

УДК 519.6

Численное моделирование распространения ударных волн на подвижных неструктурированных сетках по методике ЛОГОС-волна

Веселова Е. А., Дерюгин Ю. Н., Ктиторов В. М.
ФГУП "РФЯЦ - ВНИИЭФ"

В ряде приложений возникает необходимость моделировать ударную волну на больших временах и расстояниях от места взрыва, при влиянии различных факторов на форму и скорость ударной волны [1-5]. В общем случае, расчет распространения ударных волн возможен по любому многомерному газодинамическому коду. Однако в большинстве созданных кодов расчет ударных волн проводится «сквозным» методом, который требует либо построение сеточной модели для всей области распространения волны, либо разработке специализированных алгоритмов адаптации сетки к области, где находится волна. Все это приводит к большим затратам вычислительных ресурсов. В работах [6,7] был развит подход, основанный на выделении ударной волны в сочетании с адаптивной сеткой, подстраиваемой под ее движение. На основе такого подхода был создан ряд двумерных и трехмерных математических методик и программ на блочных структурированных сетках.

В данной работе представлена параллельная методика расчета двумерных задач газовой динамики на геометрически адаптивных неструктурированных сетках [8]. Геометрическая адаптация связана с выделением в решении основных особенностей, таких как ударные волны и контактные разрывы. Скорость движения разрывов и параметры на разрывах определяются из решения задачи Римана о распаде разрыва. Смещение внутренних узлов сетки определяется методом интерполяции по смещению граничных узлов. Разностные уравнения получены дискретизацией исходных уравнений в интегральной форме квадратурными формулами прямоугольников. При решении уравнений Эйлера численные конвективные потоки определяются на основе решения задачи о распаде разрыва. Для повышения точности моделирования предраспадные параметры потока определяются с использованием линейной либо квадратичной реконструкции решения. В задачах со сферической симметрией с целью уменьшения немонотонности в численном решении применяется алгоритм доворота вектора скорости у предраспадных параметров потока.

Возможности методики иллюстрируются на двух задачах расчета ударных волн. В первой задаче численно исследуются развития двумерных возмущений в сильном взрыве. Такая задача рассматривалась в работах [3,4], где для идеального газа было построено автомодельное решение и было показано, что при значениях показателя адиабаты газа, близких к единице, на фронте волны реализуется неустойчивость типа Релея-Тейлора [3]. В работе [4] был найден критерий устойчивости и определены инкременты наиболее быстро растущих гармоник. По созданной методике были проведены расчеты эволюции двумерных возмущений для различных гармоник и показателя адиабаты. Результаты расчетов сравниваются с автомодельным решением из работы [4]. Отмечается хорошее согласование результатов численных расчетов с аналитическим решением.

Во второй задаче численно исследуется искривление фронта ударной волны, распространяющейся по среде, включающей канал из другого вещества. Для такой задачи в работе [5] на основе автомодельного решения было построена зависимость коэффициента возмущения фронта волны в канале. Численно были проведены расчеты модельной задачи об ис-

кривлении фронта волны при вариации плотности вещества в канале. Результаты расчетов сравниваются с аналитическим решением из работы [5]. Здесь также отмечается хорошее согласование результатов численных расчетов с аналитическим решением.

Литература

1. Бруд Г. Сб. Механика № 3. Расчеты взрывов на ЭВМ. Подземные взрывы. - М.: Мир, 1975-164 с.
2. Зайдель Р.М. Влияние начальной разноплотности на движение ударной волны. – Изв. РАН. МЖГ. 1968. № 4. С. 152-162.
3. Vishiac E.T. The dynamic and gravitational instabilities of spherical shocks. Astrophysical Journal, Part 1. 1983. Vol. 274, No. 1. pp. 152-167.
4. Ктиторов В.М., ВАНТ, Сер. ТиПФ № 2(2), 28, 1984.
5. Ктиторов В.М. Движение ударной волны в присутствии слабо выделенного канала // ВАНТ, Сер. ТиПФ. - 1990. - № 2(2), С. 10-11.
6. Годунов С.К., Забродин А.В., Прокопов Г.П. Разностная схема для двумерных нестационарных задач газовой динамики и расчет обтекания с отошедшей ударной волной. ЖВМиМФ 1, 36 1020-1050.
7. Годунов С.К., Забродин А.В., Иванов М.Я., Крайко А.Н., Прокопов Г.П. Численное решение многомерных задач газовой динамики. - М.: Наука, 1976. - 400 с.
8. Веселова Е.А., Дерюгин Ю.Н., Зеленский Д.К. Методика ЛОГОС-ВОЛНА расчета двумерных задач газовой динамики с учетом теплопроводности на подвижных неструктурированных сетках // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2021. В печати

MSC2020 76D05, 76M12

Numerical simulation of the propagation of shock waves on moving unstructured grids using the LOGOS-wave technique

E. A. Veselova , Yu. N. Deryugin, V. M. Ktitorov
FSUE RFNC - VNIIEF