

А.А. Панков

УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Гомель, Беларусь

МЕЖДУНАРОДНЫЕ БАЗЫ И ЦЕНТРЫ ЯДЕРНЫХ ДАННЫХ И СОЗДАНИЕ ЯДЕРНО-ИНФОРМАЦИОННОГО ЦЕНТРА НА БАЗЕ ЛФИ ГГТУ ИМ. П.О. СУХОГО

Введение

В основу проектных расчетов и прогнозирования процессов функционирования ядерных реакторов заложены фундаментальные константы, характеризующие свойства ядерных реакций, структуру ядер и свойства радиоактивного распада. От полноты и точности этих данных зависят радиационная и ядерная безопасность, а также экологическая приемлемость этих ядерных установок. Создание Базы ядерных данных в Беларуси позволит контролировать качество ядерных данных, поставляемых потребителям, и обеспечить соответствие систем констант, закладываемых в технические проекты, современным международным стандартам.

Проект любой АЭС проходит стадию разработки – 5-7 лет, и столько же лет уходит непосредственно на строительство станции. На момент ввода в эксплуатацию некоторые технологические процессы нуждаются в обновлении и модернизации – в этом состоит одна из задач научного сопровождения ввода в эксплуатацию и дальнейшего функционирования АЭС. Поддержание Базы ядерных данных невозможно без активного международного сотрудничества с ведущими научными центрами, где происходит накопление, обновление, тести-

рование и выработка рекомендаций по использованию ядерных данных.

Научное сопровождение развития атомной энергетики должно включать несколько обязательных аспектов научно-организационной деятельности, главные из которых:

1) создание современной компьютерной базы, оснащенной программными и информационными системами для подготовки ядерно-физических констант и проведению инженерных расчетов;

2) создание группы высококвалифицированных специалистов для проведения работ

- по подготовке ядерных констант для проведения инженерных расчетов;

- для анализа и моделирования процессов в реакторе, по выполнению инженерных расчетов, обеспечивающих бесперебойную и безопасную эксплуатацию ядерных установок;

- по выполнению экспериментально-расчетных работ по дозиметрии корпусов реакторов.

Для проведения работ по анализу и моделированию процессов в реакторе при физическом и энергетическом пуске АЭС, расчетному сопровождению на стадиях вывода АЭС на проектную мощность и ее работы в энергосистеме, а также при разработке стратегии и перспектив реализации основных концепций ядерных топливных циклов (переработка и захоронение), необходимо иметь надежные ядерно-физические константы изотопов в широкой области массовых чисел и энергий налетающих нейтронов.

Основным информационным источником при создании ядерно-физических констант для проведения инженерных расчетов являются, так называемые, библиотеки оцененных ядерных данных (БОЯД). Наиболее современные версии этих библиотек – ENDF/B-VII.1 (США, 2011), JEFF-3.2 (Европа, 2014), JENDL-4.0 (Япония, 2012), ROSFOND (Россия, 2010), CENDL-3.1 (Китай, 2009) – хотя и были выпущены в последние несколько лет, однако ни одна из них не учитывает (и не может учитывать, вследствие специфики создания библиотек оцененных данных) всю имеющуюся на сегодняшний день экспериментальную информацию. Поэтому одним из важнейших этапов в использовании ядерных констант для выполнения инженерных расчетов является выбор той БОЯД, которая бы наиболее адекватно описывала современный набор экспериментальных данных.

Поскольку информация в БОЯД записана в так называемом ENDF формате, провести сравнение оцененных и экспериментальных данных невозможно без проведения предварительного расчета оцененных данных. Такие предварительные расчеты выполняются обычно с помощью трех программных кодов LINEAR, RECENT, SIGMA1 из специализированного комплекса программ PREPRO-2015 [1, 2].

Для подготовки ядерно-физических констант для инженерных расчетов необходимо использовать более широкий набор программных продуктов (например, NJOY, GRUCON, GROUPIE, MIXER). Выбор программы для подготовки базы ядерно-физических констант (обычно используется название специализированная проблемно-ориентированная библиотека ядерных констант) зависит от поставленной инженерной задачи, однако следует отметить, что только две из перечисленных программ (GROUPIE и MIXER) являются программами свободного доступа.

Деятельность по созданию научно-методической и информационной базы для ядерно-технологических расчетов была начата в 2013 году в рамках совместного проекта Украинского центра ядерных данных, УкрЦЯД (Институт ядерных исследований НАН Украины, ИЯИ, Киев, Украина) и Лаборатории физических исследований (ЛФИ, ГГТУ имени П.О. Сухого) «Накопление, обработка, систематизация и анализ информации в области ядерной энергетики как основы создания информационного центра ядерно-физических данных». В круг задач, которые ставились при выполнении совместного проекта, а также над которыми до сих пор продолжается работа, входили, в частности, следующие:

- 1) Создание компьютерной базы современных БОЯД (ENDF/B-VII.1, JEFF-3.2, JENDL-4.0, ROSFOND, CENDL-3.1).

- 2) Создание базы современных программных продуктов для подготовки ядерных констант на основе БОЯД (PREPRO-2015).

- 3) Организация удаленного доступа к современным международным ресурсам по ядерно-физической информации, в частности к современной международной базе экспериментальных ядерных данных (EXFOR).

- 4) Создание учебно-методической базы для подготовки специалистов для проведения работ по подготовке ядерных констант.

1. Международные базы данных по ядерным реакциям

Международное научное сообщество под эгидой МАГАТЭ организовало совместное сотрудничество Центров ядерных данных по подготовке данных по ядерным реакциям под действием нейтронов для решения задач атомной энергетики, в которое первоначально вошли четыре головных организации – Секция ядерных данных МАГАТЭ, Национальный центр ядерных данных (Брукхэвенская Национальная лаборатория) США, Банк данных Агентства по атомной энергии Франции и Центр ядерных данных (Физико-энергетический институт, Обнинск, Россия). Впоследствии к ним присоединилось еще несколько Центров и групп ядерных данных из Венгрии, Китая, Кореи, России, Украины, Японии, а в круг интересов были включены данные по ядерным реакциям под действием заряженных частиц и тяжелых ионов.

Основной задачей участников сети является создание полных (репрезентативных) баз данных (БД), содержащих описание характеристик ядерных реакций и свойств атомных ядер. Такие БД должны обеспечивать их эффективное использование для решения широкого класса фундаментальных и прикладных проблем. Деятельность указанных Центров включает в себя:

- поиск данных по всем доступным БД и их компиляцию;
- разработку единого формата данных;
- проведение экспертизы точности и надежности ЯД;
- согласование результатов различных экспериментов;
- создание системы доступа к данным (банки и базы данных, Интернет-интерфейсы);
- анализ и оценка ЯД;
- подготовка, издание и распространение аналитических обзоров, указателей, атласов по ЯД, и т.д.

Например, на Web-сайте Центра данных фотоядерных экспериментов (ЦДФЭ) НИИ Ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова (<http://cdfe.sinp.msu.ru>) пользователям предоставляются 11 БД [1-4]:

- «База данных по ядерным реакциям» (<http://cdfe.sinp.msu.ru/exfor/index.php>) включает в себя характеристики ядерных реакций под действием различных налетающих частиц (выходы, сечения, функции возбуждения реакций, энергетические, угловые, зарядовые, массовые и другие распределения частиц-

продуктов реакций, поляризации, анализирующие способности, корреляции и др.);

- «База ядерно-спектроскопических данных»

(<http://cdfе.sinp.msu.ru/services/ensdfr.html>) содержит информацию об энергетических уровнях известных в настоящее время атомных ядер (~ 3500) и переходах между ними (энергии, спины, четности, времена жизни, мультипольности, коэффициенты ветвления и смешивания, вероятности переходов, значения параметров распадов, данные об изоспинах ядерных состояний, квадрупольных моментах и деформациях ядер и др.);

- БД «Параметры основных состояний ядер»

(<http://cdfе.sinp.msu.ru/services/gsp.en.html>) содержит данные по атомным ядрам в целом (распространенности стабильных изотопов и времена жизни нестабильных изотопов, атомные массы, дефекты масс, энергии связи, спины, четности, изоспины основных состояний ядер, энергии первых изобар-аналогов и др.);

- БД «Публикации по ядерной физике»

(http://cdfе.sinp.msu.ru/services/nsr/Search_form.shtml) предоставляет справочно-библиографическую информацию по ядерно-физическим работам из международного банка данных NSR (NuclearScienceReferences);

- «Калькулятор порогов и энергий ядерных реакций»

(http://cdfе.sinp.msu.ru/muh/calc_thr.shtml) это реляционная БД, основанная на использовании современных и надежных данных о массах атомных ядер, которая позволяет рассчитывать значения характеристик ядерных реакций, а также в наглядной графической форме представлять результаты таких расчетов;

- «БД значений волновых функций»

(http://cdfе.sinp.msu.ru/services/wftables/FirstPage_eng.htm) содержит волновые функции, необходимые для описания взаимодействия атомов и ионов с заряженными частицами и фотонами, а также для расчетов одноэлектронных (ионизация, возбуждение, перезарядка) и двухэлектронных (двухкратная ионизация, двухкратное возбуждение) сечений в области спектроскопии;

- БД «Вероятности внутренней конверсии изомерных переходов малой энергии» (<http://cdfе.sinp.msu.ru/cgi-bin/convers.cgi>) содержит данные о вероятностях внутренней конверсии изомерных переходов малой энергии (коэффициентов внутренней конверсии).

2. Создание ядерно-информационного центра на базе ЛФИ в ГГТУ имени П.О. Сухого

Доступ к БОЯД, к базе экспериментальных ядерных данных EXFOR и к программному комплексу PREPRO является свободным – получить библиотеки и программы можно воспользовавшись сайтами региональных или национальных центров ядерных данных (например, <http://www-nds.iaea.org/> – сайт МАГАТЕ, <http://ukrndc.kinr.kiev.ua/> – сайт Украинского центра ядерных данных). Однако, следует иметь ввиду, что сайты ядерных центров, особенно региональных, включают очень большой объем ядерно-физической информации, поэтому без достаточного опыта в подготовке констант весьма затруднительно определиться с выбором нужных библиотек и необходимых программных продуктов. Именно поэтому было решено создавать сайт на базе ЛФИ ГГТУ, который будет непрерывно пополняться информацией (библиотеками, программными продуктами, методической литературой), необходимой для создания специализированных проблемно-ориентированных библиотек ядерных констант [3, 4].

На наш взгляд, такой подход существенно облегчит и ускорит подготовку специалистов для проведения работ по подготовке ядерных констант.

В рамках выполнения пп. 1, 3 (см. выше) было создано 14 страниц сайта (на русском и английском языках) [3, 4]. В большинстве случаев русскоязычные и англоязычные версии страниц идентичны, исключением являются страницы «Пособие» («MANUAL»).

1. Главная страница сайта (вид страницы, для примера, приведен на рисунке 1).

2. Базы данных (эта страница и другие, перечисленные ниже, не приводятся из-за ограниченности объема статьи).

3. Справочник о свойствах атомных ядер.

4. ENDF/B библиотеки и пособия.

5. Библиотека оцененных нейтронных данных ENDF/B-7.1.

6. Библиотека оцененных нейтронных данных JEFF-3.2.

7. Библиотека оцененных нейтронных данных JENDL-4.0.

8. Библиотека оцененных нейтронных данных ROSFOND.

9. Библиотека оцененных нейтронных данных CENDL-3.1.

10. Пособие.

11. Специализированные библиотеки.

12. CSISRS/EXFOR (доступ через сайт Секции Ядерных Данных, МАГАТЭ, Вена, Австрия).

13. ENSDF (доступ через сайт Национального Центра Ядерных Данных, Брукхейвен, США).

14. CINDA (доступ через сайт Секции Ядерных Данных, МАГАТЭ, Вена, Австрия)

«Главная страница» сайта содержит информацию о целях и задачах проекта, а также краткую информацию о структуре сайта. «Базы данных» содержит список баз данных, представленных на сайте, а также краткую информацию об этих базах данных.

Размещение специализированных библиотек и создание гиперссылок к данным, а также краткой информации о каждой из этих библиотек планируется разместить на сайте ЛФИ ГГТУ при выполнении следующего этапа совместного проекта в 2019-2020 гг.

Научно-методическая и информационная база для ядерно-технологических расчетов

[English version](#)

Деятельность по созданию научно-методической и информационной базы для ядерно-технологических расчетов была начата в 2013 году в рамках совместного проекта Украинского центра ядерных данных, [УкрЦЯД](#) (Институт ядерных исследований НАН Украины, [ИЯИ](#), Киев, Украина) и Лаборатории физических исследований, [ЛФИ](#) (Гомельский государственный технический университет имени Павла Осиповича Сухого, [ГГТУ](#), Гомель, Республика Беларусь) «Накопление, обработка, систематизация и анализ информации в области ядерной энергетики как основы создания информационного центра ядерно-физических данных».

Цели и задачи

- Создание компьютерной базы ядерных данных
- Создание базы программных продуктов для подготовки ядерных констант и проведения инженерных расчетов
- Организация удаленного доступа к современным международным ресурсам по ядерно-физической информации
- Создание учебно-методической базы для подготовки специалистов для проведения работ по подготовке ядерных констант и по выполнению инженерных расчетов, обеспечивающих бесперебойную и безопасную эксплуатацию ядерных установок

Базы данных	Библиотеки экспериментальных и оцененных ядерных данных, некоторые специализированные библиотеки
Программы	Программные продукты для подготовки ядерных констант и проведения инженерных расчетов
Адреса сайтов	Современные международные ресурсы по ядерно-физической информации
Пособия	Учебно-методическая и научная литература
Контакты	Информация о персоналиях и сферах их ответственности

Программирование и наполнение сайта: [Олена Грицай](#), Украинский центр ядерных данных, Институт ядерных исследований НАН Украины, проспект Науки, 47, Киев, Украина, 03680

Рисунок 1 – Главная страница сайта (русскоязычная версия)

В заключение автор выражает благодарность руководителю Украинского центра ядерных данных О.О. Грицай, а также сотруднику этого центра О.И. Кальченко за плодотворные дискуссии и полезные замечания.

Литература

1. Ишханов, Б.С. Взаимодействие электромагнитного излучения с атомными ядрами / Б.С. Ишханов, А.П. Киселев. – М.: Наука, 1979. – 257 с.
2. Грицай, О.О. Монте-Карло розрахунки нейтронних джерел на Київському дослідницькому реакторі для задач БНЗТ / О.О. Грицай, О.І. Кальченко, Н.А. Клімова, В.Ф. Разбудей, А.І. Санжур, С.Є. Біні // Ядерні та радіаційні технології. – 2014. – Т. 4. – С. 42–49.
3. Панков, А.А. Международная сеть центров ядерных данных и перспективы ее использования в атомной энергетике Беларуси / А.А. Панков, А.В. Цитринов, И.А. Панков // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2012. – № 2. – С. 26–31.
4. Pankov, A.A. International nuclear data centers network and prospects of its use in nuclear power in Belarus / A.A. Pankov, A.V. Tsytrinov, I.A. Serenkova // Nonlinear Dynamics and Applications. – 2015. – Vol. 21. – P. 270–281.