УДК 621.039.51.17

ПЕРВООЧЕРЕДНЫЕ ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ КОНСТАНТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАСЧЕТОВ РЕАКТОРОВ И ЗАЩИТЫ

Г.Н. Мантуров, М.Н. Николаев
АО «ГНЦ РФ-ФЭИ им. А.И. Лейпунского»
249033, Калужская обл., Обнинск, пл. Бондаренко, 1

Рассматриваются первоочередные задачи, которые должны быть решены при разработке нового поколения константного обеспечения расчетов быстрых реакторов на основе унифицированной системы БНАБ-2020 многогрупповых ядерных нейтронно-физических констант, получаемых из файлов оцененных нейтронных данных РОСФОНД. Наряду с созданием совершенной системы константного обеспечения расчетов значительное внимание должно быть уделено разработке и созданию методик и расчетных кодов для оценки и ранжирования погрешностей в расчетах ЯЭУ для сосредоточения на наиболее значимых направлениях.
Создание единого унифицированного константного обеспечения и внедрение его в расчетные программы обеспечит единообразие процедуры подготовки констант, что повысит надежность их верификации, точность и надежность расчетных предсказаний всех важнейших характеристик проектируемых реакторов, обеспечит их лицензионную чистоту, конкурентоспособность и независимость от зарубежных разработок.

Ключевые слова: файлы нейтронных данных, РОСФОНД, мультигрупповые ядерные константы, БНАБ, расчеты быстрых реакторов, радиационная защита, топливный цикл, оценка точности.

ВВЕДЕНИЕ

Уравнение переноса нейтронного и гамма-излучений в области энергий, существенной при расчетах быстрых реакторов и радиационной защиты, не содержит никаких сколько-нибудь значимых приближений – точность его решения определяется практически полностью точностью знания характеристик взаимодействия излучения с веществом и, лишь частично, корректностью расчетных методик [1, 2].

Обеспечение расчетных кодов надежными данными о характеристиках взаимодействия относится к компетенции отраслевой метрологической службы. В мировой же практике формируются так называемые «списки потребностей» в ядерных данных [3] для наиболее актуальных задач.

Приведение методик использования этих характеристик в расчетах полей излучений в соответствие с современным уровнем знаний об этих характеристиках должно являться одной из важнейших задач разработки кодов нового поколения.

МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО

Метод Монте-Карло – методически наиболее совершенный из современных методов расчета нейтронных и гамма-полей [4, 5] – позволяет описывать энергетические зави-

© *Г.Н. Мантуров, М.Н. Николаев, 2016*

симости характеристик взаимодействия с той точностью, с которой они «известны» и воспроизводятся из файлов данных [6]. Две задачи остаются пока нерешенными, по крайней мере, в отечественных кодах.

1. Коды, реализующие метод Монте-Карло, в обязательном порядке сопровождают результаты расчетов статистическими погрешностями, обусловленными конечным числом разыгранных траекторий. При современном уровне развития вычислительной техники статистические погрешности расчета основных характеристик реакторов без проблем доводятся до уровня, несущественного по сравнению с погрешностями, обусловленными неточностью знания нейтронных и фотонных данных («константная составляющая погрешности») и ядерных концентраций («технологическая составляющая погрешности»).

Обеспечение расчетных кодов ковариационными данными, позволяющими объективно (научно обоснованно) оценивать погрешности расчета эффектов реактивности и иных функционалов, определяющих условия безопасной эксплуатации, относится к числу первоочередных задач. Реальность решения задачи обеспечивается имеющимся заделом, имеются пилотные версии нейтронных ковариационных данных [7] и методики использования этих данных в расчетных кодах (например, код СКАЛА [8] для расчетов ядерной и радиационной безопасности).

2. Для предотвращения крупномасштабных аварий необходимо располагать кодами, способными рассчитывать отклики локальных датчиков нейтронного потока на быстрые изменения критичности реактора в аварийных режимах. Корректный расчет локальных функционалов методом Монте-Карло требует решения неоднородного сопряженного уравнения, для чего приходится отказываться от детального описания энергетических зависимостей сечений и переходить к многогрупповому приближению.

Решение этой задачи позволило бы более точно и корректно рассчитывать отношения эффектов реактивностей и отношения сечений, а также привлечь к анализу такого сорта экспериментальные данные как величины, измеряемые с помощью малых образцов на критсборках и реакторах.

Для решения поставленной задачи коды, реализующие метод Монте-Карло, должны обеспечиваться не только детальными энергетическими зависимостями сечений, но и полученными на их основе групповыми константами. Для корректного решения сопряженного уравнения переноса требуется специальная подготовка групповых констант.

Комбинация детального и многогруппового описаний нейтронных данных позволяет избежать неоправданных затрат времени на расчет реакторов с достаточно высоким выгоранием, когда число нуклидов, входящих в состав активной зоны, возрастает на два порядка. Это особенно важно при проведении динамических расчетов. Реальность решения задачи обеспечивается имеющимся заделом – системы обеспечения кодов расчетов методом Монте-Карло комбинированными детальными, групповыми и (или) подгрупповыми константами уже имеются. Требуется дальнейшее продвижение в этом направлении. Например, предлагаемый подход объединения «групповых» изотопов в один «макронуклид» со своими макроконстантами приведет к существенному сокращению расчетного времени и статистической погрешности (в «макронуклид» может быть включена и часть «подгрупповых» нуклидов, взаимодействие нейтронов с которыми допустимо описывать блокированными групповыми константами).

Для проведения динамических расчетов необходимо обеспечить расчетные программы данными о вероятностях того, что рассматриваемый нейтрон принадлежит той или иной группе запаздывающих нейтронов и эффективным периодам полураспада предшественников этих групп.

ГРУППОВОЙ МЕТОД

Групповой метод решения уравнения переноса используется широко в России и за рубежом для расчетов как активной зоны, так и радиационной защиты. При расчетах

защиты время решения конкретной задачи пропорционально числу энергетических групп, для которых подготовлены константы. Программа подготовки констант CONSYST [9, 10] (ранее АРАМАКО [11]) способна генерировать малогрупповые константы, проводя оценку нейтронных спектров в B^2-приближении, пригодном для размножающих сред, в которых основным источником являются нейтроны деления, испущенные в рассматриваемом материале. В этих случаях B^2-приближение оказывается достаточно корректным, чтобы на основании рассчитанных спектров можно было свернуть исходные мультигрупповые константы в малогрупповые (что и делается при подготовке констант для расчета реакторов).

1. Априорная оценка спектров в неразмножающих материалах, используемых в радиационных защитах, невозможна, поэтому в программах расчета защиты приходится использовать на порядок большее число групп [12], чем это возможно при расчете реакторов, что приводит к большим затратам расчетного времени и невозможности проведения в разумные сроки многовариантных оптимизационных расчетов. Чтобы устранить этот недостаток необходимо использовать итерационное уточнение проблемно-ориентированных малогрупповых констант для расчета защиты. В каждой итерации оцениваются источники замедления нейтронов в широкую группу из более высокоэнергетических групп и разность между притоком и утечкой нейтронов из смежных сред. На основании этой информации программа подготовки констант вычисляет для каждой широкой группы свое значение параметра B^2, обеспечивающее сохранение баланса, оценивает внутригрупповой спектр и готовит малогрупповые константы для следующей итерации.

2. Другой проблемой классического многогруппового метода является невозможность учета угловой зависимости нейтронных сечений, обусловленной резонансной самоэкранировкой, и граничных резонансных эффектов. В радиационных защитах, в которых, естественно, стремятся обеспечить возможно большие градиенты нейтронного потока, это есть весьма значимая проблема. Ее решение возможно путем перехода к подгрупповому приближению, а для реализации такого подхода система подготовки констант для каждого расчета должна готовить проблемно-ориентированные подгрупповые макроконстанты.

3. Для повышения точности расчетов необходимо совершенствование программ подготовки констант. Реализованная в современной программе CONSYST методика учета эффектов резонансной самоэкранировки была разработана еще в 60-е годы прошлого века и ориентирована на диффузионное приближение [13]. В ней не учитывается резонансная самоэкранировка параметров угловых распределений; оценка резонансной структуры плотности потока нейтронов не учитывает токовую составляющую, обладающую иной структурой; при расчете транспортного сечения используется так называемое «подправленное транспортное приближение». Более совершенная методика подготовки групповых констант давно разработана и должна быть реализована в программе подготовки констант для кодов нового поколения. В этой программе должна быть предусмотрена и возможность отказа от приближения узких резонансов, не применимого для группового описания резонансной самоэкранировки при низких энергиях. Эта проблема может быть решена путем расчета спектра нейтронов в низкоэнергетической области с использованием численного решения уравнения замедления с использованием данных о детальном ходе сечений резонансных изотопов.

4. Для решения ряда прикладных задач (расчет коэффициентов чувствительности, оценка эффектов реактивности и т.п.) используются многогрупповые методы решения однородного и неоднородного сопряженных уравнений переноса. Известно, что операции сопряжения и группового усреднения некоммутативны. При решении сопряженного уравнения следует использовать групповые константы, усредненные с весом рассчитываемой ценности, а не с весом плотности потока нейтронов. Эти спектры и их ре-

зонансная структура существенно различны, однако в обычной расчетной практике этими различиями пренебрегают, т.к. программ подготовки констант для сопряженных уравнений нет. В новой программе подготовки констант этот недостаток может быть устранен, по крайней мере, при подготовке констант для расчета функции ценности по отношению к асимптотической мощности. Для подготовки констант для решения задач обобщенной теории возмущений требуются дополнительные методические разработки.

5. Программа подготовки констант должна подготовить данные об энерговыделении и образовании гамма-квантов в нейтронных реакциях и констант для расчета порождаемых гамма-полей. В то же время пользователь должен иметь возможность отказаться от описания переноса энергии гамма-квантами. В этом случае уносимая их энергия должна рассматриваться как локально выделяемая в месте их образования, что должно быть учтено в константах энерговыделения, подготавливаемых для этого случая. Эта возможность предусмотрена в современной программе CONSYST.

ДИФФУЗИОННОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ

Диффузионное малогрупповое приближение широко используется в проектных кодах и в кодах сопровождения эксплуатации действующих реакторов. Погрешности результатов, связанные с этим приближением, компенсируются введением поправок, оцененных для одной или нескольких базовых вариантов рассматриваемой реакторной конструкции путем сравнения с результатами прецизионных расчетов, полученных, как правило, методом Монте-Карло.

Естественно поставить задачу о введении «поправок» в используемые в расчетах константы с тем, чтобы в результате расчетов могли быть получены правильные значения не только интегральных функционалов, но и самих нейтронных полей. При этом поправки, вводимые в получаемые «проблемно-ориентированные» малогрупповые константы, должны учитывать погрешности не только диффузионного приближения, но и учета гетерогенных эффектов при подготовке констант. Последнее требует сопряжения программы подготовки констант с программой расчета ячейки гетерогенной решетки, ориентированной на получение проблемно-ориентированных констант.

Другой актуальной задачей является реализация методики оценки константных и технологических погрешностей расчетных результатов с учетом того, что в исходном послепусковом состоянии реактор был строго критичен. Учет этого обстоятельства, ведущего к существенному снижению оцениваемой погрешности, особенно важен при расчетной оценке изменения реактивности с выгоранием и других эффектов, обусловленных изменением нуклидного состава (коэффициента воспроизводства и т.п.). Задача учета константной погрешности расчетных результатов с использованием диффузионных кодов уже решена и методически, и программно. При таком подходе для учета критичности исходного состояния требуется обеспечить пересмотр ковариационных матриц погрешностей констант, что потребует дополнительных программно-методических разработок.

РАСЧЕТЫ ИЗОТОПНОЙ КИНЕТИКИ, ВЫГОРАНИЯ ТОПЛИВА, НАКОПЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ, ВЫЖИГАНИЯ МА

Данные о сечениях отдельных реакций требуются для анализа ядерных топливных циклов, включая трансмутацию РАО, анализ путей наработки радионуклидов и других путей использования реакторных излучений. Необходимые (и достаточные) для этой цели данные об образовании младших актинидов, продуктов деления и других нуклидов, образующихся в нейтронных реакциях, существуют в удобной для использования групповой форме. Однако для их практического использования требуется все же дополнительная подготовка (например, получение вероятностей пороговых реакций в полученных при расчете суммарных числах поглощений, неупругого рассеяния и т.п.). Данные о сечениях образования и выжигания продуктов нейтронных реакций должны

быть сопряжены с данными о радиоактивных распадах, которые также требуются для расчета нуклидной кинетики. При этом следует отметить важность задачи совершенствования методик использования результатов измерения нуклидного состава облученного топлива и соответствующих погрешностей этих измерений для снижения неопределенности расчетного предсказания изотопного состава отработавшего топлива и его характеристик. Актуальность задачи связана с высоким средним выгоранием ОЯТ в активных зонах перспективных быстрых реакторов.

ПЕРЕНОС И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГАММА-КВАНТОВ С ВЕЩЕСТВОМ

Ядерные данные по гамма-квантам требуются как для расчетов радиационной и водородной безопасности в хранилищах и контейнерах для ОТВС, так и для корректного расчета энерговыделения при нейтронно-физических расчетах активной зоны. Последнее особенно актуально при расчетах реакторов с ТЖМТ, поскольку порождаемое нейтронами гамма-излучение значительную часть своей энергии выделяет непосредственно в теплоносителе, тем самым снижая нагрузку на оболочки твэлов.

В программе подготовки констант для кодов нового поколения должна быть обеспечена возможность расчета источников гамма-излучения радиоактивных распадов с учетом вклада всех не слишком долгоживущих дочерних радионуклидов.

Используемые константы переноса гамма-излучения (как 15-ти, так и 127-ми групп) получены на основе библиотеки EPDL, используемой во всем мире, и должны быть дополнены данными, позволяющими учитывать в том же приближении образование тормозного излучения, порождаемого комптоновскими и фото- электронами.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАСЧЕТОВ

Важнейшими задачами, решаемыми на стадии проектирования реакторной установки, являются оценка (консервативная) баланса реактивности в системе и определение необходимых запасов для компенсации избыточной реактивности с учетом установленных норм и правил ядерной безопасности.

При этом должны быть определены все источники (составляющие) погрешностей в расчетах нейтронно-физических характеристик, из которых основными являются

– методическая составляющая – систематическая погрешность, связанная с приближенностью используемых расчетных методик при решении уравнения переноса излучения и неточностями при разработке модели рассчитываемой установки;

– константная составляющая, связанная с имеющимися погрешностями в нейтронных данных (энергетических зависимостях сечений, их резонансной структуре, угловых зависимостях, и т.д.); по своей природе константные погрешности имеют случайный характер и, зачастую, за счет их большого (огромного) количества и многообразия компенсируют друг друга;

– неизвестная систематическая погрешность, связанная с несовершенством (на сегодня) экспериментальных методов (например, конечностью энергетического разрешения экспериментальной установки) и теоретических подходов и оцениваемая путем расчетов многочисленных бэнчмарк- (тестовых) моделей экспериментов и их статистической обработки.

Разрабатываемое константное обеспечение нового поколения наряду с обеспечением расчетов необходимыми ядерными константами, базируемыми на национальной библиотеке файлов оцененных нейтронных данных РОСФОНД [14, 15], должно быть достаточно тщательно верифицировано [16, 17] и иметь средства для обоснования точности и надежности расчетного предсказания всех важнейших характеристик проектируемой реакторной установки, ее защиты, параметров безопасности как самой установки, так и ее топливного цикла.

Разработка соответствующих верификационных экспериментальных баз данных (по

типу [18, 19], разработка методик и создание системы расчетных кодов для оценки и ранжирования расчетных погрешностей (как [20, 21] – все это есть средства решения важнейшей задачи константного обеспечения – оценка вкладов различных источников погрешностей [22] и анализ допустимых погрешностей в расчетах для сосредоточения на наиболее значимых направлениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К первоочередным задачам, которые должны быть решены при разработке нового поколения константного обеспечения расчетов быстрых реакторов, относятся

– разработка усовершенствованной версии библиотеки файлов оцененных нейтронных данных РОСФОНД на основе новых оценок и новейших экспериментальных и расчетных данных, включая оценки ковариаций погрешностей сечений;

– разработка на основе усовершенствованной библиотеки файлов РОСФОНД универсальной системы БНАБ-2020 многогрупповых ядерных нейтронно-физических констант, включая подгруппы и детальные зависимости сечений (в том числе, в зависимости от температуры) и библиотеки ковариационных матриц погрешностей многогрупповых данных;

– разработка библиотеки констант для расчетов изотопной кинетики и активации материалов, библиотеки констант для газообразных продуктов деления, твердых фракций и шлаков;

– разработка усовершенствованного программного комплекса CONSYST-2020 для обеспечения ядерными константами различных нейтронно-физических кодов и приложений (в том числе для ЯТЦ) в различных форматах с использованием универсальной системы многогрупповых констант и их детальных зависимостей БНАБ-2020, включая разработку в рамках кода CONSYST процессингового модуля переработки файлов РОСФОНД в многогрупповую форму ядерных констант БНАБ;

– разработка интерфейсных модулей в рамках кода CONSYST для обеспечения константами основных расчетных кодов – диффузионного, кинетического и метода Монте-Карло;

– разработка в рамках кода CONSYST модуля подготовки констант ядер-продуктов деления для задач расчета кампании реактора, изотопной кинетики и выгорания топлива, накопления продуктов деления и выжигания минорных актинидов;

– разработка кода подготовки ориентированных малогрупповых констант для проведения скоростных вариантных и динамических расчетов и подготовка соответствующих ориентированных малогрупповых библиотек констант;

– разработка и подготовка для широкого использования верификационной базы представительного набора бэнчмарк-экспериментов для верификации систем кодов и ядерных констант;

– разработка и создание методики и расчетного кода для оценки и ранжирования расчетных погрешностей; оценка вкладов различных источников погрешности и анализ допустимых погрешностей в расчетах ЯЭУ для сосредоточения на наиболее значимых направлениях;

– верификация системы кодов и библиотек констант CONSYST/БНАБ-2020 с использованием их групповых и детальных зависимостей и аттестация в качестве стандартных справочных данных.

Создание нового поколения системы программных кодов и библиотек данных CONSYST/БНАБ для обеспечения ядерными константами нейтронно-физических расчетов быстрых реакторов и их топливного цикла с использованием файлов нейтронных данных РОСФОНД и библиотек многогрупповых констант, созданных на единой методической основе, дает реальные шансы повысить надежность и безопасность реакторных установок, обеспечить их лицензионную чистоту, конкурентоспособность и независимость от зарубежных разработок. Создание единого унифицированного константного

обеспечения и внедрение его в расчетные программы обеспечит единообразие процедуры подготовки констант, повысит надежность их верификации, точность и надежность расчетных предсказаний всех важнейших характеристик проектируемых реакторов.

Литература

1. *Николаев М.Н.* Константное обеспечение расчётов быстрых реакторов. Путь к современному состоянию и задачи дальнейшего развития // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2013.– №4. – С. 5 – 16.

2. *Николаев М.Н., Рязанов Б.Г., Савоськин М.М., Цибуля А.М.* Многогрупповое приближение в теории переноса нейтронов. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

3. *Plompen A.J.M., Fukahori T., Ignatyuk A., Manturov G.* The NEA High Priority Nuclear Data Request List for future needs. Proc. of Intern. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, ND–2007. Nice, France. – 2007. – PP. 765–768.

4. *Блыскавка А.А., Мантуров Г.Н., Николаев М.Н., Цибуля А.М.* Программный комплекс CONSYST/ММКК для расчета ядерных реакторов методом Монте-Карло в многогрупповом приближении с индикатрисами рассеяния в Pn-приближении: Препринт ФЭИ-2887. – Обнинск, 2001.

5. MCNP – A General Monte Carlo Neutron-Particle Transport Code. Version 5. X-5 Monte Carlo Team, Los Alamos National Laboratory, April 2003.

6. *MacFarlane R.E.,* NJOY97.0 Code System for Producing Pointwise and Multigroup Neutron and Photon Sections from ENDF/B Data. – RSIC Peripheral Shielding Routine Collection, PSR-368.

7. *Андрианова О.Н., Головко Ю.Е., Жердев Г.М., Задорнов Д.В., Кощеев В.Н., Мантуров Г.Н., Перегудов А.А., Цибуля А.М.* Тестирование ковариационных матриц погрешностей системы констант БНАБ // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2014. – №2. – С.109-117.

8. *Blyskavka A., Jerdev G., Manturov G., Raskach K., Tsiboulia A.* Use of the SKALA Code Package for Computing Criticality and its Uncertainty – Proc. of the 8th Int. Conf. on Nuclear Criticality Safety (ICNC2007), St. Petersburg, Russia, May 28-June 1, 2007. – Vol. 1. – PP. 373-376.

9. *Мантуров Г.Н., Николаев М.Н., Цибуля А.М.* Программа подготовки констант CONSYST. Описание применения: Препринт ФЭИ-2828. – Обнинск, 2000.

10. *Manturov G.N., Nikolaev M.N., Tsiboulia A.M.* BNAB-93 Group Data Library. Part 1: Nuclear Data for Calculation of Neutron and Photon Radiation Fields. – INDC (CCP)-409/L, IAEA. – 1997. – PP. 65-110.

11. *Николаев М.Н., Савоськин М.М., Хохлов В.Ф.* Комплекс программ АРАМАКО для расчета групповых макро- и блокированных микросечений на основе 26-групповой системы констант в подгрупповом представлении // Ядерные константы. – 1972. – Вып. 8, ч. 3. – С. 3-15.

12. *Grabezhnoy V., Koscheev V., Lomakov G., Manturov G.* Verification of the ABBN-RF2010 constants in calculations of shielding benchmarks. Proc. of Intern. Conf. on Radiation Shielding 'ICRS-12 & RPSD-2012'. Nara, Japan, September 2-7, 2012.

13. *Абагян Л.П., Базазянц Н.О., Бондаренко И.И., Николаев М.Н.* Групповые константы для расчета ядерных реакторов. – М.: Атомиздат, 1964.

14. *Забродская, С.В., Игнатюк А.В., Кощеев В.Н., Манохин В.Н., Николаев М.Н., Проняев В.Г.* РОСФОНД – Российская национальная библиотека оцененных нейтронных данных // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерные константы. – 2007. – Вып. 1-2. – С. 3-21.

15. ROSFOND – http://www.ippe.ru/podr/abbn/english/libr/rosfond.php

16. *Кощеев В.Н., Мантуров Г.Н., Николаев М.Н., Цибуля А.М.* Верификация нейтронных данных основных реакторных материалов из библиотеки РОСФОНД на интегральных экспериментах // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2014. – №1. С. 204 – 214.

17. *Golovko Yu., Koscheev V., Lomakov G., Manturov G., Rozhikhin Ye., Semenov M., Tsiboulya A., Yakunin A.* Verification of current version of ABBN constants and CONSYST code in calculation of criticality benchmarks. Proc. of Intern. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology ND2013, New-York, USA, March 4-8, 2013.

18. International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments, Organization for Economic Cooperation and Development – Nuclear Energy Agency, NEA/NSC/DOC(95)03 (September 2011 Edition).

19. International Handbook of Evaluated Reactor Physics Benchmark Experiments, Organization for Economic Cooperation and Development – Nuclear Energy Agency, NEA/NSC/DOC(2006)1

(March 2011 Edition).

20. *Salvatores M., Palmiotti G., Aliberti G.,Archier P.,De Saint Jean C., Dupont E., Herman M., Ishikawa M., Ivanova T., Ivanov E., Kim S., Kodeli I., Manturov G., McKnight R., Pelloni S., Perfetti C., Plompen A.J.M., Rearden B.T., Rochman D., Sugino K., Trkov A., Wang W., Wu H., Yang W.* Methods and issues for the combined use of integral experiments and covariance data: Results of a NEA International Collaborative Study// Nuclear Data Sheets. – April 2014. – Vol. 118. – Iss. 1. – PP. 38-71.

21. *Peregudov A., Semenov M., Manturov G, Koscheev V., Tsibulya A.* Application of the GRS method for estimation of uncertainties of LMFBR type reactor physics parameters with taking into account macroscopic experiments. – Proc. of Intern. Conf. PHYSOR 2014 on the Role of Reactor Physics Toward a Sustainable Future. The Westin Miyako, Kyoto, Japan, September 28 – October 3, 2014, on CD-ROM (2014).

22. *Manturov G.N.* Influence of Neutron Data Uncertainties on Accuracy of Prediction of Advanced Reactor Characteristics. – Proc. of Intern. Conf. Nuclear Data for Science and Technology, May 9-13 1994, Gatlinburg, Tennessee. Vol. 2. PP. 993-999 (1994), ORNL, ANS.

Поступила в редакцию 08.04.2016 г.

Авторы

Мантуров Геннадий Николаевич, начальник лаборатории, канд. физ.-мат. наук
E-mail: mant@ippe.ru

Николаев Марк Николаевич, профессор, доктор физ.-мат. наук
E-mail: bnab@ippe.ru

UDC 621.039.51.17

PRIORITIES IN THE DEVELOPMENT OF NUCLEAR CONSTANTS SUPPORT SYSTEM FOR REACTOR AND SHIELDING CALCULATIONS

Manturov G.N., Nikolaev M.N.
JSC «SSC RF–IPPE»,
1 Bondarenko sq., Obninsk, Kaluga reg., 249033 Russia

ABSTRACT

Equation transport of neutron and gamma radiation in the energy, essential in the calculations of fast reactors and radiation shielding, does not contain any significant approximations - the accuracy of its solution is determined almost entirely accurate knowledge of the characteristics of the interaction of radiation with matter and, only partially, of correctness of computational techniques. Providing computational codes with reliable data about the characteristics of the interaction is the responsibility of the sectoral metrological service. Bringing methods of using these characteristics in the calculation of radiation fields in accordance with the state of knowledge of these characteristics should be one of the most important tasks in developing a new generation of codes.

Hereafter the priorities in this direction are considered that must be addressed when developing a new generation of constants supplying software for fast reactor calculations as it is a unified system ABBN-2020 of multigroup neutron nuclear physics constants obtained on the basis of files ROSFOND national neutron data library. At the same time, along with the creation of a perfect system to ensure nuclear constants calculations, a considerable attention must be paid to the development and creation of methodology and computer code system for the evaluation and ranking of the estimated errors in the calculation of nuclear reactors in order to be concentrated on the most important issues.

Creating of a new generation unified nuclear constants support system ABBN-2020 and its implementation in the design codes will not only ensure uniformity neutron constants preparation procedures, which will increase the reliability of their verification, but also improve the accuracy and reliability of predictions of the most important characteristics of the designed reactors, providing their license purity, competitiveness and independence from foreign developments.

Key words: neutron data files, ROSFOND, multigroup nuclear constants, BNAB, calculations of fast reactors, radiation shielding, fuel cycle.

REFERENCES

1. Nikolaev M. N., Nuclear Data for Calculations of Fast Reactors. Way to Recent State and Tasks for Future Development. *Izvestia Visshikh Uchebnikh Zavedeniy. Yadernaya Energetika*. 2013, no. 4, pp. 5–16 (in Russian).

2. Nikolaev M.N., Ryazanov B.G., Savoskin M.M., Tsibulya A.M. Multigroup approach in the neutron transport theory. Moscow. Energoizdat Publ., 1984 (in Russian).

3. Plompen A.J.M., Fukahori T., Ignatyuk A., Manturov G. The NEA High Priority Nuclear Data Request List for future needs. Proc. of Intern. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, ND–2007. Nice, France. 2007, pp. 765–768.

4. Blyskavka A.A., Manturov G.N., Nikolaev M.N., Tsibulya A.M. Programming complex CONSYST/MMKK for the calculation of nuclear reactors by Monte Carlo method in multigroup approach and Pn-approximation. Preprint IPPE-2887. Obninsk, 2001 (in Russian).

5. MCNP – A General Monte Carlo Neutron-Particle Transport Code. Version 5. X-5 Monte Carlo Team, Los Alamos National Laboratory, April 2003.

6. MacFarlane R.E., NJOY97.0 Code System for Producing Pointwise and Multigroup Neutron and Photon Sections from ENDF/B Data. – RSIC Peripheral Shielding Routine Collection, PSR-368.

7. Andrianova O.N., Golovko Yu.E., Jerdev G.M., Zadornov D.B., Koscheev V.N., Manturov G.N., Peregudov A.A., Tsibulya A.M. Testing covariance matrices of ABBN constants system. *Izvestia Visshikh Uchebnikh Zavedeniy. Yadernaya Energetika.* 2014, no. 2, pp.109-117 (in Russian).

8. Blyskavka A., Jerdev G., Manturov G., Raskach K., Tsiboulia A. Use of the SKALA Code Package for Computing Criticality and its Uncertainty. Proc. of the 8th Int. Conf. on Nuclear Criticality Safety (ICNC2007), St. Petersburg, Russia, May 28-June 1, 2007, v.1, pp. 373-376.

9. Manturov G.N., Nikolaev M.N., Tsibulya A.M. Constant supplying program CONSYST. Application description: Preprint FEI-2828. Obninsk, 2000 (in Russian).

10. Manturov G.N., Nikolaev M.N., Tsiboulia A.M. BNAB-93 Group Data Library. Part 1: Nuclear Data for Calculation of Neutron and Photon Radiation Fields. INDC (CCP)-409/L, IAEA, pp.65-110 (1997).

11. Nikolaev M.N., Savoskin M.M., Khokhlov V.F. Complex ARAMAKO programs for calculating group of macro- and micro-cross blocked on the basis of 26-group constant system representation in a subgroup. *Voprosy Atomnoj Nauki i Tehniki. Ser. Yadernye Konstanty*. 1972, v. 8, iss. 3, pp. 3-15 (in Russian).

12. Grabezhnoy V., Koscheev V., Lomakov G., Manturov G. Verification of the ABBN-RF2010 constants in calculations of shielding benchmarks. Progress in Nuclear Science and Technology (PNST) of Atomic Energy Society of Japan. 2014, v. 4, pp. 587-590 (Proc. of Intern. Conf. on Radiation Shielding 'ICRS-12 & RPSD-2012', Nara, Japan, September 2-7, 2012).

13. Abagyan L.P., Bazazyants N.O., Bondarenko I.I., Nikolaev M.N. Group constants for nuclear reactor calculations. Moscow. Atomizdat Publ., 1964 (in Russian).

14. Zabrodskaia S.V., Ignatiuk A.V., Koshcheev V.N., Manokhin V.N., Nikolaev M.N., Proniaev V.G. ROSFOND – The National Library of evaluated neutron data. *Voprosy Atomnoj Nauki i Tehniki. Ser. Yadernye Konstanty*. 2007, iss. 12, pp. 3-21 (in Russian).

15. ROSFOND. Available at: http://www.ippe.ru/podr/abbn/english/libr/rosfond.php

16. Koscheev V. N., Manturov G. N., Nikolaev M. N., Tsiboulia A. M. Verification of neutron data for main reactor materials from the ROSFOND neutron data library on integral experiments. *Izvestia Visshikh Uchebnikh Zavedeniy. Yadernaya Energetika*. 2014, no. 1, pp. 204–214 (in Russian).

17. Golovko Yu., Koscheev V., Lomakov G., Manturov G., Rozhikhin Ye., Semenov M., Tsiboulya A., Yakunin A. Verification of current version of ABBN constants and CONSYST code in calculation of criticality benchmarks. Proc. of Intern. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology ND2013, New-York, USA, March 4-8, 2013.

18. International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments, Organization for Economic Cooperation and Development, Nuclear Energy Agency, NEA/NSC/DOC(95)03 (September 2011 Edition).

19. International Handbook of Evaluated Reactor Physics Benchmark Experiments, Organization for Economic Cooperation and Development, Nuclear Energy Agency, NEA/NSC/DOC(2006)1 (March 2011 Edition).

20. Salvatores M., Palmiotti G., Aliberti G.,Archier P.,De Saint Jean C., Dupont E., Herman M., Ishikawa M., Ivanova T., Ivanov E., Kim S., Kodeli I., Manturov G., McKnight R., Pelloni S., Perfetti C., Plompen A.J.M., Rearden B.T., Rochman D., Sugino K., Trkov A., Wang W., Wu H., Yang W. Methods and issues for the combined use of integral experiments and covariance data: Results of a NEA International Collaborative Study. *Nuclear Data Sheets*, 2014, v. 118, iss. 1, pp. 38-71.

21. Peregudov A., Semenov M., Manturov G, Koscheev V., Tsibulya A. Application of the GRS method for estimation of uncertainties of LMFBR type reactor physics parameters with taking into account macroscopic experiments. Proc. of Intern. Conf. PHYSOR 2014 on the Role of Reactor Physics Toward a Sustainable Future. The Westin Miyako, Kyoto, Japan, September 28 – October 3, 2014, on CD-ROM (2014).

22. Manturov G.N. Influence of Neutron Data Uncertainties on Accuracy of Prediction of Advanced Reactor Characteristics. Proc. of Intern. Conf. Nuclear Data for Science and Technology, May 9-13 1994, Gatlinburg, Tennessee. 1994, v. 2, pp. 993-999, ORNL, ANS.

Authors

Manturov Gennady Nikolaevich, Head of Laboratory, Cand. Sci. (Phys.-Math.)
E-mail: mant@ippe.ru

Nikolaev Mark Nikolaevich, Head Researcher, Professor, Dr. Sci. (Phys.-Math.)
E-mail: bnab@ippe.ru