

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального бюджетного учреждения «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности»

Хамза А.А.

2017 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Ломакова Глеба Борисовича «Повышение точности определения нейтронно-физических констант для расчета характеристик радиационной защиты реакторов на быстрых нейтронах», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации»

Актуальность темы диссертационной работы

Актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью минимизации константной составляющей погрешности при проведении расчетов переноса нейтронного и гамма излучения (как первичного, так и вторичного), а также расчета различных функционалов потоков перспективных реакторных установок на быстрых нейтронах, таких как радиационное повреждение незаменяемых частей установки, активация теплоносителя, коэффициент размножения нейтронов и другие. Для получения данных по сечениям взаимодействия для библиотек оцененных ядерных данных (ОЯД) применяются результаты экспериментальных измерений, различающихся по своему характеру в зависимости от преследуемой цели эксперимента. К настоящему времени накоплен обширный объем информации по сечениям взаимодействия значительного количества изотопов, в результате чего формируются библиотеки ОЯД. Однако, в связи с развитием науки и техники в области физики быстрых реакторов, возникает необходимость обновления и совершенствования существующих библиотек ОЯД в области высоких энергий с использованием современных экспериментальных и расчетных методик. Кроме того, в настоящее время при проведении расчетов параметров радиационной защиты в мировой практике наиболее часто применяются групповые библиотеки констант, основанные на непрерывных по энергии библиотеках ОЯД, что значительно уменьшает время проведения серий инженерных расчетов. Однако, для проведения расчетов необходимо корректно усреднить микроскопические сечения взаимодействия нейтронов и гамма-квантов с материалами среды и выполнить подготовку макроскопических сечений среды. В настоящее время не разработано универсальной методики усреднения сечений, а

существующие методики необходимо постоянно совершенствовать с целью минимизации константной составляющей погрешности расчетов.

С учетом изложенного выше, не вызывает сомнений актуальность проведения комплекса работ по уточнению ядерных данных для нуклидов, входящих в состав конструкционных материалов реакторов на быстрых нейтронах, в области разрешенных резонансов, а также работ по модернизации существующих методик формирования групповых библиотек констант с целью минимизации константной составляющей погрешности расчета функционалов потока нейтронов и гамма-квантов.

Краткая характеристика диссертационной работы

Поставленная автором задача решена достаточно успешно и полно с применением логичных и эффективных методик. Автором выявлены существенные неточности при определении нейтронно-физических констант в ряде существующих библиотек ОЯД при описании резонансных характеристик кремния, значительное количество которого содержится в бетоне, и ниобия, применяемого в оболочках твэл реакторов на быстрых нейтронах, в том числе космических ядерных энергетических установок (ЯЭУ). Выявленные неточности учтены автором при модификации резонансных характеристик данных нуклидов в библиотеке ОЯД РОСФОНД. Полученная модифицированная библиотека верифицирована с применением широко распространенного и общепризнанного программного средства MCNP на основе экспериментальных данных из международной базы критмассовых экспериментов ICSBER. Проведенная верификация показала значительно лучшую сходимость расчета с экспериментом по сравнению с оригинальной библиотекой ОЯД РОСФОНД.

С целью нивелирования неточностей при использовании групповых библиотек ОЯД автором проведен подробный анализ существующих систем подготовки ядерных констант, рассмотрены различные форматы представления констант и проведен разбор особенностей их группового разбиения. В результате данного анализа автором принято решение провести модернизацию системы подготовки констант CONSYST, которая используется для создания групповой библиотеки БНАБ, посредством корректировки матриц упругого рассеяния и образования гамма-квантов при протекании нейтронных реакций. Помимо этого, функционал программы CONSYST дополнен расширенным набором заблокированных сечений взаимодействия, обработка которых не проводилась в предыдущих версиях. Применимость выполненных модернизаций подтверждена проведением верификационных расчетов бенчмарк-экспериментов с использованием библиотеки констант, подготовленной с помощью

модифицированной программы CONSYST. Так, с применением базы данных экспериментов по радиационной защите SINBAD автором проведено обширное сравнение экспериментально полученных потоков гамма-квантов за защитой систем, состоящих из конструктивных элементов реакторов на быстрых нейтронах, и расчетных значений, полученных с использованием групповой библиотеки БНАБ и непрерывной библиотеки РОСФОНД. По итогам верификации автором сделан обоснованный вывод о возможности применения модернизированного константного обеспечения CONSYST/БНАБ для проведения серий инженерных расчетов характеристик радиационной защиты реакторов на быстрых нейтронах, так как такой подход незначительно уступает по точности расчету, выполненному с применением непрерывной библиотеки РОСФОНД.

Научная новизна результатов диссертационной работы

К практически важным результатам полученным автором в диссертационной работе, характеризующимся достаточной научной новизной, можно отнести следующее:

1. Автором впервые проведена корректная оценка константной неопределенности при использовании современных библиотек ОЯД для задач по расчету эффективного коэффициента размножения нейтронов систем, содержащих значительное количество кремния и ниобия, а также разработана и верифицирована доработанная библиотека ОЯД РОСФОНД, содержащая обновленные нейтронно-физические характеристики кремния и ниобия, которые позволяют существенно снизить данную составляющую общей погрешности расчетов.

2. Представленные в работе улучшения системы подготовки микро- и макросечений взаимодействий CONSYST позволяют проводить оценки потоков нейтронов и гамма-квантов за защитой реакторов на быстрых нейтронах с применением многогрупповой библиотеки БНАБ с точностью, незначительно уступающей непрерывной библиотеке ОЯД РОСФОНД.

Достоверность полученных автором результатов

Достоверность представленных в работе расчетных данных подтверждена выполненной автором верификацией расчетов эффективного коэффициента размножения нейтронов и потоков нейтронов и гамма-квантов с применением экспериментальных данных, опубликованных в международной базе критических экспериментов ICSBER и международной базе экспериментов по радиационной защите SINBAD.

Кроме того, достоверность полученных автором результатов подтверждается применением для расчетов общепризнанного и аттестованного в Российской Федерации (аттестационный паспорт от 12.09.2013 № 337)

программного средства MCNP5 с константами БНАБ-93 с использованием как непрерывных, так и многогрупповых библиотек ОЯД. Применимость программного средства MCNP5 для решения подобных задач также неоднократно подтверждена многочисленными публикациями других авторов.

Апробация результатов, представленных в диссертации

Основные результаты диссертационной работы представлены в 8-ми печатных научных работах, из которых 2 статьи в журналах, индексируемых в базе данных Scopus и 3 статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий ВАК. Вышеупомянутые работы были представлены для обсуждения широкой научной общественностью на 8-ми международных и российских конференциях, хорошо знакомы специалистам отрасли, и, следовательно, достаточно апробированы. Значительный объем работы, проделанной автором лично, основные положения, выносимые им на защиту, достаточно полно отражены в перечне публикаций по теме диссертации и изложенными в них результатами. Кроме того, автором получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Научная и практическая значимость диссертационной работы

Применение разработанных автором уточненных библиотек ОЯД с обновленными данными несомненно увеличивает точность расчета различных функционалов нейтронного потока реакторных установок на быстрых нейтронах, повышает уровень обеспечения радиационной безопасности, а также позволяет расширить область применения библиотек РОСФОНД и БНАБ, что следует из изложенного ниже.

1. Использование разработанных автором усовершенствований резонансных параметров полных сечений кремния и ниобия для библиотеки РОСФОНД, на основе экспериментов по измерению функций пропускания нейтронов позволяет существенно уменьшить расчетно-экспериментальные расхождения данных (до значений экспериментальной погрешности) при расчете эффективного коэффициента размножения нейтронов систем, содержащих данные материалы в значительном количестве. В частности, к данным системам относятся хранилища ОЯТ, основным конструкционным материалом которых является бетон с высоким содержанием кремния, а также активные зоны ЯЭУ на быстрых нейтронах, в составе которых имеются материалы со значительным содержанием ниобия.

2. Автором разработана расширенная версия системы подготовки констант CONSYST, содержащая усовершенствованную матрицу рассеяния нейтронов и образования вторичных гамма-квантов, с применением которой

происходит снижение константной составляющей погрешности при определении потока гамма-квантов за защитой систем, состоящих из основных конструкционных материалов реакторов на быстрых нейтронах, что в свою очередь повышает точность определения дозовых нагрузок на персонал.

3. В работе проведена верификация библиотеки ОЯД БНАБ для расчета параметров радиационной защиты реакторов на быстрых нейтронах с применением упомянутой выше доработанной системы подготовки констант и показано, что погрешность расчетов не превышает значение экспериментальной погрешности, что несомненно говорит о проработанности данной константной базы.

Личный вклад автора диссертационной работы

С учетом большого объема необходимых материалов, для выполнения поставленной в исследовании задачи по уточнению ядерных констант и их последующей верификации, автором использовался значительный массив информации, касающейся общепризнанных критических экспериментов и экспериментов по анализу радиационной защиты, а также обширного библиографического материала в области разработки и модернизации многочисленных библиотек ОЯД. Во всех случаях приведения в диссертации материалов или научных результатов других авторов, как необходимых для целостного изложения сути исследований, выполненных лично соискателем научной степени, так и непосредственно использованных им, в диссертации явно отмечено это обстоятельство и приведены соответствующие ссылки на работы автора и (или) источник. Не вызывает сомнений, что разработка расширенной версии системы подготовки констант, верификация с ее помощью библиотеки ОЯД БНАБ для расчета параметров радиационной защиты реакторов на быстрых нейтронах, а также уточнение резонансных параметров кремния и ниобия выполнены либо автором лично, либо с его определяющим участием. Это позволяет четко выделить новые научные и практически значимые результаты и положения, выдвигаемые автором для публичной защиты.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертационной работе

Разработанная автором система константного обеспечения может быть использована:

- для проведения уточненных расчетов эффективного коэффициента размножения нейтронов систем хранения ОЯТ и космических ЯЭУ;
- для проведения улучшенной оценки мощности дозы ионизирующего излучения за защитой реакторов на быстрых нейтронах с применением прецизионных программных средств;

- в качестве системы подготовки сечений при проведении расчетов потоков нейтронов и гамма-квантов за защитой систем с реакторами на быстрых нейтронах.

Замечания по структуре и содержанию диссертационной работы

Структура диссертационной работы соответствует задачам исследования и не дает оснований для замечаний, но имеются замечания по ее содержанию.

1. При описании дифференциальных экспериментов в сферической геометрии по прохождению нейтронов спектра источника ^{252}Cf через железо и свинец (включая определение спектра источника без защитной сферы) следовало бы привести использованные экспериментаторами методы спектрометрии быстрых нейтронов. Данные, приведенные на рисунке 1.5, позволяют предположить (по значению нижнего порога регистрации нейтронов, равного примерно 100 кэВ), что это общераспространенный сцинтилляционный метод спектрометрии с использованием органических сцинтилляторов (стильбена, парафина или антрацена), но в этом случае следовало бы указать достигнутый коэффициент дискриминации гамма-квантов, попадающих в детектор в смешанных полях излучения;

2. При расчетном анализе спектров утечки нейтронов с поверхности сфер автор не учитывал примеси, поскольку по паспортным данным, их суммарный вклад не превышал 1 % (вес). Для железа это, безусловно, обоснованное упрощающее допущение, но что касается свинца, то, вне зависимости от степени его очистки, в нем всегда присутствует по 0,1 % цинка и железа и с учетом очень малого значения сечения радиационного захвата свинца и меньшей суммарной энергии этого излучения на каждый акт захвата) по сравнению с цинком и железом, следовало бы проверить их возможный вклад в поле гамма-излучения.

3. Текст диссертации представляется перегруженным описанием методов решения уравнения переноса излучения в средах, так как в работе не ставилась задача их развития, а знание этих методов специалистами, выполняющими исследования в предметной области диссертации, априори не вызывает сомнений.

4. Имеют место некоторые погрешности в оформлении: в подписях к рисункам размерность энергетического распределения плотности потока излучений в ряде случаев указана неверно, не все сокращения расшифрованы в перечне сокращений, вместо прямой ссылки на 3 работы 1962 – 1968 гг., в которых впервые представлены результаты экспериментальных исследований прохождения нейтронов через железо и свинец, приведена ссылка на диссертацию, автор которой в свою очередь ссылается на все три, имеют место ошибки в тексте.

5. Автором в работе выявлено значительное расчетно-экспериментальное расхождение при определении потока гамма-квантов за защитой железных и

свинцовых систем, связанное с недостаточной точностью моделирования выхода вторичных гамма-квантов при использовании непрерывной библиотеки ОЯД РОСФОНД. Однако дальнейшая верификация групповых библиотек БНАБ выполнялась относительно непрерывной библиотеки ОЯД РОСФОНД имеющей упомянутые выше расхождения. В связи с чем следовало бы представить в работе конкретные способы улучшения сходимости расчетных и экспериментальных данных, с целью нивелирования неточностей в файлах оцененных ядерных данных.

Заключение

Сделанные выше замечания не меняют общей положительной оценки диссертационного исследования и носят скорее характер рекомендаций по дальнейшему развитию работ в этом направлении. Следует отметить, что изложение положений диссертационного исследования в целом выполнено в хорошем научном стиле и безусловно характеризуется полнотой и внутренним единством.

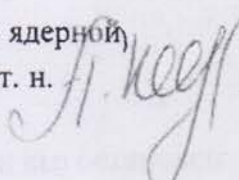
Автореферат диссертации верно и достаточно полно отражает основные результаты, положения и выводы диссертации.

Таким образом, диссертация Ломакова Глеба Борисовича соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленным в разделе II (пп. 9 - 11 и 13 - 14) «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842. паспорту специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации» (области исследований № 1, № 2 и № 6) и отрасли науки «технические науки».

Автор диссертации Ломаков Глеб Борисович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации» за выполненную им завершенную научно-квалификационную работу «Повышение точности определения нейтронно-физических констант для расчета характеристик радиационной защиты реакторов на быстрых нейтронах».


Диссертация Ломакова Глеба Борисовича «Повышение точности определения нейтронно-физических констант для расчета характеристик радиационной защиты реакторов на быстрых нейтронах» рассмотрена комиссией специалистов во главе с начальником отдела общих проблем ядерной и радиационной безопасности Курындиным А.В. Отзыв на диссертацию подготовлен

на основании заключения, сделанного в результате обсуждения диссертации на заседании отдела общих проблем ядерной и радиационной безопасности ФБУ «НТЦ ЯРБ» «3» апреля 2017 года.

Председатель комиссии,
начальник отдела общих проблем ядерной
и радиационной безопасности, к. т. н.  Курындин Антон Владимирович

Члены комиссии

Заместитель начальника отдела общих
проблем ядерной и радиационной
безопасности, к. ф.-м. н.  Строганов Анатолий Александрович

Начальник лаборатории ядерной
безопасности реакторных ядерных
установок отдела общих проблем
ядерной и радиационной безопасности  Киркин Андрей Михайлович

Научный сотрудник
отдела общих проблем ядерной
и радиационной безопасности  Синегрибов Сергей Владимирович

Подписи Курындина А.В., Строганова А.А., Киркина А.М. и
Синегрибова С.В. заверяю

Руководитель службы персонала  Н.Ю. Саульская

Федеральное бюджетное учреждение «Научно - технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (ФБУ «НТЦ ЯРБ») Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзора),
107140, г. Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5
тел. +7 (499) 264-00-03, факс: +7 (499) 264-28-59

E-mail: secnrs@secnrs.ru сайт: <http://www.secnrs.ru>