пакеты позволяющие решать задачи газовой динамики в области молекулярного и вязкостного течения. Например, STAR CD[®] CD-adapco group, FlowVision[®], EFDLab[®] Nika GmbH, ANSYS[®].

В последние годы появилась потребность в разработке и развитии методов математического моделирования газовых потоков в каналах в переходной области, лежащей между областями молекулярного и вязкостного течения, при числах Кнудсена от 100 до 0,01 [1-6].

Анализ динамики изотермического переходного течения разреженного газа в каналах в молекулярно-вязкостной области, показал, что представления о природе газодинамических процессов этой области не установились [1-7]:

1) представления кинетической теории о хаотическом блуждании молекул в молекулярном режиме и континуальной теории о ламинарном течении в вязкостном режиме несогласованны;

2) не ясна природа целого ряда явлений, наблюдаемых при измерениях:

– значения проводимости длинных трубопроводов при уменьшении чисел Кнудсена от 100 до приблизительно 1 уменьшались, а при дальнейшем уменьшении чисел Кнудсена (Kn)

от приблизительно 1 до 0,001 монотонно возрастали (широко известное явление - парадокс Кнудсена);

– значения проводимости отверстий и коротких трубопроводов монотонно возрастают с увеличением давления во всем диапазоне переходного течения, от молекулярного до вязкостного;

– в условиях границы «молекулярно-вязкостный режим – вязкостный режим» при $Kn \cong 0.01$ проводимости отверстия, короткого и длинного трубопровода одинаковых диаметров стремятся к одинаковым значениям.

Несмотря на приблизительные представления, верификация моделей и методов в динамике разреженных газов показала, что при исследованиях газовых потоков при переходном течении широко применяются имитационные методы прямого [6] и вероятностного [7] моделирования.

Реализация метода прямого моделирования требует значительных ресурсов [6,7]. Отметим, эквивалентность метода прямого моделирования решению уравнения Больцмана далеко не очевидна. Погрешность, с которой данный метод аппроксимирует уравнение Больцмана, определяется ошибкой, вносимой в величину среднего свободного пути молекул, которая асимптотически приближается к значению, даваемому кинетической теорией при приближении числа моделируемых частиц к числу молекул в реальном газе. Точность, с которой задаются законы взаимодействия между молекулами, также вносит погрешность в результаты, получаемые данным методом. То, что Г.Бердом рассматриваются только парные столкновения частиц, является существенным ограничением применения этого метода [1,7].

Метод вероятностного моделирования реализуется при использовании ординарной информационной технологии. Отметим, что в методе вероятностного моделирования [7] решены две задачи, которые значительно упрощают процесс применения этого метода в инженерной практике:

1. Смоделировано движение молекул в канале, включая эффекты взаимодействий ансамбля молекул в газовом потоке. Решена эта задача статистическим образом [7]. Отметим, что основная трудность при вероятностном подходе состояла в выявлении случайных событий и закономерности их появления.

2. Упрощен процесс подготовки математической модели конфигурации канала. Для решения этой задачи разработан специальный *графический редактор*, который позволяет задавать трехмерную конфигурацию канала в графической форме с автоматической генерацией математической модели и внутримашинного представления конфигурации канала, и *программный интерфейс*, который позволяет передавать внутримашинное представление конфигурации канала в программный модуль, в котором моделируется газовый поток.

Экономический эффект использования систем компьютерного инженерного анализа достигается благодаря быстрому внедрению (не нужно специального оборудования, длительной подготовки экспериментов и персонала) и значительному сокращению затрат на проведение экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Богомолов С.В. Уравнение Фоккера-Планка при умеренных числах Кнудсена // Математическое моделирование. 2003. Т.15, № 4. С.16-22.
2. Попов С.П., Черемисин Ф.Г. Пример совместного численного решения уравнений Больцмана и Навье-Стокса // Ж. Вычисл. Матем. и Матем. Физ., 2001.т.41, № 3. С.489-500.
3. Ребров А.К., Рудяк В.Я. Юбилей уравнения Больцмана // Теплофизика и аэромеханика. 2003. № 3. С. 277–278.
4. Ребров А.К. Научные маршруты // Наука в Сибири. 2000. N.48(1284). С. 4.

5. Тропп Э.К. Идея пограничного слоя за пределами теории Прандля // Проблемы механики жидкости и газа. СПб.: Издательство СПбГТУ, 2000. С. 125-133.
6. Захаров В.В., Крифо Ж.Ф., Лукьянов Г.А., Родионов А.В. О моделировании сложных неравновесных течений газа в широком диапазоне чисел Кнудсена // Математическое моделирование. 2003. № 8. С. 91 – 95
7. Печатников Ю.М. Современные модели и методы моделирования переходного течения разреженных газов // Журнал технической физика. 2003. вып.12. С.20-25.