

АНАЛИЗ ДАННЫХ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В ЯЧЕЙСТОЙ ГЕОМЕТРИИ

В. В. Гальченко¹, О. Г. Краснянская², О. В. Неделин¹,
В. Н. Павлович², С. В. Ярошенко²

¹ НТУУ "Киевский политехнический институт", Киев

² Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Проведены расчеты элементарной топливной ячейки при помощи кодов MCNP-4C, SCALE-4.4a, SRAC и WIMS-5B с использованием разных приближений при подготовке констант в резонансной области и библиотек нейтронно-физических констант. Полученные данные сравниваются с результатом тестового расчета.

Введение

При тестировании и верификации расчетных кодов и библиотек нейтронно-физических констант (БНФК) важную роль играют расчеты элементарных топливных ячеек.

К настоящему времени разработано достаточно большое количество кодов, позволяющих проводить подобные расчеты. Как правило, они характеризуются хорошим набором расчетных опций и БНФК. Однако только взаимное сравнение результатов расчетов позволяет установить некоторые объективные закономерности, характеризующие достоверность расчетов.

В данной работе анализ данных нейтронно-физических расчетов элементарной топливной ячейки проводился с использованием четырех компьютерных кодов: WIMSD-5B (АЕЕ, Великобритания), SRAC (JAERI, Япония), MCNP-4C и SCALE-4.4a (ORNL, США). Если коды WIMS, SCALE и MCNP давно и хорошо известны среди специалистов, занимающихся нейтронно-физическими расчетами, то информации о разработке кода SRAC не имелось вплоть до последнего времени. Поэтому приведем краткое описание этого кода.

Краткое описание кода SRAC

SRAC (System for Reactors Analysis Code) – это система кодов, разработанная специалистами JAERI для анализа нейтронно-физических процессов различного типа реакторов. Данная система содержит несколько 107-групповых БНФК, основанных на данных JENDL-3.2, ENDF/B-IV, ENDF/B-VIa, ENDF/B-VIb, JEF-2.2. В 2001 – 2002 гг. список групповых библиотек дополнился системой на основе JENDL-3.3.

Групповые структуры БНФК условно разбиты на 74 быстрых, 42 тепловых и 12 перекрывающихся групп в интервале энергий от 10 МэВ до $1 \cdot 10^{-5}$ эВ. Библиотеки микроконстант имеют различное количество нуклидов. Например, в SRACLIB-JNDL32, созданной на основе JENDL-3.2, имеется 392 нуклида, включая восемь псевдопродуктов деления. В этой библиотеке, как и в других, для подготовки групповых сечений взаимодействия в резонансной области предусмотрена возможность использования NR, IR и PEACO-приближений. NR, IR – это хорошо известные узко- и широкорезонансные приближения. Последнее приближение основано на использовании ультрафайнгруппового представления резонансной области. Это дает возможность проводить исследования влияния различных приближений на получение гомогенизированных макроконстант, а также досконально учитывать эффект Доплера.

Система SRAC включает в себя пять кодов по расчету транспорта и диффузии нейтронов. Это коды, основанные на методе вероятности первых столкновений (ВПС), опция PIJ, для 16 типов геометрий, S_n – транспортные коды: ANISN (1D), TWOTRAN (1D, 2D), диффузионные коды TUD (1D) и CITATION (multi-D). Система также включает два кода по расчету выгорания: ASMBURN – для расчета выгорания в тепловыделяющей сборке и COREBN – для многомерного расчета выгорания всей активной зоны.

Модель элементарной топливной ячейки

Модель цилиндрической элементарной ячейки, используемая при анализе, включает в себя тепловыделяющий элемент с прилегающим к нему теплоносителем (замедлителем) и состоит из трех областей: зона 1 – топливо UO_2 , радиус зоны топлива $r_1 = 0,386$ см; зона 2 – оболочка ^{nat}Zr , радиус зоны $r_2 = 0,4582$ см; зона 3 – теплоноситель H_2O , радиус зоны $r_3 = 0,669423$ см.

Ядерные концентрации зон элементарной топливной ячейки приведены в табл. 1 – 3.

Таблица 1. Концентрация элементов зоны 1

Элемент	Атомный вес	Температура, К	Концентрация ядер, см ⁻¹
^{235}U	235,04299	1025	$8,6264 \cdot 10^{20}$
^{238}U	238,05006	1025	$2,2168 \cdot 10^{22}$
^{16}O	15,9994	1025	$4,6063 \cdot 10^{22}$

Таблица 2. Концентрация элементов зоны 2

Элемент	Атомный вес	Температура, К	Концентрация ядер, см ⁻¹
^{nat}Zr	91,220	575	$4,259 \cdot 10^{22}$

Таблица 3. Концентрация элементов зоны 3

Элемент	Атомный вес	Температура, К	Концентрация ядер, см ⁻¹
1H	1,00794	575	$4,843 \cdot 10^{22}$
^{16}O	15,999	575	$2,422 \cdot 10^{22}$

Результаты расчетов

В табл. 4 приведены данные расчета важнейшего нейтронно-физического показателя элементарной топливной ячейки – значения k_{∞} для описанной выше геометрии.

Таблица 4. Результаты расчета k_{∞} с использованием кодов MVP, WIMSD, SCALE, MCNP

Код	Метод решения уравнения переноса	БНФК	Значение k_{∞}	Отношение к тестовому расчету
MVP	ММК	-	1,3431 (0,08 %)	1,0000
WIMSD -5B	DSN (S_{16})	WL'1986'	1,335124	0,9940
WIMSD -5B	PIJ	WL'1986'	1,339555	0,9973
WIMSD -5B	DSN (S_{16})	WL'1981'	1,330984	0,9909
WIMSD -5B	PIJ	WL'1981'	1,335247	0,9941
MCNP- 4C	ММК	Встроенная	1,3443 (0,08 %)	1,0009
SCALE-4.4a	DSN (S_{16})	27GROUPNDF4	1,3365	0,9950
SCALE-4.4a	DSN (S_{16})	44GROUPNDF5	1,3606	1,0130
SCALE-4.4a	DSN (S_{16})	Hansen-Roach	1,3932	1,0373

В качестве тестового расчета были приняты данные, полученные специалистами JAERI с помощью программы реперного класса MVP. Эта программа моделирует поведение популяции нейтронов методом Монте-Карло (ММК) с непрерывным отслеживанием энергии замедляющегося нейтрона. К сожалению, мы не располагаем данными об использованной для данного расчета БНФК.

Опция DSN предполагает расчет уравнения переноса методом дискретных ординат (МДО), опция PIJ, как и в коде SRAC, соответствует методу ВПС. Рядом с расчетами, выполненными ММК, приведена статистическая погрешность.

Как и ожидалось, наиболее близким к тестовому, оказался расчет по программе MCNP-4C, также реализующей ММК при расчете переноса нейтронов.

Следует отметить, что БНФК MCNP содержат дискретные по температуре данные нейтронных сечений и в данной работе для расчета этим кодом были взяты приближенные, наиболее близкие по температуре значения. В табл. 5 приведены входные температурные данные, а также используемые для расчета БНФК.

Таблица 5. Входные температурные данные и библиотеки, используемые при расчете кодом MCNP

Зона	Элемент	Температура, К	Библиотека
1	^{235}U	900 (1025)*	Endf62mt B-VI.2
	^{238}U	900	Endf62mt B-VI.2
	^{16}O	881	Endf5mt B-V.0
2	$^{\text{nat}}\text{Zr}$	587 (575)*	Misc5xs B-V:XTM (источник endf)
3	^1H	600 (575)*	TMCCS1 (источник endf)
	^{16}O		

* В скобках указаны температуры зон в тестовом расчете.

Как показывает анализ данных, приведенных в табл. 4, каких-либо заметных преимуществ не имеет ни один из расчетов по программе WIMSD-5B или SCALE-4.4a.

Для исследования результатов расчета по коду SRAC моделировалась абсолютно идентичная по геометрии и изотопному составу элементарная топливная ячейка. Использовалась расчетная опция PIJ, считающаяся прецизионной для данного кода.

В расчетах по коду SRAC использовались БНФК, основанные на данных JENDL-3.2, ENDF/B-VI и JEF-2.2. Результаты расчетов приведены в табл. 6.

Таблица 6. Результаты расчета k_{∞} с использованием кода SRAC

Используемый для БНФК файл оцененных ядерных данных	NR-приближение	IR-приближение	PEACO-приближение
JENDL-3.2	1,32694	1,33424	1,33405
ENDF/B-VI	1,31961	1,32774	1,32764
JEF-2.2	1,32839	1,33668	1,33644

Выводы

Целью данной работы не являлось делать какие-либо окончательные заключения. Анализ данных, приведенных в табл. 4, 6 и 7 с трудом поддается систематизации. Поэтому сделаем лишь самые общие выводы.

Анализируя полученные данные табл. 5 можно говорить о том, что необходимо очень аккуратно подходить к выбору приближений при подготовке констант в резонансной области. При расчетах в ячеечной геометрии, по-видимому, предпочтение стоит отдавать IR или PEACO-приближениям.

Таблица 7. Отношение результатов расчета k_{∞} с использованием кода SRAC к тестовому расчету

Используемый для БНФК файл оцененных ядерных данных	NR-приближение	IR-приближение	PEACO-приближение
JENDL-3.2	0,9879	0,9934	0,9932
ENDF/B-VI	0,9825	0,9885	0,9884
JEF-2.2	0,9890	0,9952	0,9950

Как и ожидалось, обнаружилось достаточно сильное влияние библиотек нейтронно-физических констант на результаты расчета. Несколько удивительным (см. табл. 7) выглядят результаты расчета с использованием БНФК на основе ENDF/B-VI.

Можно сделать вывод о том, что программы расчета функционалов нейтронного поля в ячеечной геометрии, имитации выгорания топлива в ядерных реакторах должны иметь набор библиотек константного обеспечения с возможностью выбора непосредственно пользователем наиболее подходящей.

В заключение заметим, что код SRAC (версия от 01.11.2000) свободно распространяется среди профильных организаций Украины Ассоциацией по исследованию ядерной безопасности Японии (NSRA). Всю интересующую информацию о нем можно получить на кафедре атомных электростанций и инженерной теплофизики НТУУ "Киевский политехнический институт" или запросить по адресу электронной почты: nedyelin@svitonline.com.

АНАЛІЗ ДАНИХ НЕЙТРОНО-ФІЗИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ У КОМІРКОВІЙ ГЕОМЕТРІЇ

В. В. Гальченко, О. Г. Краснянська, О. В. Неделін, В. М. Павлович, С. В. Ярошенко

Проведено розрахунки елементарної паливної комірки за допомогою кодів MCNP-4C, SCALE-4.4a, SRAC і WIMS-5B з використанням різних наближень при підготовці констант у резонансній області та бібліотек нейтронно-фізичних констант. Отримані дані порівнюються з результатом тестового розрахунку.

THE ANALYSIS OF THE DATA OF NEUTRON-PHYSICAL COMPUTATION IN A CELL GEOMETRY

V. V. Galchenko, O. G. Krasnyanskaya, O. V. Nedyelin, V. N. Pavlovich, S. V. Yaroshenko

The computations of elementary fuel cell by means of the following codes MCNP-4C, SCALE4.4a, SRAC and WIMS-5B with using of different approximations in preparing of constants in resonance area and libraries of neutron-physical constants were made. The obtained data are compared to the result of testing calculation.

Поступила в редакцію 26.09.02,
после доработки – 20.12.02.