

**Вторник, 10.12.2013. 11:00**

## **Тема: Неравновесные эффекты в вязких газах**

Автор: Елена Владимировна Кустова (каф. гидроаэромеханики СПбГУ)

[elena\\_kustova@mail.ru](mailto:elena_kustova@mail.ru)

В докладе обсуждаются некоторые неравновесные эффекты, которыми систематически пренебрегают при численном моделировании течений вязких газов с возбужденными внутренними степенями свободы и химическими реакциями. Речь идет о связи диагональных членов тензора напряжений со скоростями неравновесных процессов. Из кинетической теории известно, что в газах с внутренними степенями свободы возникают объемная вязкость и релаксационное давление. Явление объемной вязкости довольно широко изучалось в литературе, и хотя коэффициент объемной вязкости часто превышает коэффициент сдвиговой вязкости, влияние членов с объемной вязкостью на напряжения обычно оказывается малым из-за структуры уравнений гидродинамики. Исключение составляют лишь некоторые специфические течения. Что касается релаксационного давления, то его роль в переносе импульса практически не исследована. То же можно сказать о поправках первого порядка к скоростям неравновесных физико-химических процессов. Работы по кинетической теории указывают на то, что в вязком газе скорости неравновесных реакций должны зависеть от дивергенции скорости; кроме того, скорости различных реакций не являются независимыми. Однако при практических расчетах вязких течений принято пользоваться законом действующих масс для расчета скорости химических реакций и формулой Ландау-Теллера для скорости колебательной релаксации. Оба соотношения не содержат поправок первого порядка и могут существенно нарушаться в вязком газе.

С помощью методов кинетической теории построены три модели неравновесных течений: поуровневая, многотемпературная и однотемпературная. Для каждой модели получены выражения для тензора напряжений и скоростей реакций и колебательных переходов в вязком газе. Выявлено существование перекрестных эффектов. Так, нормальные напряжения и скорости медленных процессов зависят от одних и тех же термодинамических сил. Доказана симметрия перекрестных коэффициентов и, следовательно, выполнение соотношений взаимности Онзагера. Проведен предварительный анализ вклада поправок первого порядка в тензор напряжений и скорости реакций в течениях расширения/сжатия. Показано, что вклад объемной вязкости и релаксационного давления в рассматриваемых случаях невелик, а вклад поправок первого порядка в скорости реакций может быть значительным и даже менять направление реакции.