

РАСЧЕТЫ СЖАТИЯ СФЕРИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ СИСТЕМЫ УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ С УЧЕТОМ ПЕРЕНОСА ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЯХ

С. А. Грабовенская, В. В. Завьялов, А. А. Шестаков

ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина», Снежинск, Россия

Одним из направлений работ при исследовании процессов имплозии на лазерных установках является математическое моделирование режимов с обострением – задач, допускающих неограниченные решения в течение конечного промежутка времени. Ранее такие режимы рассматривались для изучения поведения экстремальных решений в работе [1]. К ним относятся безударное сжатие в газовой динамике, задачи теплового взрыва, процессы кумуляции ударных волн (УВ) и др. [2], [3]. Моделирование совместной системы переноса теплового излучения с газодинамикой может существенно влиять на поведение решений таких задач, в частности, сделать неограниченные решения ограниченными, но с дельтаобразным поведением основных величин. Поэтому возникает интерес к процессам, близким к режимам с обострением, но с одновременным учетом переноса излучения и газодинамики.

Задача о сходящейся сферической УВ была впервые решена немецким ученым Годфридом Гудерлеем, работавшим в Лос-Аламосе в 1942 году [4], и независимо от него Л. Д. Ландау и К. П. Станюковичем в 1944 году [5]. В общей форме описание сферической УВ есть в книгах [6], [7]. В момент прихода УВ в центр происходит ее фокусировка и отражение от центра. При учете теплопереноса вблизи фокусировки сходящейся УВ растут температурные градиенты, поэтому теплопроводность и излучение становятся ведущими механизмами диссипации энергии. Задача о сходящейся сферической УВ с учетом лучистой теплопроводности была решена Е. И. Забабахиным и В. А. Симоненко в 1965 году [8], которые показали, что теплопроводность видоизменяет характер движения: вместо конечной плотности и бесконечной температуры возникает бесконечная плотность и конечная температура. За счет теплопроводности перед УВ появляется зона прогрева, в которой газ не только нагревается, но и начинает двигаться и уплотняться. Фронт этой зоны называют тепловым предвестником.

Неограниченную кумуляцию можно получить и другими способами. В работе [9] показано, что в слоистой системе из чередующихся легких и тяжелых плоских слоёв можно получить возрастание плотности и давления. Описание движения УВ в слоистой системе намного сложнее, чем в однородной среде, поэтому моделирование таких систем проводится, в основном, численными методами. В сферической слоевке степень кумуляции значительно выше, чем в плоской, поскольку УВ усиливается за счет суммы двух факторов: сферичности и слоистости.

В работе [10] была предложена тестовая задача, моделирующая сжатие простейшей сферической системы, состоящей из двух веществ, с учетом переноса излучения в разных приближениях. Показано, что особенностью этой задачи является резкое возрастание плотности при сжатии ударными волнами вещества в центре сферы. При этом максимальная плотность достигается после прохождения третьей УВ. Такие режимы, когда средние плотности веществ вырастают на несколько порядков, по-видимому, также можно отнести к задачам с обострением. До выхода на стационарный режим основные газодинамические величины в данной задаче (температура, плотность, давление и скорости границ веществ) являются осциллирующими функциями. Возникающие под воздействием сильных ударных волн осцилляции всех величин очень резкие и для их качественного воспроизведения требуются достаточно прецизионные методы. Достоинством предложенной задачи является то, что в данной постановке все приближения переноса излучения дают близкие результаты по основным термодинамическим величинам, а при выходе на стационарный режим они имеют точные значения, одинаковые для всех приближений.

В работе [11] для тестирования многомерных программ, описывающих процессы радиационной газовой динамики (РГД), были рассмотрены задачи, моделирующие сжатие ударными волнами сферической слоистой системы, состоящей из нескольких веществ, при совместном счете лучистой теплопроводности и газодинамики. Особенностью этих задач является достижение максимальной плотности после прохождения второй или третьей ударных волн.

В данной работе приведено решение одной из таких задач в кинетической модели с небольшими изменениями в постановке и использованием шести приближений переноса излучения: лучистотеплопроводного (ЛТП), диффузионного, квазидиффузионного в параболической и гиперболической формах, P1 и P1/3. Целью работы является нахождение менее затратного по временным ресурсам ЭВМ приближения переноса излучения, позволяющего определять времена прихода ударных волн в центр сферы и максимальные значения газодинамических величин, близкие к кинетической модели.

Литература

1. Самарский, А. А. Режимы с обострением в задачах для квазилинейных параболических уравнений [Текст] / А. А. Самарский, В. А. Галактионов, В. П. Курдюмов, В. П. Михайлов. – М. : Наука, 1987. – 477 с.
 2. Даниленко, В. В. Взрыв: физика, техника, технология [Текст]. – М. : Энергоатомиздат, 2010, – 784 с.
 3. Сысоев, Н. Н. Физика горения и взрыва [Текст] / Н. Н. Сысоев, В. В. Селиванов, А. В. Хахалин. – М. : изд-во МГУ, 2018, – 237 с.
 4. Guderley, G. Strake kugelige und zylindrische Verdichtungsstosse in der Nane des Kugelmittelpunktes bzw. der Zylinderachse [Text] // Luftfahrtforschung. – 1942. – В. 19. – Lfg. 9. – P. 302–312.
 5. Ландау, Л. Д. Об изучении детонации конденсированных ВВ [Текст] / Л. Д. Ландау, К. П. Станюкович // ДАН СССР. – 1945. – Т. 46, № 9. – С. 399–402.
 6. Станюкович, К. П. Неустановившиеся движения сплошной среды [Текст]. – М. : Гостехиздат, 1955. – 804 с.
 7. Зельдович, Я. Б. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений [Текст] / Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер. – М. : Наука, 1966. – 686 с.
 8. Забабахин, Е. И. Сходящаяся ударная волна в теплопроводном газе [Текст] / Е. И. Забабахин, В. А. Симоненко // ПММ. – 1965. – Т. 29. – Вып. 2. – С. 334–336.
 9. Забабахин, Е. И. Явления неограниченной кумуляции [Текст] / Е. И. Забабахин, И. Е. Забабахин. – М. : Наука, 1988. – 173 с.
 10. Шестаков, А. А. Об одной тестовой задаче сжатия слоистой системы с учетом переноса излучения в различных приближениях [Текст] // ВАНТ. – 2017. – Вып. 4. – С. 25–31.
 11. Шестаков, А. А. Тестовые задачи на сжатие сферических слоистых систем ударными волнами [Текст] // Математическое моделирование. – 2020. – Т. 32, № 12. – С. 29–42.
-