

Отзыв на диссертацию Васильева Александра Олеговича «Численное моделирование динамики диффузии нейтронов в ядерном реакторе», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 - математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Диссертация Васильева А.О. посвящена актуальной проблеме математического моделирования нейтронно-физических процессов в ядерных реакторах и численного решения краевых задач теории ядерных реакторов в рамках так называемого многогруппового диффузионного приближения.

Это приближение является, как известно, синтезом двух приближений: собственно многогруппового приближения, заключающегося в расчете (подготовке) многогрупповых гомогенизированных констант для данного реактора, то есть в аппроксимации весьма сложной энергетической и пространственной зависимости сечений взаимодействия нейтронов с ядрами кусочно-постоянной зависимостью, и диффузионного приближения, заключающегося в аппроксимации угловой зависимости потока нейтронов линейной зависимостью.

Разработке различных алгоритмов многогруппового диффузионного приближения посвящено большое количество работ и в настоящее время основные проблемы в этой области в практическом плане в значительной мере решены. Однако постоянно растущие требования к точности расчета нейтронно-физических характеристик реакторов и прогресс в развитии вычислительной математики и техники стимулируют дальнейшее развитие и совершенствование численных методов расчета реакторов.

В этой связи в диссертации ставится задача разработки современных высокоэффективных математически обоснованных методов численного решения краевых задач для многогрупповых диффузионных уравнений реактора (то есть для систем линейных дифференциальных уравнений эллиптического и параболического типов с кусочно-постоянными по пространственным координатам коэффициентами) в упрощающем предположении, что коэффициенты уравнений (групповые гомогенизированные константы) уже известны.

В диссертации дается краткий обзор наиболее известных методов нейтронно-физических расчетов и намечаются пути их обновления. Отмечается, что в настоящее время существует множество вычислительных пакетов (библиотек) различного уровня абстракции, к числу которых относится, в частности, вычислительная платформа на основе метода конечных элементов для научных и инженерных вычислений FEniCS, предоставляющая широкие возможности для решения задач рассматриваемого типа, и используемая автором в этих целях.

Глава 1 диссертации посвящена методам решения так называемых спектральных задач, то есть однородных краевых задач эллиптического типа на собственные значения и собственные функции. Здесь, наряду с традиционными условно критическими (λ -спектральными) задачами, используемыми для расчета критических состояний реактора, рассматриваются также α и δ спектральные задачи, последняя из которых представляется некоторой новой для

теории реакторов, но вспомогательной задачей, не имеющей, по-видимому, четкой физической интерпретации. Что же касается α -задачи, то это известная задача об отыскании асимптотического во времени поведении потока нейтронов в реакторе (задача вычисления периода реактора или, в терминологии автора, задача вычисления характеристик регулярного режима).

Предлагаемые в диссертации вычислительные алгоритмы приближенного решения спектральных задач базируются на стандартной конечно-элементной аппроксимации при использовании лагранжевых конечных элементов. Матричная спектральная задача решается с использованием библиотеки SLEPc. Контроль точности приближенного решения проводится на последовательности сгущающихся сеток с использованием конечных элементов различной степени.

Тестовые расчеты выполнены для двухмерной модели реактора HWR и трехмерной модели реактора ВВЭР-1000 с использованием двухгруппового диффузионного приближения на суперкомпьютере СВФУ *Ариан Кузьмин*.

Примеры расчетов нескольких первых действительных и комплексных собственных значений и собственных функций демонстрируют хорошее качество предлагаемых численных схем решения спектральных задач.

Глава 2 посвящена численному моделированию нестационарных задач в многогрупповом диффузионном приближении с использованием стандартной чисто неявной схемы первого порядка аппроксимации и симметричной схемы (Кранка-Николсона) второго порядка. Рассмотрена также явно-неявная схема, когда члены уравнения, описывающие генерацию нейтронов, берутся с нижнего временного слоя.

Тестовые расчеты выполнены в двухмерном приближении для реактора ВВЭР-1000 без отражателя с использованием двухгруппового диффузионного приближения. Установлена хорошая сходимость нестационарной задачи при уменьшении шага по времени для чисто неявной схемы. Явно-неявная схема сходится намного хуже, чем чисто неявная схема. Схема же Кранка-Николсона представляется непригодной для моделирования регулярного режима.

Рассмотрена также трехмерная динамическая задача диффузии нейтронов с обратной связью. Проведены расчеты переходного процесса для теста АЕР-2 с использованием грубых сеток и конечных элементов первого и второго порядков. Рассматривались результаты стационарных расчетов эффективности извлекаемого ОР СУЗ. Показано, что использование конечных элементов первого порядка приводит к завышению стоимости выбрасываемого стержня, особенно при использовании грубых сеток. Вычисления с конечными элементами второго порядка дают более плавную зависимость от типа сетки.

Сравнение расчетов распределения мощности ТВС с результатами, полученными с помощью различных инженерных программ, демонстрируют хорошее качество предлагаемых методов.

Глава 3 диссертации посвящена разработке алгоритмов автоматического выбора шага по времени при приближенном решении краевых задач для параболических уравнений. В итоге проведенных исследований рекомендован к применению алгоритм, в котором выбор шага по времени происходит на основе

