В. Г. Высотина (Москва, ТВП). **О влиянии схемной вязкости на результаты расчетов методом Годунова.**

Вопрос о влиянии схемной вязкости на результаты расчетов стационарных и нестационарных течений невязкого газа с использованием схем с разностями вперед по времени и центральными разностями по пространственным переменным, полностью неявной схемы, неявной схемы чередующихся направлений и других рассмотрен в [1]. Там же приведена таблица коэффициентов схемной искусственной вязкости, полученных при стационарном и нестационарном анализе различных конечно-разностных схем, примененных для уравнения $\xi_t = -u\xi_x$ при числе Куранта $C = u\Delta t/\Delta x$.

Метод Годунова [2] представляет собой конечно-разностную схему, в которой расчет параметров течения выполняется в два этапа: на первом этапе решается задача о распаде произвольного разрыва. Коэффициент схемной вязкости на этом этапе, по-видимому, аналогичен коэффициенту, полученному для схемы разности вперед по времени и центральные разности по пространственным переменным $\alpha_e = (u^2\Delta t/2)$ [1]. На втором этапе выполняется интегрирование системы уравнений в частных производных, представляющей собой запись законов сохранения массы, количества движения и полной энергии. На третьем этапе расчета параметров потока методом Годунова решается задача установления по времени, т. е. нахождение стационарного решения при $\Delta t \to 0$. Для одномерного случая, после получения первого дифференциального приближения (разложения каждого члена конечноразностного уравнения в ряд Тейлора в окрестности точки (x, t)) получаем члены, содержащие схемную вязкость $\varepsilon = 1/2|u|\Delta x$. При измельчении сетки ($\Delta x \to 0$) значение $\varepsilon \to 0$. В двумерном случае из уравнений импульса следует, что схемная вязкость имеет вид $\alpha_\Delta = 1/2\rho\mathbf{W}(\Delta r\nabla)\mathbf{W}$, где $\Delta r = \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j}$, $\mathbf{W} = (\rho, P, u_x, u_y)$ и, при измельчении сетки ($\Delta x \to 0$ и $y \to 0$) также стремится к нулю [3]. Проявляется схемная вязкость только в зонах больших градиентов параметров потока: на ударной волне, у поверхности тела, при срыве потока, при образовании отрывных зон. В области гладкого течения, где градиенты параметров малы, коэффициент схемной вязкости пренебрежимо мал или равен нулю [1]. Проявление схемной вязкости при постановке граничных условий для невязкого газа (условий непроницаемости и проскальзывания) также незначительно и позволяет «получить очень точные приближения для решений при отсутствии вязкости даже при столь малых числах Рейнольдса, как 300, и даже на не слишком мелкой сетке» [с. 527, 1]. То есть решения, полученные при наличии схемной вязкости, могут быть точными даже без учета в уравнениях физической вязкости. Как отмечено в [3], в разностных схемах неявным образом всегда присутствуют члены, содержащие схемную вязкость, аналогичные диссипативным членам уравнений Навье–Стокса, и коэффициент схемной вязкости, зависящий от локальной скорости потока и шагов разностной сетки, играет роль коэффициента реальной вязкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Роуч П.* Вычислительная гидродинамика. М.: Мир, 1980.
2. *Годунов С. К. и др.* Разностная схема для двумерных нестационарных задач газовой динамики и расчет обтекания с отошедшей ударной волной. — ЖВМ и МФ, 1961, т. 1., № 3, с. 1020–1050.
3. *Белоцерковский О. М.* Численное моделирование в механике сплошных сред. М.: ФИЗМАТЛИТ, 1994.