

СИСТЕМА КОМБИНИРОВАННЫХ КОНСТАНТ РОКОКО – СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ МОДУЛЕМ ММК

Г.М. Жердев, Т.С. Кислицина, М.Н. Николаев

АО «ГНЦ РФ-ФЭИ им. А.И. Лейпунского»

249033 Россия, Калужская обл., г. Обнинск, пл. Бондаренко, 1

Р

Излагаются результаты работ по дальнейшему совершенствованию системы константного обеспечения расчетов реакторов и защиты РОКОКО (программа расчета и организации комбинированных констант – групповых, подгрупповых и с детальным описанием энергетической зависимости нейтронных сечений) [1, 2]. Говорится о внедрении этой системы в качестве физического модуля в комплекс программ расчета методом Монте-Карло с геометрическим модулем OOBG из семейства программ ММК [3], включающего в себя набор специализированных геометрических модулей. Модуль OOBG ориентирован на расчет размножающих систем с гетерогенными зонами с гексагональными решетками различной сложности. Комплекс получил название РОКОКО-ММК. Приводятся результаты апробации этого комплекса в расчетах многозонных размножающих систем (в том числе с зонами, содержащими замедлитель нейтронов, с зонами близкого состава, но разной температуры и т.п.). Учет зависимости констант одного и того же нуклида в зонах, различающихся составом и температурой, потребовал существенной модернизации описанных в [1] программ подготовки констант к расчету. В процессе этой модернизации был изменен алгоритм подготовки подгрупповых констант, усовершенствована методика учета резонансной самоэкранировки сечений в области неразрешенных резонансов и пр.

Результаты расчетов сравниваются с данными, полученными по прецизионной программе MCNP-5 [4], привязанной к той же исходной библиотеке оцененных данных РОСФОНД, что и РОКОКО. В РОКОКО-ММК включены процедуры регистрации различных функционалов потока нейтронов (также базирующиеся на данных РОКОКО), что позволило включить ее в состав расчетного комплекса СКАЛА [3, 5] и поэтапно рассчитывать изменение нуклидного состава топлива в течение кампании. В заключение намечаются пути дальнейшего развития системы, в частности, рассматриваются некоторые возможности использования созданного программного обеспечения для совершенствования методик подготовки мало групповых констант для расчетов в диффузионном приближении.

Ключевые слова: новая система подготовки ядерных данных РОКОКО, усовершенствования, внедрение в практику расчетов, метод Монте-Карло, результаты сравнительных расчетов, перспективы развития.

© Г.М. Жердев, Т.С. Кислицина, М.Н. Николаев, 2018

МОДЕРНИЗАЦИЯ РОКОКО

По сравнению с системой РОКОКО, представленной на семинаре «Нейтроника» в 2015 г. [1], в настоящую версию комплекса подготовки констант введен ряд усовершенствований. Упрощено задание на расчет. Список нуклидов, входящих в состав рассчитываемой системы, задается в произвольном порядке, процедура обработки задания сама составляет из него «упорядоченный короткий список», в котором на первом месте стоят актиниды, затем – неделяющиеся нуклиды и, наконец, многоизотопные элементы. Напомним, что такое упорядочивание существенно, так как необходимые для моделирования траекторий наборы констант для упомянутых трех типов нуклидов различны и упорядочивание позволяет оперативным процедурам работать с данными наиболее оптимально. Если в расчетном задании одни и те же «детальные» или «подгрупповые» нуклиды в разных зонах присутствуют при разных температурах, то они рассматриваются как различные нуклиды, для которых готовятся соответствующие константы; соответственно составляется «упорядоченный длинный список». Данные для сечений считываются по адресам, указанным в длинном списке; данные по энергоугловым распределениям, не зависящим от температуры выше области термализации, – по адресам, указанным в исходном «коротком» списке.

Было выявлено, что в области неразрешенных резонансов для описания эффекта самоэкранировки сечений достаточно двух подгрупп. Для получения двухподгрупповых параметров резонансной структуры сечений на основе данных о факторах самоэкранировки был разработан специальный упрощенный алгоритм. В области разрешенных резонансов двухподгрупповое приближение зачастую оказывается недостаточным и в этом случае применяется прежний универсальный алгоритм [6], определяющий параметры большего числа подгрупп, обеспечивающих сохранение факторов самоэкранировки во всем диапазоне изменения сечения разбавления рассматриваемого нуклида во всех зонах системы.

В процессе эксплуатации в программах комплекса РОКОКО был выявлен и устранен ряд неточностей, увеличено число сообщений об ошибках, сопровождающихся выдачей информации, помогающей выявить и устранить причины этих ошибок. Обнаружилось и несколько ошибок в исходных данных, которые были также устранены.

Сформирована дополнительная версия библиотеки КОЛИБРИ (**cobined library**) на основе библиотеки оцененных данных ENDF/B-VII. Эта версия включает в себя данные для важнейших нуклидов в том числе для 15-ти актинидов и 81-го неделяющегося изотопа. Эта версия подключена к программам РОКОКО и успешно опробована на небольшом числе основных тестов.

ПОДКЛЮЧЕНИЕ К ГЕОМЕТРИЧЕСКОМУ МОДУЛЮ ООВГ ПРОГРАММЫ ММК

Геометрические модули ММК ранее были объединены с программой KENO-VA [7] с тем, чтобы использовать включенный в эту программу модуль подготовки многогрупповых констант к расчету. Сами константы готовились программой CONSYST. Полученный конгломерат под названием ММККЕНО [8] был использован в вычислительной системе СКАЛА [3]. В 2015 г. группой под руководством К.Ф. Раскача из ММККЕНО был выделен практически наиболее важный геометрический модуль ООВГ и подсоединен к библиотеке нейтронных данных в формате ACE [9], что привело к созданию программы ММКС [10]. Геометрический модуль ООВГ и был взят за основу при создании комплекса РОКОКО-ММК. В геометрический модуль введено сохранение энергии и энергетической группы нейтрона как показателей его состояния.

Написан новый модуль управления, с помощью которого программы геометрического модуля смогли получать для заданной энергии и группы все необходимые макроконстанты с помощью оперативных процедур РОКОКО – SIGMA [1] (расчет микроконстант, макроскопического полного сечения, керма и др.) и COLLY [1] (определение нуклида, с которым произошло столкновение, характера столкновения, угла рассеяния и энергии рассеянного нейтрона, если произошло рассеяние, числа вторичных нейтронов деления, если произошло деление). Кардинально изменен модуль розыгрыша источника нейтронов следующего поколения, в который введена процедура GEFIS [1], рассчитывающая спектр нейтронов деления данного нуклида под действием нейтрона данной группы. Подробно эти процедуры описаны в работе [1].

В программу РОКОКО-ММК введены также процедуры регистрации

- усредненных по зонам регистрации микросечений деления, захвата (без деления), упругого и неупругого рассеяния, образования вторичных нейтронов деления, образования вторичных нейтронов в реакциях ($n, 2n$) и т.п., энерговыделения;

- усредненных по зонам регистрации скоростей процессов, характеризующихся названными выше микроконстантами, с погрешностями (только для указанных в задании нуклидов);

- усредненных по зонам многогрупповых спектров потока нейтронов и гамма-квантов;

- энерговыделения и вкладов в него отдельных нуклидов;

- эффективных долей запаздывающих нейтронов по группам предшественников.

Предусмотрена возможность регистрации и ряда других функционалов – среднего времени жизни нейтрона, числа столкновений, поглощений, числа нейтронов, утекающих из системы, спектра утечки и пр. Регистрация производится либо «по длинам пробега», либо «по столкновениям», либо «по поглощениям». Комбинированные оценки этих функционалов в настоящей версии не предусмотрены.

Комплекс оформлен в виде двух независимых программных модулей – модуля подготовки констант к расчету и модуля моделирования траекторий и регистрации. Расчет проводится в два этапа. На первом этапе в соответствии с заданием изотопного состава, температур и других параметров готовятся все необходимые для расчета данные в форматах и порядке, оптимальных для моделирования. Все эти данные сохраняются во внешней библиотеке. Эта библиотека может быть как бинарной, так и текстовой. Последнее облегчает постановку комплекса на разные платформы и сопровождение константного блока.

АПРОБАЦИЯ РОКОКО-ММК

В работе [1] были приведены результаты расчетов бесконечных размножающих сред с использованием РОКОКО в сравнении с расчетами по прецизионной программе MCNP-5, привязанной к той же библиотеке РОСФОНД. Аprobация проводилась на размножающих системах различной геометрической и композиционной сложности, от BIGTEN [12] (для которого использовалась простая цилиндрическая модель) до сборок БФС-97 [13] и БФС-80 [14]. Расчеты выполнялись по программам РОКОКО-ММК и MCNP. В последнем случае использовались библиотеки оцененных данных РОСФОНД и ENDF/B-VII. Результаты расчетов приведены в табл.1. Статистически значимых отличий результатов расчета по РОКОКО-ММК и по MCNP-5 не обнаружено. Переход от РОСФОНД к ENDF/B-VII в случае БФС-80-1 ведет к небольшому, но статистически значимому расхождению результатов. В последнем столбце таблицы приводится отношение времени счета по программе MCNP ко времени счета по РОКОКО-ММК. Расчеты выполнялись на одном и том же компьютере при одинаковом числе разыгранных траекторий с отключенными процедурами регистрации. Эко-

номия времени довольно существенна. В последней строке табл.1 приводятся результаты расчета, в котором состав неделящихся нуклидов задавался поэлементно. Как видно, это привело к чуть заметному смещению результата и снижению времени счета примерно в 1.5 раза.

Таблица 1

Результаты расчета $k_{эфф}$ многомерных размножающих систем

Модель	ММК-РФ	MCNP5	Отличие от MCNP5 (РОСФОНД)		Отношение времени счета по MCNP-5 ко времени счета по РОКОКО-ММК
			РОКОКО-ММК	MCNP5 (ENDF/B-VII)	
BIGTEN	0.99430(7)	0.99497(7)	-0.01±0.01%	0.01±0.01%	3.84
БФС-97-1	0.99481(12)	0.99511(12)	-0.03±0.02%	0.02±0.02%	6.56
БФС-80-1	1.00231(18)	1.00216(22)	0.01±0.03%	-0.15±0.03%	2.65
БФС-80-1 (элем.)	1.00265(18)		0.05±0.03%		3.94

Таблица 2

Сравнение с результатами расчетов по ММК_С

Модель	РОКОКО-ММК	ММК_С (РОСФОНД)	Отличие от РОКОКО-ММК	Отношение времени счета по ММК_С ко времени счета по РОКОКО-ММК
BIGTEN	0.99430(7)	0.99660 (6)	- 0.23±0.01%	18.5
БФС-80-1	1.00231(18)	1.00233(57)	0.002±0.03%	21.3

В таблице 2 результаты расчетов по РОКОКО-ММК сравниваются с результатами расчетов по программе ММК_С, в которой, как говорилось, использовался тот же геометрический модуль и физмодуль, подобный использовавшемуся в MCNP-5 (на основе данных библиотеки РОСФОНД, представленных в формате ACE). Причина небольшого, но статистически значимого превышения результата расчета по ММК_С $k_{эфф}$ для BIGTEN от результатов, полученных по ММК-РФ и MCNP-5, пока не выявлена.

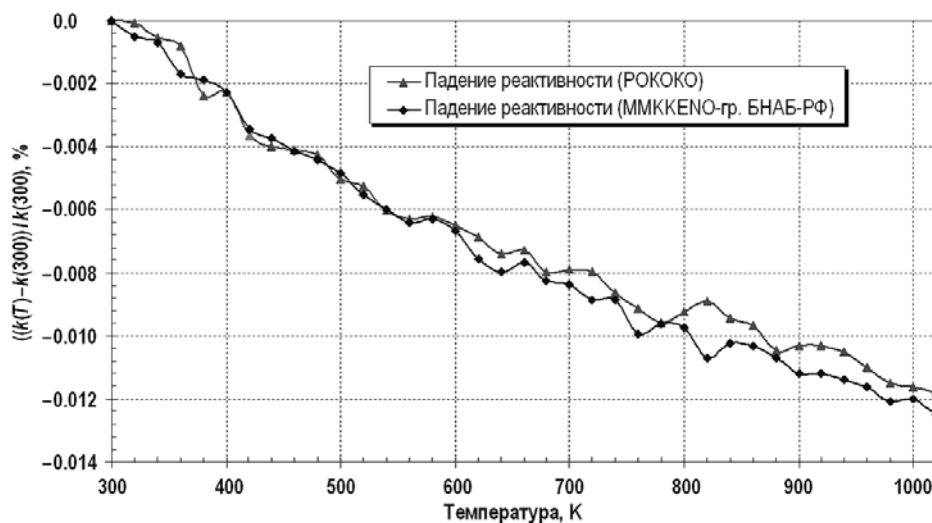


Рис. 1. Температурные зависимости коэффициента размножения модели БН

Апробация режима работы РОКОКО в системах с зонами, отличающимися температурой среды, проводилась на расчетной модели реактора БН-800. В модели использовалась 41 зона с семью температурами. При этом делящиеся изотопы присутствовали в зонах лишь с двумя различными температурами. Расчет по РОКОКО-ММК с детальным описанием нейтронных сечений дал значение $k_{эфф} = 0.99753(18)$. Многогрупповой (299 групп) расчет по ММККЕНО с константами, подготовленными системой CONSYST на основе БНАБ-РФ, дал $k_{эфф} = 1.00120(14)$. Статистически значимое различие $-0.37 \pm 0.22\%$ оказалось практически малозначимым. Затраты времени на расчет с детальным описанием сечений оказались, естественно, больше – в 2.3 раза. Сколько-нибудь существенных расхождений в распределении энерговыделения по зонам реактора выявлено не было, так что и эта апробация дала положительный результат.

На рисунке 1 сравниваются температурные зависимости коэффициента размножения модели БН-800, рассчитанные по ММККЕНО и по РОКОКО-ММК. Наблюдающиеся расхождения едва ли можно считать значимыми.

ВКЛЮЧЕНИЕ РОКОКО-ММК В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНУЮ СИСТЕМУ СКАЛА

Для расширения области применения программа ММК-РФ была включена в систему СКАЛА [3, 5], предназначенную, в частности, для расчета нуклидной кинетики. Вычисленные с помощью ММК-РФ функционалы (энерговыделение, многогрупповые потоки нейтронов, групповые сечения реакций на актинидах и др.), необходимые для расчета нуклидной кинетики, заносятся в обменный файл системы СКАЛА, откуда через программу REACTION направляются в программный комплекс COUPLE-ORIGEN [15], рассчитывающий изменение нуклидных составов в течение заданного шага выгорания. REACTION [3] пополняет набор микросечений, полученных в РОКОКО-ММК, дополнительными данными, требующимися для расчета всех цепочек выгорания. На основе рассчитанных составов (измененных, если нужно, за время выдержки) формируется расчетное задание константного блока для расчета следующего этапа выгорания.

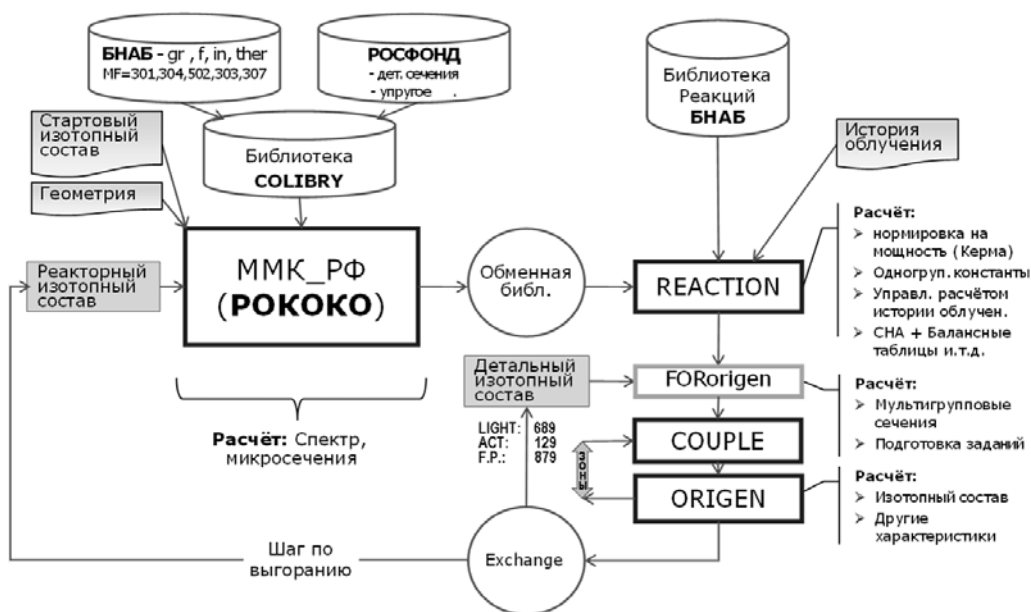


Рис. 2. Схема вычислительной системы СКАЛА-РФ

Параллельно с расчетом нуклидного состава в системе СКАЛА рассчитываются радиационные характеристики облученного топлива, СНА и т.п.

Схема системы СКАЛА с внедренной программой РОКОКО-ММК приведена на рис. 2. Чтобы не загромождать рисунок, на нем не показаны программы константно-программного комплекса, которые по-прежнему остаются в составе системы СКАЛА.

Опыт применения РОКОКО-ММК показал, что выполнение процедур регистрации занимает существенную часть всего времени вычислений. Естественно, это сказывается особенно сильно при расчете геометрически сложных систем, например, таких как БФС-80-1. В этом случае регистрация не только потоков и энерговыделения, но и микроконстант, скоростей реакций и пр. требует времени в пять раз большего, чем время, требующееся для расчета только $k_{эфф}$, энерговыделения и групповых потоков по зонам. При расчете более простых систем затраты времени на регистрацию существенно меньше (табл.3.).

Таблица 3

Время (мин), затрачиваемое на исполнение задания, в зависимости от набора регистрируемых функционалов

Система	Только $k_{эфф}$	$k_{эфф}$, групповые потоки и энерговыделение	$k_{эфф}$, групповые потоки, энерговыделение и микроконстанты нуклидов		
			по столкновениям	по поглощению	по пробегам
BIGTEN	41.2	41.4	61.8	66.1	66.2
БФС-97-1	68.2	72.1	136.8	140.7	155.9
БФС-80-1	63.8	65.9	148.7	177.6	377.6

Именно большие затраты времени на регистрацию побудили (по крайней мере временно) отказаться от комбинирования процедур регистрации.

Рисунок 3 дает наглядное представление о времени, затрачиваемом на регистрацию, и возможности оптимизации его затрат.

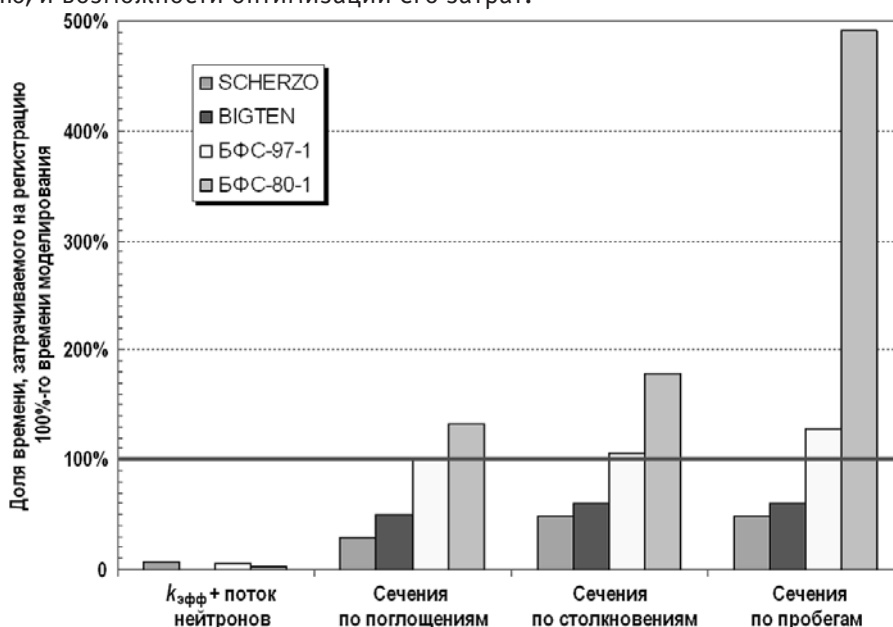


Рис. 3. Доля времени, затрачиваемого на регистрацию, по отношению ко времени моделирования траекторий

В рассмотренных моделях доля времени, затрачиваемого на регистрацию сечений, может составлять от 30 до 56% и более, т.е. больше половины времени расче-

та может уходить на регистрацию. Для сильногетерогенных систем время регистрации может достигать или превышать время моделирования (в пять раз для БФС-80-1, см. рис. 3). Однако это время можно существенно сократить, регистрируя сечения нуклидов только по поглощениям, что в геометрически сложных системах позволяет до четырех – пяти раз сократить общее время расчета. Разумеется, это приводит к повышению статистических погрешностей расчетных результатов (особенно в зонах малого объема).

Включение РОКОКО-ММК в систему СКАЛА позволяет записать рассчитанные с помощью этой программы гетерогенно заблокированные (с учетом детальных энергетических зависимостей) константы в библиотеку формата GMF [16], используемую в системе константного обеспечения программы CONSYST, взамен тех, которые готовятся собственно этой программой. При этом матрицы энергоугловых переходов при упругом и неупругом рассеянии, на которые самоэкранировка практически не сказывается, сохраняются прежними. Таким образом, появилась возможность при подготовке констант уйти от основных приближений применяемых методик

- узкого резонанса;
- «слабой диффузии», т.е. пренебрежения влиянием тока на резонансную структуру потока;
- «стандартного спектра», по которому усредняются групповые сечения.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

1. Одной из первоочередных задач представляется тестирование РОКОКО-ММК в решении (n, γ) -задач. Напомним, что комплекс РОКОКО предоставляет все необходимые для этого константы. Гамма-кванты в РОКОКО описываются в 127-групповом приближении с использованием макро-констант. Им присвоены номера групп с 301-й по 427-ю. Розыгрыш пробега, столкновения гамма-кванта и последствий этого столкновения в оперативных процедурах РОКОКО уже предусмотрены.

2. В связи с гамма-задачей нельзя не отметить и необходимость модернизации 127-групповой системы констант БНАБ с целью учета рентгеновского излучения, образующегося при торможении фотоэлектронов, комптоновских электронов и позитрон-электронных пар. Необходимость учета тормозного излучения выявилась при расчетах радиационной обстановки в хранилище ОЯТ Билибинской АЭС. Поскольку образование жесткого тормозного излучения определяется, в основном, зарядовым числом материала, в котором тормозятся электроны, включение этих данных в библиотеку гамма-квантов не потребует модернизации структуры этой библиотеки.

3. С целью дальнейшего сокращения расчетного времени мы намерены также предусмотреть возможность объединения всех «групповых» нуклидов, т.е. нуклидов, для которых резонансная самоэкранировка не существенна, в один макронуклид. Энергоугловые распределения упругорассеянных нейтронов для этого нуклида можно будет описать в P5-приближении с помощью трех дискретных углов рассеяния с заданными вероятностями, как это делается в KENO-Va и в РОКОКО для описания рассеяния гамма-квантов.

4. Опробованный в РОКОКО-ММК алгоритм получения двухподгрупповых параметров мог бы найти применение и при предполагаемой модернизации CONSYST'a для получения двухподгрупповых макроконстант. Переход к двухподгрупповому приближению позволил бы корректно учитывать граничные резонансные эффекты и угловую зависимость резонансной структуры потока внутри группы, а следовательно, и групповых констант.

5. Создание на основе РОКОКО-ММК (или независимо от нее) программы расчета ячейки стенда БФС, позволяющей готовить гетерогенно-блокированные (с учетом

детального хода сечений) гомогенизированные константы, включая транспортные сечения, определенные из условия сохранения отношения тока нейтронов через ячейку и градиента потока для дальнейшего их использования в диффузионных программах, таких как TRIGEX [17]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Продемонстрирована работоспособность комбинированной системы константно-го обеспечения РОКОКО в качестве физического модуля инженерной программы расчета реакторов методом Монте-Карло – программы РОКОКО-ММК. Отличие результатов расчетов с детальным слежением за энергией нейтрона при описании сечений по этой программе от результатов расчета по реперной программе MCNP5 не превышает погрешностей, обусловленных неточностью знания нейтронных данных. Затраты машинного времени на расчет при использовании РОКОКО-ММК меньше (во многих случаях – существенно) затрат времени на такой же расчет по MCNP. Рассмотрены некоторые пути использования РОКОКО-ММК в инженерных расчетах. Намечены перспективы дальнейшего развития.

Благодарности

Авторы выражают благодарности Г.Н. Мантурову за помощь в организации тестирования и разработки, а также за рекомендации и предложения по улучшению программы; К.Ф. Раскачу за помощь в освоении модуля OOBG, выделенного из MMKKENO; Ю.Е. Головки за рекомендации по отбору набора моделей для тестирования и помощь в работе с базой DICE, и поиск в ней нужной информации; О.Н. Андриановой за предоставление заданий и помощь в работе с программой MCNP; В.Н. Кощееву за консультации по библиотекам РОСФОНД, ENDF/B-VII и программе NJOY, а также за замечания по результатам расчетов тестов; В.Б. Полевому за предложенные тесты простых моделей, кросс-тестирование с программой ММК-ФК и замечания по документации на комплекс СКАЛА с системой РОКОКО-ММК.

Литература

1. Жердев Г.М., Кислицына Т.С., Николаев М.Н. РОКОКО – система константного обеспечения расчета реакторов методом Монте-Карло // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2018. – № 1. – С. 41-52.
2. Кислицына Т.С., Николаев М.Н. ROCOCO. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016612400 от 26.02.2016 г.
3. Жердев Г.М., Николаев М.Н., Цибуля А.М. и др. СКАЛА – Система Компьютерного Анализа для Лицензирования ядерной и радиационной безопасности на предприятиях Атомной промышленности // Центр организации экспертиз программ НТС ЯРБ. Часть 2. Вычислительные программы. Инв. ОФАП № 3811. 2003. Часть 3. Инструкция пользователя. Инв. ОФАП № 3809. 2003.
4. MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code. Version 5 / Volume I. Overview and Theory. LANL LA-UR-03-1987.
5. Жердев Г.М. SKALA – The Computing System for an Estimation of Nuclear and Radiation Safety, M&C2005/ Avignon, France, September 12–15 2005.
6. Жемчужов Е.В. Программа SUBGROUPS. URL: <http://jini-zh.org/subgroups/subgroups.html> (дата доступа 10.01.2018).
7. Petrie L.M., Landers N.F. KENO VA – An Improved Monte Carlo Criticality Program with Supergrouping. Vol.2, Section F11 from «SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation». NUREG/CR-0200. Rev. 2 (ORNL/NUREG/CSD-2/R2) (December, 1984).
8. Блыскавка А.А., Коробейников В.В., Кощеев В.Н., Мантуров Г.Н., Николаев М.Н., Полевый В.Б., Раскач К.Ф., Рожихин Е.В., Семенов М.Ю., Цибуля А.М. MMKKENO. Свидетельство о

- государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014610575 от 15.01.2014 г.
9. NJOY99.0 Code System for Producing Pointwise and Multigroup Neutron and Photon Cross Sections from ENDF/B Data. RSICC Peripheral Shielding Routine Collection. Oak Ridge National Laboratory. Documentation for PSR-480/NJOY99.0 Code Package (March 2000).
10. Блыскавка А.А., Жемчугов Е.В., Мантуров Г.Н., Николаев М.Н., Раскач К.Ф., Семенов М.Ю., Цибуля А.М. ММКС. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014612579 от 28.02.2014 г.
11. Cullen D.E. Program SIGMA1 (version 74-1). Lawrence Livermore Laboratory report UCID-16426 (January, 1974).
12. NEA/NSC/DOC(95)03/III. Volume III. IEU-MET-FAST-015.
13. NEA/NSC/DOC(95)03/VI. Volume VI. MIX-MISC-FAST-003.
14. Bednyakov S.M. Minor Actinides at BFS Facility: Current Activity, Research Tools and Possible Investigations. Электронный ресурс: <https://www.oecd-nea.org/download/mii/documents/Attachment2-ref.in3.2.3.pdf> (дата доступа 10.01.2018).
15. Жердев Г.М. Расчет изотопной кинетики и источника радиоактивных излучений в системе программ и библиотек СКАЛА/БНАБ // Сб. докл. X Юбилейной российской научной конференции «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях», 22-25 сентября 2015. Сборник тезисов, дополнение. – С. 16-17.
16. Мантуров Г.Н., Николаев М.Н., Поляков А.Ю., Цибуля А.М. Аннотация программы CONSYST // ВАИТ. Сер.: Ядерные константы. – 1999. – № 2. – С. 148.
17. Кислицына Т.С., Мантуров Г.Н., Николаев М.Н., Пивоваров В.А., Семенов М.Ю., Серегин А.С., Цибуля А.М. TRIGEX. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013660588 от 11.11.2013 г.

Поступила в редакцию 03.05.2017 г.

Авторы

Жердев Геннадий Михайлович, ведущий научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук
E-mail: jerdev@ippe.ru, zherdev@ippe.ru

Кислицына Тамара Семеновна, старший инженер
E-mail: abbn@ippe.ru, bnab@ippe.ru

Николаев Марк Николаевич, главный научный сотрудник, д-р физ.-мат. наук
E-mail: mnikolaev@ippe.ru

ROCOCO SYSTEM OF COMBINED NEUTRON CONSTANTS – CURRENT STATUS AND RESULTS OF TESTING USING GEOMETRICAL MODULE OF THE MMK CODE

Jerdev G.M., Kislitsyna T.S., Nikolaev M.N.

JSC «SSC RF-IPPE n.a. A.I. Leypunsky»

1 Bondarenko sq., Obninsk, Kaluga reg., 249033 Russia

ABSTRACT

Results of studies aimed at the further refinement of the ROCOCO system (routine for calculation and organization of combined constants including cross-sections in group and subgroup representation and with detailed description of neutron cross-section energy dependence) [1, 2] are presented in the present paper. Inclusion of this system as a physical module into a set of Monte Carlo calculation codes with OOBG geometric module from the MMK [3] code is discussed. OOBG module is designed for calculation of neutron multiplication systems with heterogenous cores arrange as hexagonal grids with different degrees of complexity. The complex was named ROCOCO-MMK. Results of testing the complex in the calculations of multi-zone neutron multiplication systems (including those with zones containing neutron moderator, zones with close composition but with different temperature, etc.) are described. Accounting for the dependence of constants for one and the same nuclide in the zones with different compositions and temperatures required substantial modernization of routines for preparation of constants for calculation described in [1]. Algorithm for preparation of subgroup constants was changed, methodology for taking into account resonance self-screening of cross-sections within the range of unresolved resonances was improved, and other changes were introduced in the process of this modernization.

Results of calculations are compared with data obtained using the MCNP-5 precision program [4], which is linked to the same library of evaluated neutron data ROSFOND as that used in ROCOCO. The ROCOCO-MMK includes procedures for registering different neutron flux functionals (also based on ROCOCO data), which allowed including it in the SCALA computation complex [3, 5] and step-by-step calculation of evolution of fuel nuclide composition during the fuel residence campaign. Directions of further development of the system are outlined in conclusion and, in particular, some possibilities of using the created software for further improvement of methods for preparation of few-group constants for calculations in diffusion approximation are examined.

Key words: new ROCOCO combined system of neutron constant preparation, further refinement, introduction in the practice of calculations, Monte-Carlo method, results of comparative calculations, potential of development.

REFERENCES

1. Zherdev G.M., Kislitsyna T.S., Nikolaev M.N. ROCOCO – system of nuclear data preparation for reactor calculations by Monte-Carlo method. *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika*. 2018, no. 1, pp. 41-52 (in Russian).
2. Kislitsina T.S., Nikolaev M.N. ROCOCO. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2016612400 ot 26.02.2016 (in Russian).
3. Zherdev G.M., Nikolaev M.N., Tsibulya A.M. The system of Computer Analysis for Licensing the nuclear and radiation safety in the Nuclear industry. Centr Organizacii Ekspertiz Programm NTS YaRB. Chast' 2. Vychislitel'nye programmy. Inv. OFAP № 3811. 2003. Chast' 3. Instrukciya pol'zovatelya. Inv. OFAP № 3809. 2003 (in Russian).

4. MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code. Version 5 / Volume I. Overview and Theory. LANL LA-UR-03-1987.
5. Zherdev G.M. SKALA – The Computing System for an Estimation of Nuclear and Radiation Safety, M&C2005/ Avignon, France, September 12–15 2005.
6. Zhemchugov E.V. Program SUBGROUPS. Available at <http://jini-zh.org/subgroups/subgroups.html> (accessed 10.01.2018) (in Russian).
7. Petrie L.M., Landers N.F. KENO VA – An Improved Monte Carlo Criticality Program with Supergrouping. Vol.2, Section F11 from «SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation». NUREG/CR-0200. Rev. 2 (ORNL/NUREG/CSD-2/R2) (December, 1984).
8. Blyskavka A.A., Korobeinikov V.V., Koshheev V.N., Manturov G.N., Nikolaev M.N., Polevoy V.B., Raskach K.F., Rozhihin E.V., Semjonov M.Y., Tsibulya A.M. MMKKENO. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2014610575 ot 15.01.2014 (in Russian).
9. NJOY99.0 Code System for Producing Pointwise and Multigroup Neutron and Photon Cross Sections from ENDF/B Data. RSICC Peripheral Shielding Routine Collection. Oak Ridge National Laboratory. Documentation for PSR-480/NJOY99.0 Code Package (March 2000).
10. Blyskavka A.A., Zhemchugov E.V., Manturov G.N., Nikolaev M.N., Raskach K.F., Semenov M.Y., Tsibulya A.M. MMKC. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2014612579 ot 28.02.2014 (in Russian).
11. Cullen D.E. Program SIGMA1 (version 74-1). Lawrence Livermore Laboratory report UCID-16426 (January, 1974).
12. NEA/NSC/DOC(95)03/III. Volume III. IEU-MET-FAST-015.
13. NEA/NSC/DOC(95)03/VI. Volume VI. MIX-MISC-FAST-003.
14. Bednyakov S.M. Minor Actinides at BFS Facility: Current Activity, Research Tools and Possible Investigations. Available at <https://www.oecd-nea.org/download/ma-ii/documents/Attachment2-ref.in3.2.3.pdf> (accessed Jan 10 2018)
15. Zherdev G.M. The calculation of isotope kinetic and the radiation source in the SCALA/BNAB system programs and libraries. Proc. of the X Yubilejnoj rossijskoj nauchnoj konferencii «Radiacionnaya zaschita i radiacionnaya bezopasnost' v yadernyh tehnologiyakh», 22-25 sent. 2015. Sbornik tezisov, dopolnenie, pp. 16-17 (in Russian).
16. Manturov G.N., Nikolaev M.N., Polyakov A.Yu., Tsibulya A.M. CONSYST Program description. VANT. Ser. «Yadernye konstanty». 1999, v. 2, p. 148 (in Russian).
17. Kislitsina T.S., Manturov G.N., Nikolaev M.N., Pivovarov V.A., Semjonov M.Ju., Seriozhin A.S., Tsibulya A.M. TRIGEX. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2013660588 ot 11.11.2013 (in Russian).

Autors

Jerdev Gennady Mikhailovitch, Leading Resercher, Cand. Sci. (Phys.-Math)

E-mail: jerdev@ippe.ru

Kislitsyna Tamara Semenovna, Senior Engeneer

E-mail: bnab@ippe.ru

Nikolaev Mark Nikolaevitch, Senior Resercher, Dr. Sci. (Phys.-Math)

E-mail: mnikolaev@ippe.ru