

### 0.1. *Афанасенков А.А.* Применение инструментов параллельного программирования для решения задач гетерогенной детонации

Для решения современных задач моделирования физических процессов потребность вычислительных мощностей становится все выше. Большинство стандартных инструментов не позволяют полностью реализовать мощности вычислительных машин. Чтобы это исправить, разработаны специальные библиотеки, в частности, реализующие параллельные вычисления. Данная работа посвящена исследованию и оценке методов параллельного программирования для решения задач динамики газозвесей с ударными волнами, горением и детонацией. Метод опробован на задаче взаимодействия развитой ячеистой детонации газозвеси частиц алюминия с облаками инертных частиц.

Основные уравнения физико-математической модели вытекают из законов сохранения массы, импульса и энергии для газа и частиц, дополняются уравнениями состояния и замыкаются уравнениями скоростной релаксации и теплообмена между газом и каждой из компонент дискретной фазы с учетом сверхзвукового обтекания частиц [1].

Для решения задачи использовались TVD схема Хартена — Лакса 2-го порядка аппроксимации для расчета газовой фазы и схема Джентри — Мартина — Дейли для дискретной. Обе схемы содержат большое количество логических операций. Для распараллеливания расчетов использовалась библиотека OpenMP [2].

Проведен сравнительный анализ затраченного времени при использовании стандартных инструментов компиляции и с использованием библиотеки OpenMP для различного числа потоков. Установлено, что с использованием библиотеки OMP на 8ми потоках время расчетов для сетки с шагом 0.1 мм сократилось примерно в 4,5 раза, а при 0.2 мм - в 3.4 раза. Также получена нелинейная зависимость между временем расчета и количеством используемых потоков. Установлено, что время расчета задачи меняется линейно и не выходит на режим насыщения до 4х потоков, поэтому их использование на 8и-ядерном процессоре является наиболее эффективным. Также установлено, что эффективность параллельного программирования выше при использовании более мелкой сетки.

Использование параллельного программирования позволило провести ряд параметрических 1 — D и 2 — D расчетов задачи о взаимодействии волны гетерогенной детонации в газозвеси алюминия в кислороде с облаком инертных частиц оксида алюминия. Размер частиц алюминия 1мкм и 200нм, оксида алюминия 1 мкм, концентрация горючих и инертных частиц варьировалась. Получены карты режимов (распространение детонации, ослабление дето-

нации, срыв детонации). Определены критические условия подавления детонации, которые оказались различными в 1 — D и 2 — D расчетах. Это объясняется наличием двумерных неоднородностей, влияющих на ре-иницирование детонации, что указывает на необходимость 2 — D моделирования аналогичных процессов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-08-00295).*

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Хмель Т. А.*

#### Список литературы

- [1] LAVRUK S. A., FEDOROV A. V., ХМЕЛЬ Т. А. Cellular detonation propagation and degeneration in bi-disperse gas suspensions of micron- and nanosized aluminum particles // Shock Waves. 2020. Vol. 30. N. 3. P. 273–286.
- [2] Антонов А. С. Параллельное программирование с использованием технологии OpenMP / Москва: Издательство Московского университета, 2009. 76 с.