

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ С ВИХРЕМ: ТЕСТОВАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ МЕТОДОВ СКВОЗНОГО СЧЕТА

А.В. Родионов^{1,2}

¹РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, avrodionov@rambler.ru

²ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва

Одна из актуальных и быстро развивающихся областей вычислительной аэрогазодинамики включает в себя широкий спектр задач, в которых турбулентные течения моделируются с помощью вихреразрешающих подходов. Такие задачи могут решаться только в трехмерной нестационарной постановке на подробных сетках; они предполагают привлечение больших вычислительных ресурсов и использование высокоэффективных CFD-методов.

Среди множества приложений вихреразрешающих подходов можно выделить класс задач, в которых турбулентный поток взаимодействует с ударной волной. При моделировании такого рода задач исследователи сталкиваются с дилеммой – противоречивыми требованиями к используемым численным методам. С одной стороны, методы, рассчитывающие такие течения, должны обладать надлежащей диссипацией, чтобы подавлять нефизические осцилляции решения вблизи разрывов (ударных волн и контактных поверхностей). С другой стороны, они не должны подавлять моделируемые вихри в турбулентном потоке. В наиболее рафинированном виде эта проблема находит свое отражение в канонической задаче о взаимодействии ударной волны с турбулентным потоком (canonical shock/turbulence interaction), когда номинально плоская волна распространяется по изотропной турбулентной среде. Решение этой задачи имеет фундаментальное значение, а также может использоваться для валидации моделей турбулентности, широко применяемых в настоящее время при решении сложных практических задач.

Выработка оптимальных алгоритмов расчета выделенного выше класса задач представляет собой серьезную проблему, решение которой невозможно без тщательной отработки методик на последовательности тестовых задач, для которых могут быть

получены эталонные решения. Одной из таких задач является одномерная тестовая задача Шу и Ошера (распространение ударной волны по газу с синусоидальным распределением плотности). Другой, существенно более сложной тестовой задачей является двумерная задача о взаимодействии одиночного вихря с ударной волной (shock-vortex interaction). В этой задаче моделируется нестационарное течение газа, в котором присутствуют поверхности разрывов – скачки уплотнения (помимо основной ударной волны) и контактные поверхности.

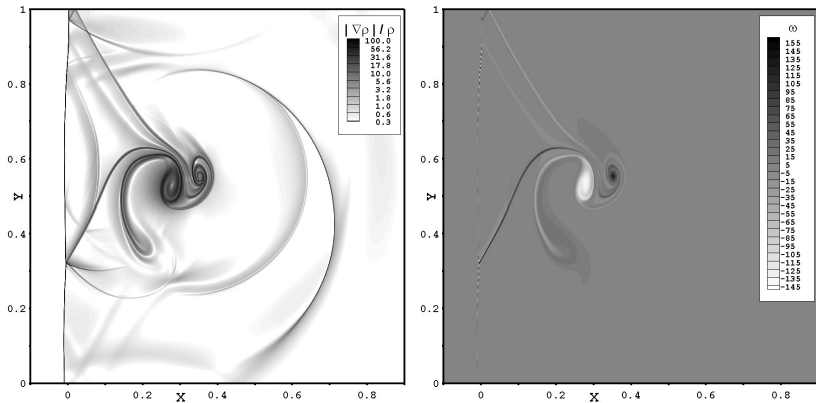


Рис. 1. Эталонное решение тестовой задачи. Численная шпирен-визуализация (слева) и поле завихренности (справа)

В предлагаемом докладе будут рассмотрены следующие вопросы, связанные с тестовой задачей о взаимодействии вихря с ударной волной: (1) зависимость структуры потока от базовых параметров задачи; (2) краткий обзор работ по задаче; (3) выбор постановки задачи, при которой ударно-волновая структура течения остается устойчивой; (4) получение эталонного решения на выбранной постановке с максимально возможным сеточным разрешением (см. Рис. 1); (5) проведение сопоставительного анализа точности нескольких отобранных методов сквозного счета (с оценкой порядка сходимости к эталонному решению).

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, проект N.22-11-00199.