

К. И. Ушева¹, А. А. Хрущинский¹, Л. Ф. Бабичев², С. А. Кутень¹

¹Институт ядерных проблем БГУ, Минск, Беларусь

²ОИЭЯИ-Сосны НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИ ОТРАЖАТЕЛЯ РЕАКТОРА ВВЭР-1200 В КОДЕ SERPENT

Введение

Для анализа стационарных и переходных процессов в активной зоне реактора типа ВВЭР широко применяются крупносеточные коды (БИПР-7А, DYN3D [1] и др.), основанные на решении уравнения переноса нейтронов в диффузионном приближении. Для моделирования нейтронно-физических процессов в активной зоне реактора с помощью таких кодов необходимо создать константную библиотеку – набор макроскопических сечений и констант, являющихся коэффициентами диффузионного уравнения переноса. Она обычно создается с помощью спектральных кодов, как детерминистических (HELIOS, CASMO, ТВС-М и др.), удобных для практического применения, так и прецизионных (Tripoli-4, Serpent [2] и др.), основанных на Монте-Карло моделировании транспорта нейтронов. Библиотека для активной зоны реактора состоит из совокупности наборов диффузионных констант для отдельных тепловыделяющих сборок (ТВС), составляющих активную зону.

Расчет библиотеки сечений для одной ТВС обычно не составляет особых трудностей даже для прецизионных Монте-Карло кодов, т.к. в модели ТВС с известными материальными и геометрическими характеристиками всегда присутствует источник нейтронов в виде делящегося материала (топливные таблетки) внутри тепловыделяющих элементов (ТВЭЛОВ). Задача сводится в конечном итоге к вычислению коэффициента размножения для системы (модель ТВС). При моделировании активной зоны реактора возникает вопрос о граничных условиях на границе ее топливной части, определяемой совокупностью ТВС. В реакторе типа ВВЭР окружение топливной части (выгородка и дру-

гие внутрикорпусные элементы) играет роль отражателя для тепловых нейтронов, в котором нет источника нейтронов.

В данной работе предложена модель радиального отражателя для реактора ВВЭР-1200 для расчета и создания библиотеки сечений в Монте-Карло коде Serpent для диффузионного кода DYN3D с учетом условий на границе активной зоны.

1. Модель радиального отражателя

Активная зона реактора окружена радиальным и аксиальным отражателем. Радиальный отражатель реактора типа ВВЭР состоит из выгородки, внутрикорпусной шахты, области с теплоносителем и корпуса реактора. Для расчета констант в процессе моделирования на область радиального отражателя накладывается сетка из шестиугольных ячеек, по размеру равных размеру ТВС (шаг 23,6 см). С учетом 60° симметрии активной зоны и конструктивных особенностей выгородки реактора ВВЭР, имеется пять типов ячеек радиального отражателя с разным материальным составом внутри них (R1.1-R5.1 на рисунке 1).

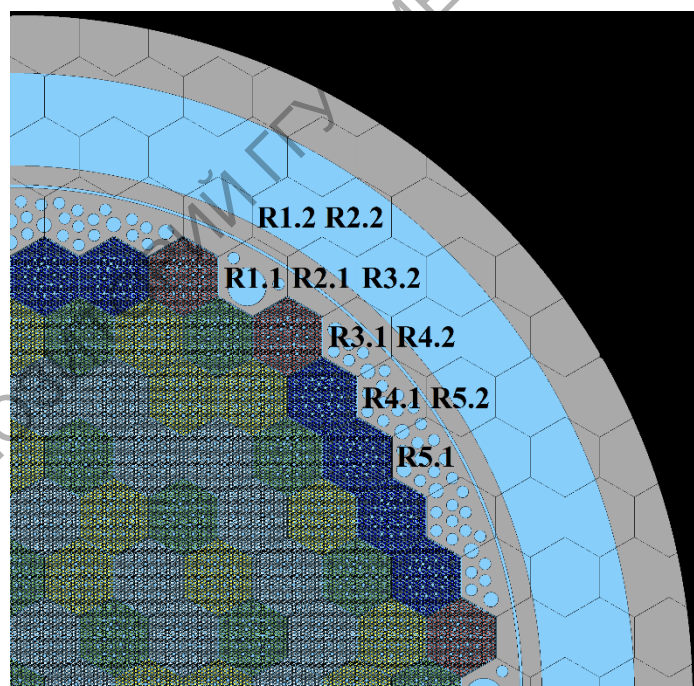


Рисунок 1 – Модель для расчета характеристик радиального отражателя

Для расчета и создания библиотеки сечений для отражателя была создана модель $\frac{1}{4}$ активной зоны реактора (рисунок 1), позволяющая корректно учесть полный спектр нейтронов, создаваемых в топливной части зоны и попадающих в двухслойный отражатель (R1-R2). На ри-

сунке 2 представлен пример распределения вычисленных потоков нейтронов в области отражателя. Поток быстрых нейтронов показан цветовой гаммой от красного до желтого цвета, а тепловых нейтронов – цветовой гаммой от белого до синего цвета. Тепловые нейтроны практически полностью поглощаются во втором слое радиального отражателя.

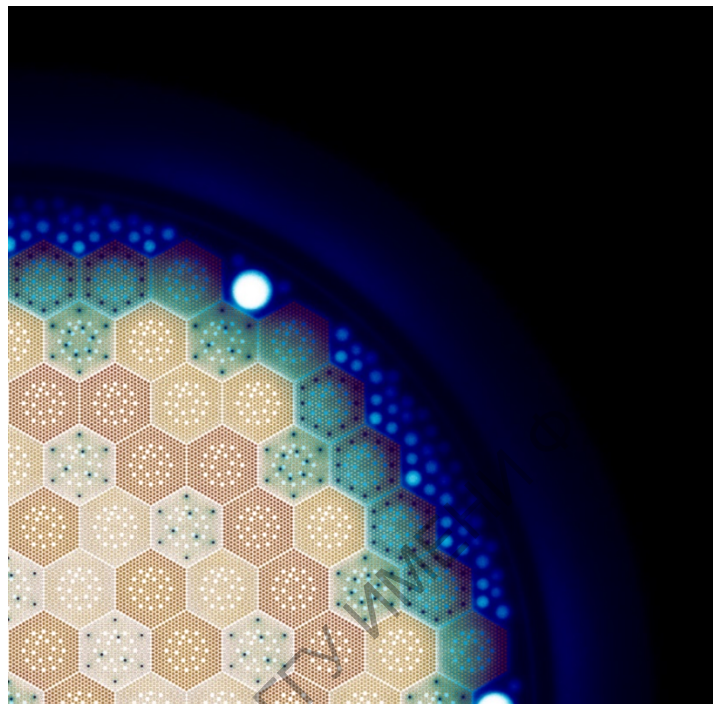


Рисунок 2 – Распределение потоков нейтронов в $\frac{1}{4}$ активной зоны реактора

2. Набор необходимых сечений

Константное обеспечение топливной части модели активной зоны реактора, необходимое для кода DYN3D, определяется следующими характеристиками ТВС, которые рассчитываются в двухгрупповом энергетическом приближении (при разных значениях выгорания):

- коэффициенты диффузии ($D_{1,2}$);
- транспортные сечения ($\Sigma_{tr1,2}$);
- сечения поглощения ($\Sigma_{a1,2}$);
- сечения генерации нейтронов деления ($\nu\Sigma_{f1,2}$);
- сечения энерговыделения ($\epsilon\Sigma_{f1,2}$);
- сечения деления ($\Sigma_{f1,2}$);
- сечения перехода из одной энергетической группы в другую (Σ_{s12});
- $ADF_{1,2}$ (коэффициент поправки на гомогенизацию на границе ТВС);

- спектр деления ($\chi_{f1,2}$);
- обратные скорости ($\frac{1}{v_{1,2}}$);
- выходы йода (γ_I), ксенона (γ_{Xe}) и прометия (γ_{Pm});
- групповые сечения поглощения ксенона ($\sigma_{Xe1,2}$) и самария ($\sigma_{Sm1,2}$).

Для отражателя необходимо аналогичное константное обеспечение. Так как, в составе отражателя нет делящихся материалов, то в его константном обеспечении отсутствуют величины, связанные с энергетической составляющей и отравлением, так же нет зависимости от выгорания.

Для коррекции ошибок процедуры гомогенизации, которая лежит в основе нодального метода в коде DYN3D, необходимы соответствующие корректирующие коэффициенты на границах «ТВС-ТВС», «ТВС-отражатель» (так называемые ADF и RDF факторы).

Для создания константной базы для кода DYN3D константы для ТВС рассчитываются с учетом их зависимости от выгорания. Затем рассчитывается зависимость этих констант для каждой точки по выгоранию от температуры топлива, температуры и плотности теплоносителя, концентрации борной кислоты в теплоносителе.

Поскольку в отражателе отсутствует ядерное топливо, для создания библиотеки констант использованы зависимости только по трем параметрам: концентрации борной кислоты, плотности и температуры теплоносителя. В отличие от модели отражателя, представленной в работе [3], в созданной модели дополнительно учитывается зависимость от выгорания топлива, приводящего к изменению спектра нейтронного потока, падающего на отражатель.

Верификация константной библиотеки для отражателя требует наличия верифицированной библиотеки для топливной части и представляет собой отдельную задачу для полномасштабной 3D модели активной зоны.

Заключение

Разработана двухслойная модель радиального отражателя для реактора ВВЭР-1200, учитывающая геометрические и технические характеристики окружения топливной части активной зоны. Разработанная библиотека констант для отражателя учитывает изменение нейтронного спектра в нем в зависимости от выгорания топлива.

Результаты работы могут быть использованы для расчета мало-групповых сечений в коде Serpent при создании библиотек для реак-

торного кода DYN3D. необходимых для расчета топливных загрузок и моделирования стационарных и переходных процессов при анализе безопасности реактора типа ВВЭР.

Литература

1. The reactor dynamics code DYN3D – models, validation and applications / U. Rohde [et al.] // Progress in Nuclear Energy. – 2016. – № 89. – P. 170–190.
2. Leppdnen, J. Serpent – a Continuous-energy Monte Carlo Reactor Physics Burnup Calculation Code. User's Manual. / J. Leppdnen // VTT Technical Research Centre of Finland. – 2015. – 164 pp.
3. Особенности моделирования радиального отражателя в Монте-Карло коде Serpent 2 для расчета двухгрупповых констант для активной зоны реактора типа ВВЭР / К. И. Ушева [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2017 – Вып. 1 – С. 66–73.