

Расчеты ядерных реакторов по методу Монте-Карло на многопроцессорных ЭВМ

Е.А. Сухино-Хоменко

Программа MCU5 предназначена для моделирования процессов переноса нейтронов аналоговыми и неаналоговыми (весовыми) методами Монте-Карло на основе оценённых ядерных данных в системах с трёхмерной геометрией. Программа позволяет выполнять расчёты на многопроцессорных компьютерах нейтронно-физических характеристик двух- и трёхмерных фрагментов активной зоны или полномасштабной активной зоны реакторов типа ВВЭР.

Метод Монте-Карло — общее название группы численных методов, основанных на получении большого числа реализаций стохастического (случайного) процесса, который формируется таким образом, чтобы его вероятностные характеристики совпадали с аналогичными величинами решаемой задачи. Преимущества использования метода Монте-Карло для расчетов ядерных реакторов заключаются в том, что этот метод позволяет проводить моделирование взаимодействия нейтронов с веществом на основе информации из файлов оценённых ядерных данных (то есть используются наиболее точные данные без дополнительных приближений и округлений) и практически не накладывает ограничений на геометрию рассматриваемых систем.

Программа MCU5 предназначена для решения аналоговыми и неаналоговыми методами Монте-Карло неоднородных уравнений переноса нейтронов. Для нейтронов программа позволяет решать и однородное уравнение (задачи о критичности систем, размножающих нейтроны). Математически это означает, что для рассматриваемой системы решается кинетическое уравнение с заданными граничными условиями, описывающее распределение в ней потока частиц.

Распараллеливание программы MCU5 осуществлено на базе программного интерфейса MPI (Message Passing Interface). Он является наиболее распространённым стандартом интерфейса обмена данными в параллельном программировании, и его реализации существуют для большого числа компьютерных платформ.

При работе в режиме многопроцессорных вычислений программа задействует для расчета все доступные ей процессоры (точнее ядра, далее в тексте процессоры предполагаются одноядерными). Коэффициент распараллеливания программы в отсутствие промежуточных записей равен 1. Общая схема расчета при этом остается такой же, как и при расчете на одном процессоре. Основным процессором является нулевой процессор. Помимо собственно счета он контролирует прохождение задачи. Поведение каждого отдельного нейтрона никак не связано с историей ранее рассмотренных нейтронов. Поэтому формально расчет может быть относительно просто распараллелен. И даже так, что каждая история может быть промоделирована на отдельном компьютере. Но существенную роль играет заранее неизвестная частота появления частиц, близких по координатам рождения и начальным энергиям. Эта частота определяется постепенно в процессе счета.

Поэтому пока, до накопления необходимого опыта, распараллеливание ограничивается 10-20 процессорами. Счет общего миллиарда историй идет 1 – 2 дня. Поскольку взаимодействие между процессорами происходит только в начале и конце счета, накладные расходы на обмены между процессорами невелики и время счета практически обратно пропорционально числу использованных процессоров.

Пробные расчеты пусковых экспериментов на 1-м блоке Ростовской АЭС показали хорошее согласие расчетных и экспериментальных данных.