

## Код MCFL расчета нестационарных многокомпонентных течений

В. Борисов, **В. Жуков**, М. Краснов, Б. Критский, Н. Новикова, О. Феодоритова

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

Программный код MCFL (MultiComponent FLOws) предназначен для расчета нестационарных многокомпонентных химически реагирующих течений. Этот код развивается на основе комплекса NOISEtte решения задач аэродинамики и аэроакустики на неструктурированных сетках. В докладе демонстрируются основные элементы алгоритма интегрирования по времени системы трехмерных уравнений динамики сжимаемой теплопроводной многокомпонентной среды.

Алгоритм основан на принципе расщепления по физическим процессам: расчет одного временного шага всей системы уравнений состоит в последовательном выполнении трех основных этапов: конвективного, диффузионного и этапа химической кинетики.

Конвективный этап: учитываются собственно конвективные потоки, а также потоки, обусловленные действием сил давления. Применяется метод Годунова расчета потоков с точным решением задачи Римана для многокомпонентной смеси.

Диффузионный этап: учитываются диссипативные потоки, т.е. вязкие члены в уравнениях движения, суммарный тепловой поток в уравнении энергии и диффузионный перенос компонентов смеси. Суммарный тепловой поток обусловлен собственно теплопроводностью, т.е. градиентом температуры, и диффузией компонентов.

Этап химической кинетики: в каждой ячейке сетки интегрируется нелинейная система обыкновенных дифференциальных уравнений для концентраций реагирующих компонентов.

Построение CFD-алгоритмов на основе расщепления по физическим процессам естественным образом отражает природу течений. Для гиперболической подсистемы расчет выполняется по явной схеме годуновского типа. На диффузионном этапе используется явно-итерационная чебышевская схема, обладающая алгоритмической простотой и отсутствием настроечных параметров. В трехмерном случае объем вычислений этой схемы :  $\sqrt{\tau \cdot h^{-2}} \cdot h^{-3}$  и константа в этой оценке зависит только от задачи; здесь  $\tau$  – шаг по времени,  $h$  – характерный шаг сетки по пространству.

Результлирующая схема обеспечивает выполнение законов сохранения на дискретном уровне, расчеты демонстрируют эффективность по точности и объему вычислительных затрат и масштабируемость в параллельной реализации, присущую коду NOISEtte. Работа кода иллюстрируется расчетами модельных задач различной степени сложности.