

Вторник, 21.09.2010. 11:00

Тема: Численное моделирование течений газовзвеси: эффекты разреженности несущей среды и столкновений между дисперсными частицами

Автор: Алексей Николаевич Волков (докторант каф. гидроаэродинамики
СПбГУ, по материалам докторской диссертации)

Работа посвящена численному моделированию течений газа с примесью твердых дисперсных частиц. Основной акцент сделан на исследование течений, в которых важную роль играют столкновения между дисперсными частицами, либо кинетическая неравновесность несущей среды, связанная с ее разреженностью. В работе рассматриваются течения, в которых реализуется переходный по числу Кнудсена режим течения дисперсной фазы, а следовательно, распределения дисперсных частиц по скоростям также являются существенно неравновесными.

Для расчета течений в таких условиях разработана комбинированная модель двухфазной среды. Дисперсная фаза описывается на кинетическом уровне при помощи модифицированного уравнения Больцмана, интеграл столкновений в котором учитывает неупругость столкновений между частицами. Учитывается распределение частиц по размерам, вращение частиц и их тепломассобмен с несущим газом. Несущий газ, в зависимости от условий, описывается либо моделью, основанной на полных уравнениях Навье-Стокса для сжимаемого газа, либо кинетической моделью, основанной на системе уравнений Больцмана для смеси газов. Дополнительные слагаемые как в уравнениях Навье-Стокса, так и в уравнениях Больцмана описывают влияние примеси на течение несущего газа.

Для численного решения задач динамики газовзвеси разработаны два пакета прикладных программ. Первый пакет основан на континуальной модели для несущей среды, второй – на кинетической. Уравнения Навье-Стокса решаются численно на многоблочных сетках при помощи TVD схем с аппроксимацией диссипативных слагаемых центральными разностями. Течения смесей разреженного газа рассчитываются на кинетическом уровне методом прямого статистического моделирования. В обоих пакетах течение дисперсной фазы также рассчитывается методом прямого статистического моделирования, учитывающим особенности дисперсных частиц. Метод прямого статистического моделирования для дисперсной фазы и несущего газа реализован в виде параллельного вычислительного кода. В расчетах с использованием до 4000 процессоров установлено, что данный код обладает хорошими показателями масштабируемости.

Код, основанный на методе прямого статистического моделирования, использован для изучения взаимодействия индивидуальных дисперсных частиц с разреженным газом. В частности, исследованы силы, моменты, и тепловые потоки, действующие на вращающуюся сферическую частицу при ее обтекании разреженным газом в околоконтинуальном и

переходном режимах в широком диапазоне чисел Маха. Данные расчетов обобщены в виде соотношений, пригодных для расчета сил, моментов, и тепловых потоков на вращающейся сфере в зависимости от чисел Рейнольдса и Маха. Получены первоначальные данные о влиянии испарения (сублимации) на течение и теплообмен сферы, а также на газодинамическую интерференцию сфер в переходном режиме течения. Рассмотрено течение, индуцированное лазерным нагревом и испарением дисперсной частицы в вакууме.

Комбинированная вычислительная модель двухфазного течения использована для исследования трех классов течений: (1) течений около лобовой поверхности затупленного и заостренного тел, где поле течения дисперсной фазы определяется столкновениями между частицами, движущимися к поверхности тела, и отраженными от нее, (2) течений в следе при поперечном обтекании кругового цилиндра, а также группы цилиндров при умеренных числах Рейнольдса, а также (3) течений смеси газов с примесью частиц при лазерной абляции плоской мишени и цилиндрической полости. Показано, что столкновения между частицами играют определяющую роль как в формировании поля течения дисперсной фазы около лобовой поверхности тела, так и течения несущего газа, включая пограничный слой на поверхности. Описан процесс затухания квазипериодического течения в следе за цилиндром вследствие воздействия дисперсной фазы. Исследована динамика дисперсных частиц, образованных в результате фрагментации мишени, в процессе расширения облака продуктов лазерной абляции.