

УДК 519.63

Моделирование процесса возникновения одномерной детонации методом сглаженных частиц

Банников Н.В.¹, Дерюгин Ю.Н.²

Филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в
городе Сарове¹

Аннотация: Работа посвящена численному моделированию процесса возникновения и распространения одномерной детонационной волны с использованием бессеточного метода сглаженных частиц (SPH). В рамках исследования разработана SPH-аппроксимация уравнений газовой динамики, которая в дальнейшем будет дополнена моделью химической кинетики для описания энерговыделения в зоне реакции. Программная реализация выполнена на языке C++. Проведено тестирование модели на классической задаче о плоской детонационной волне, получены профили давления, плотности и скорости. Показано, что при оптимальном выборе сглаживающего ядра и его параметров предложенный подход качественно и количественно корректно воспроизводит структуру детонационного фронта, демонстрируя преимущества бессеточных методов при моделировании разрывных течений.

Ключевые слова: детонационная волна, ударная волна, sph, сглаживающее ядро, бессеточный метод.

Изучение процессов возникновения и распространения детонации относится к числу актуальных задач физики взрыва и горения. При математическом описании таких явлений необходимо учитывать наличие ударных волн, сильных разрывов параметров среды и химических реакций, сопровождающихся выделением энергии. Использование традиционных сеточных методов в подобных задачах может быть затруднено из-за больших градиентов физических величин, деформаций среды и необходимости корректного описания фронта волны. Поэтому перспективным подходом является метод сглаженных частиц, относящийся к бессеточным численным методам и позволяющий моделировать разрывные течения без построения фиксированной расчетной сетки.

Целью работы является построение и численная реализация одномерной модели процесса возникновения детонации на основе метода сглаженных частиц. Для достижения данной цели рассматривается SPH-аппроксимация уравнений газовой динамики, описывающих изменение плотности, скорости и давления в расчетной области. Кроме того, в модель в дальнейшем планируется включение описания химической кинетики, позволяющее учитывать энерговыделение в зоне реакции. Особое внимание уделяется выбору параметров сглаживания и структуры расчетной схемы, поскольку от них зависит устойчивость вычислений и корректность воспроизведения детонационного фронта.

В ходе работы была выполнена программная реализация одномерного SPH-кода на языке C++. Разработанная модель была протестирована на задаче расчета постоянного течения, задаче Soda, задаче Le Blanc, а также на задаче взаимодействия ударных волн (Blast Waves). В результате расчетов получены распределения основных газодинамических величин: давления, плотности и скорости. Их анализ позволил оценить особенности применения метода сглаженных частиц к моделированию

детонационных процессов. Показано, что качество численного решения существенно зависит от выбора сглаживающего ядра и параметров сглаживания. При корректной настройке расчетной модели метод SPH позволяет адекватно воспроизводить структуру детонационной волны и может быть использован для исследования процесса ее возникновения в одномерной постановке.

Литература

1. Забабахин Е.И. Некоторые вопросы газодинамики взрыва. Снежинск: РФЯЦ - ВНИИТФ, 1997.
2. Liu G.R., Liu M.B. Smoothed Particle Hydrodynamics: A Meshfree Particle Method. Singapore: World Scientific, 2003. 449 p.

MSC 76L05

Simulation of the occurrence of one-dimensional detonation using the smoothed particle method

N.V. Bannikov¹, Yu.N. Deryugin²

Branch of Lomonosov Moscow State University in Sarov¹

Abstract: The paper is devoted to numerical modeling of the process of occurrence and propagation of a one-dimensional detonation wave using the grid-free smoothed particle (SPH) method. As part of the study, an SPH approximation of the equations of gas dynamics was developed, which will be further supplemented by a model of chemical kinetics to describe the energy release in the reaction zone. The software implementation is implemented in C++. The model was tested on the classical problem of a plane detonation wave, and pressure, density, and velocity profiles were obtained. It is shown that with an optimal choice of the smoothing core and its parameters, the proposed approach reproduces the detonation front structure qualitatively and quantitatively correctly, demonstrating the advantages of mesh-free methods in modeling discontinuous flows.

Keywords: detonation wave, shock wave, sph, smoothing core, grid-free method.