УДК 621.039.51.17

ВЕРИФИКАЦИЯ СОВРЕМЕННОЙ ВЕРСИИ КОНСТАНТ БНАБ И ПРОГРАММЫ ПОДГОТОВКИ CONSYST В РАСЧЕТАХ КРИТИЧНОСТИ

Ю.Е. Головко, В.Н. Кощеев, Г.Б. Ломаков, Г.Н. Мантуров, Е.В. Рожихин, М.Ю. Семенов, А.М Цибуля, А.А. Якунин ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ», 249033, Обнинск, Калужская обл., пл. Бондаренко, 1



Проводится верификация современной версии констант БНАБ и программы подготовки констант CONSYST в расчетах ряда упрощенных моделей ЯЭУ и критических экспериментов из международного справочника ICSBEP Handbook.

Дано описание состояния современной версии библиотеки групповых констант БНАБ, полученной на основе файлов оцененных нейтронных данных РОСФОНД2010, предназначенной для расчетов перспективных моделей быстрых реакторов. Верификация основана на сравнении результатов расчетов многочисленных бенчмарк-моделей критических экспериментов и упрощенных моделей ЯЭУ — «кривых Прувост» — по программе ММККЕNО с результатами расчетов по программе МСNP. Выполнено сравнение с экспериментальными данными. На примере бенчмарк-экспериментов с быстрым спектром нейтронов приводятся результаты тестирования методики подготовки констант, заложенной в современной версии программного комплекса CONSYST с константами БНАБ путем сравнения с расчетами по константам БНАБ, подготовленным по программе TRANSX.

Получено ключевое заключение о том, что методическая погрешность группового приближения оценивается величиной менее чем $\pm 0.2\%$ $\Delta k/k$.

Ключевые слова: нейтронные сечения, РОСФОНД, БНАБ-РФ, верификация, бенчмаркмодель, метод Монте-Карло, критичность.

ВВЕДЕНИЕ

Программный комплекс CONSYST [1] является основным инструментом при подготов-ке блокированных макросечений материалов зон для большинства как инженерных, так и прецизионных программ при проведении расчетов нейтронных или (и) фотонных полей в самых различных приближениях: диффузионном или P1; в различных вариантах транспортного приближения с усреднением полного сечения по нулевой или первой гармонике потока; с учетом анизотропии рассеяния с точностью, предусмотренной таблицами групповых констант до P5-приближения. Кроме макроконстант среды CONSYST рассчитывает и блокированные (с учетом резонансной самоэкранировки) микросечения нуклидов, входящих в состав зон рассчитываемых систем. Последнее позволяет рассчитывать такие важные функционалы нейтронных полей, как скорости нейтронных реакций, энерговыделение, CHA и др. Подготовка констант проводится в 299-групповом

[©] Ю.Е. Головко, В.Н. Кощеев, Г.Б. Ломаков, Г.Н. Мантуров, Е.В. Рожихин, М.Ю. Семенов, А.М Цибуля, А.А. Якунин, 2014

приближении, а затем полученные константы могут быть свернуты в меньшее число групп с весом интегральных спектров зон, которые либо оцениваются самой программой CONSYST в приближении материального параметра, либо могут быть введены извне. В расчетах в качестве исходных данных рекомендовано использовать библиотеку микросечений БНАБ-93 [2].

В последние годы разработана, а в настоящее время проходит верификацию современная версия констант БНАБ — система БНАБ-РФ2010 (далее БНАБ-РФ), полученная путем переработки (с помощью программы NJOY [3]) национальной библиотеки файлов оцененных нейтронных данных РОСФОНД [4]. Новая система БНАБ-РФ существенно отличается от предыдущей версии констант БНАБ-93, что потребовало также существенной модернизации основной программы подготовки констант CONSYST.

Рассчитанные программой CONSYST константы могут быть выданы в различных форматах, заказываемых пользователем, из которых наиболее употребительными являются общеизвестные форматы APAMAKO, к которому привязано множество российских программ, а также ANISN, к которому кроме программы с тем же названием привязано множество других зарубежных программ, например, DORT и TORT [5], а также MCNP [6] и отечественный монте-карловский код ММККЕNO [7].

Для верификации был отобран 201 бенчмарк-эксперимент из международного справочника по критической безопасности ICSBEP [9] и 66 конечных и бесконечных урановых и плутониевых моделей Прувоста [10]. Результаты расчетов сравнивались с экспериментальными данными. Для сравнения привлечены также результаты расчетов по МСNP с детальным ходом по библиотеке РОСФОНД. На примере урановых и плутониевых бенчмарк-экспериментов с быстрым спектром нейтронов приводятся результаты тестирования методики подготовки констант, заложенной в современной версии программного комплекса CONSYST с константами БНАБ-РФ путем сравнения с зарубежным аналогом — с расчетами по программе TRANSX [8].

ОТБОР РАСЧЕТНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для верификации системы констант БНАБ-РФ были отобраны критические бенчмаркэксперименты из международного справочника ICSBEP Handbook. Разнообразие моделей включало в себя разные типы спектра (тепловой и быстрый), разное топливо (урановое, плутониевое и МОКС-топливо), разное обогащение по урану-235 (высокое и низкое). В таблице 1 приведены названия серий и номера отобранных экспериментов, а также институты, в которых проводились эти эксперименты.

Рассмотрены следующие конфигурации бенчмарк-моделей из международного справочника ISCBEP Handbook:

- компактные урановые и плутониевые критические сборки с «жестким» спектром;
- гомогенные урановые и плутониевые «мягкие» растворные системы;
- гомогенные «мягкие» растворные системы с МОКС-топливом;
- гомогенные «мягкие» урановые с низким обогащением системы;
- модельные конечные и бесконечные урановые и плутониевые системы, так называемые «кривые Прувоста», теоретические зависимости величины критичности урановых и плутониевых систем гомогенных водных растворов от водно-топливного отношения.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ

Принят наиболее простой и понятный способ тестирования комплекса CONSYST с константами БНАБ-РФ в быстрой области энергий — проведение расчетов бенчмарк-моделей и их нейтронно-физических характеристик с подготовкой констант с помощью CONSYST и TRANSX. Далее проводится сравнение полученных результатов расчетов по программам CONSYST и TRANSX и определение методических погрешностей.

Таблица 1

Отобранные эксперименты из ICSBEP

РNL, США PST025 03, 10, 17, 22, 31, 36, 42 PST026 03, 06, 12, 16, 19 MST002 02, 03 MST004 02, 05, 07 MST007 01 MST010 01 HST042 01-08 HST042 01-08 HST043 01, 02 PMF001 01 PMF001 01 PMF002 01 PMF001 PMF001 01 PMF001 01 PMF011 01 HMF000 01 HMF000 01 LST001 01 LST001 01 INL, CША HST032 01 LST001 01 INL, CША HST001 01 HST001 01 HST002 01 PST011 01 HST001 01 HST001 01 HST001 01 HST001 01 HST001 01 HST001 HST001 01 HST001 01 HST001 HST001 01 HST001 HST001 01 HST001 HST001 01 HST001 HST001 HST010 01 HST010 01 HST010 01 HST010 01 HST010 01 HST020 01 HST010 01 HST020 01 HST030 01 O1 O1 HST035 01 O5 O7 O7 O7 O7 O7 O7 O7 O7 O7	Институт	Иденти- фикатор серии	№ экспери- мента	Институт	Иденти- фикатор серии	№ экспери- мента
РЯТ018 01, 05, 09 РЯТ020 03, 05, 08, 09 РЯТ021 01 – 05 РЯТ024 03, 06, 10, 21 РРТ024 03, 06, 10, 21 РРТ025 03, 10, 17, 22, 31, 36, 42 РРТ026 03, 06, 12, 16, 19 МЯТ002 02, 03 МЯТ004 02, 05, 07 МЯТ007 01 НЯТ010 01 01 РРМГ002 01 РРМГ001 01 РРМГ001 01 РРМГ002 01 РРМГ001 01 РРМГ002 01 РРМГ001 01 РРМГ001 01 РРМГ002 01 РРМГ002 01 РРМГ003 01 РРМГ003 01 РРМГ003 01 РРМГ004 01 РРМГ003 01 РРМГ001 01 РРМГ002 01 РРМГ001 01 РРМГ002 01 РРМГ0		PST001	01 – 06	,	PST002	01, 07
РЯТО20 03, 05, 08, 09 РРТ021 01 - 05 РРТ024 03, 06, 10, 16, 21 РРТ025 03, 10, 17, 22, 31, 36, 42 РРТ026 03, 06, 12, 16, 19 МЯТ002 02, 03 МЯТ004 02, 05, 07 МЯТ005 02, 03, 04, 07 МЯТ007 01 НЯТ042 01 - 08 НЯТ043 01, 02 РРМР011 01 НЯТ042 01 - 08 НЯТ043 01, 02 РРМР011 01 НЯТ040 01 НЯТ032 01 НЯТ030 04, 07, 09, 10 НЯТ031 01-04 НЯТ031 01-04 НЯТ010 01-04 НЯТ011 01, 02 ОRNL, США НЯТ012 01 НЯТ020 01, 03, 05 ОRNL, США НЯТ011 01, 02 ОRNL, США НЯТ012 01 НЯТ020 01, 02 РРТ012 06 - 13, 19 - 21 VALDUC, РРТ022 01 - 03, 08 VALDUC, РРТ022 01 - 03, 08 НЯТ033 03, 06, 09		PST009	03		PST003	01, 05
РЯТО20 03, 05, 08, 09 РЯТО21 01 — 05 РЯТО24 03, 06, 10, 16, 21 РЯТО25 03, 10, 17, 22, 31, 36, 42 РРТО26 03, 06, 12, 16, 19 МЯТО02 02, 03 МЯТО04 02, 05, 07 МЯТО05 02, 03, 04, 07 МЯТО07 01 НЯТО42 01 — 08 НЯТО42 01 — 08 НЯТО43 01, 02 РРМРО01 01 РРМРО02 01 РРМРО01 01 НЯТО40 01 НЯТО32 01 НЯТО34 01, 03, 05 ПЯС, США НЯТО01 01—10 АWRE, UK МЯТО03 04, 07, 09, 10 НЯТО10 01—04 НЯТО11 01, 02 ОRNL, США НЯТО11 01, 02 ОRNL, США НЯТО12 01 НЯТО20 01, 02 РРТО22 01—03, 08 РЯТО22 01—03, 08 НЯТО33 03, 06, 09 РЯТО22 01—03, 08 НЯТО33 03, 06, 09		PST018	01, 05, 09		PST004	
РВТО21 01-05 РВТО24 03, 06, 10, 16, 21 РВТО25 03, 10, 17, 22, 31, 36, 42 РВТО26 03, 06, 12, 16, 19 МВТО02 02, 03 МВТО04 02, 05, 07 МВТО05 02, 03, 04, 07 МВТО07 01 НВТО42 01-08 НВТО43 01, 02 РМБ001 01 РМБ001 01 РМБ001 01 РМБ001 01 РМБ001 01 РМБ001 01 НМБ004 01 НМБ004 01 НВТ032 01 НМБ004 01 НВТ032 01 КВТО01 01 НВТ003 04, 07, 09, 10 НВТ010 01-04 НВТ010 01-04 НВТ010 01-04 НВТ011 01, 02 ОRNL, США НВТ011 01, 02 ОRNL, США НВТ012 01 КВТ001 01 КВТ002 01, 02 РВТ012 06-13, 19-21 РВТ022 01, 05, 07 РВТ022 01, 05, 07 КВТО03 03, 06, 09		PST020	03, 05, 08, 09		PST005	
РNL, США PST025 03, 10, 17, 22, 31, 36, 42 PST026 03, 06, 12, 16, 19 MST002 02, 03 MST004 02, 05, 07 MST007 01 MST010 01 HST042 01-08 HST042 01-08 HST043 01, 02 PMF001 01 PMF001 01 PMF002 01 PMF001 PMF001 01 PMF001 01 PMF011 01 HMF000 01 HMF000 01 LST001 01 LST001 01 INL, CША HST032 01 LST001 01 INL, CША HST001 01 HST001 01 HST002 01 PST011 01 HST001 01 HST001 01 HST001 01 HST001 01 HST001 01 HST001 HST001 01 HST001 01 HST001 HST001 01 HST001 HST001 01 HST001 HST001 01 HST001 HST001 HST010 01 HST010 01 HST010 01 HST010 01 HST010 01 HST020 01 HST010 01 HST020 01 HST030 01 O1 O1 HST035 01 O5 O7 O7 O7 O7 O7 O7 O7 O7 O7		PST021	01 – 05		PST006	02
РNL, США PST025 03, 10, 17, 22, 31, 36, 42 PST026 03, 06, 12, 16, 19 MST002 02, 03 MST004 02, 05, 07 MST005 02, 03, 04, 07 MST010 01 HST042 01 - 08 HST043 01, 02 PMF001 01 PMF001 01 PMF002 01 PMF002 01 PMF001 01 HMF004 01 HMF004 01 HST032 01 LST001 01 HMF004 AWRE, UK MST003 04, 07, 09, 10 HST010 01 HST010 01 - 04 HST011 01, 04, 06 LST001 01 HST010 01 HST020 02, 04 HST011 01, 03, 05, 07, 09, 11, 13, 15, 17 PST022 01-03, 08 LST003 03, 06, 09 VALDUC, VALDUC, PST022 01-03, 08 LST003 03, 06, 09		PST024			PST007	02, 03, 05, 07 – 10
CUIDA PST026 03, 06, 12, 16, 19 PST011 01, 05, 08, 1 MST002 02, 03 MST004 02, 05, 07 PMF022 01 MST005 02, 03, 04, 07 PMF024 01 PMF027 01 MST010 01 PMF029 01 PMF029 01 MST010 01 PMF031 01 HMF031 01 HST042 01 - 08 HST043 01, 02 PMF031 01 PMF001 01 PMF002 01 HMF008 01 PMF001 01 PMF011 01 HMF020 01 HMF002 01 LST004 01, 03, 07 LST007 01, 03, 07 LANL, CIIIA PMF001 01 LST010 01 LST010 01 HMF004 01 JAERI, ST010 LST010 01 LST010 01 LST010 01 LST010 01 LST010 01 UST010 02 LST010 02 04 LST010 01		PST025			PST010	
MST004		PST026	03, 06, 12,		PST011	01, 05, 08, 11
МST005 02, 03, 04, 07 МST007 01 МST010 01 НST042 01 - 08 НST043 01, 02 РМБ001 01 РМБ002 01 РМБ011 01 НМБ004 01 НМБ004 01 НЯТ032 01 КПК, США НST001 01 01 РМБ003 04, 07, 09, 10 РМБ011 01, 02 ОПРОВИВНЕНИЯ ОТОВНИКОВ ОТОВНОВНОВНОВНОВНОВНОВНОВНОВНОВНОВНОВНОВНО		MST002	02, 03		PMF022	01
MST007 01 ВНИИЭФ, Россия РМF029 01 HST042 01 – 08 HST043 01, 02 PMF031 01 PMF001 01 HMF008 01 HMF018 01 PMF002 01 HMF020 01 HMF020 01 PMF011 01 LST004 01, 03, 07 LST007 01, 03, 04 HMF004 01 HST032 01 LST010 01 LST010 01 INL, США HST001 01 – 10 LST017 01, 04, 06 LST019 02 LST019 02 INL, США HST001 01 – 10 LST020 02, 04 LST021 01, 03, 05 01, 03, 05 01, 03, 05 02, 04 HST019 01 HST019 01 HST022 01, 02, 04, 0 HST025 01, 02, 04, 0 HST027 01 HST027 01 HST027 01 HST027 01 HST027 01 HST028 01, 03, 05, 07 07, 09, 11, 13, 15, 17 13, 15, 17 13, 15, 17		MST004	02, 05, 07		PMF024	01
MST010 01 Россия PMF031 01 HST042 01 – 08 HMF008 01 HST043 01, 02 HMF018 01 PMF001 01 HMF020 01 PMF011 01 LST004 01, 03, 07 LST007 01, 03, 04 LST007 01, 03, 04 LST001 01 LST010 01 HMF004 01 JAERI, ST016 01, 04, 06 LST001 01 LST017 01, 04, 06 LST001 01 LST019 02 LST019 02 LST020 02, 04 LST020 02, 04 LST021 01, 03 HST019 01 – 04 HST019 01 HST011 01, 02 HST025 01, 02, 04, 0 ORNL, CILIA HST012 01 HST029 01 HST027 01 HST029 01 13, 15, 17 HST030 01, 03, 05, 07 HST030 01, 04 HST030		MST005	02, 03, 04, 07		PMF027	01
HST042		MST007	01	внииэФ,	PMF029	01
HST043		MST010	01	4 ' 1	PMF031	01
LANL, CША PMF001 01 PMF002 01 LST004 01, 03, 07 LST007 01, 03, 04 LST010 01 LST010 01 LST010 01 LST010 01, 04, 06 LST001 01 LST017 01, 04, 06 LST019 02 LST020 02, 04 LST020 02, 04 LST021 01, 03 04, 07, 09, 10 LST021 01, 03 04, 07, 09, 10 LST011 01 - 04 HST010 01 - 04 HST011 01, 02 HST027 01 HST027 01 HST027 01 HST027 01 UST027 UST0		HST042	01 – 08			01
LANL, CША PMF002 01 LST004 01,03,07 PMF011 01 LST007 01,03,04 HMF001 01 LST010 01 HMF004 01 HST032 01 LST001 01 LST017 01,04,06 LST019 02 LST019 02 LST020 02,04 LST021 01,03 AWRE, UK MST003 04,07,09,10 HST019 01 HST010 01-04 HST019 01 HST011 01,02 HST025 01,02,04,0 HST027 01 HST027 01 HST027 01 HST027 01 HST027 01 HST029 01,03,05,07 HST013 01 PST012 06-13, HST030 01,04 HST030 01,04 HST035 01,05,07 HST035 01,05,07 VALDUC, PST022 01-03,08 LST003 03,06,09		HST043	01, 02		HMF018	01
LANL, США PMF011 01 LST007 01, 03, 04 HMF001 01 HMF004 01 LST010 01 HNT032 01 JAERI, ST016 LST017 01, 04, 06 LST011 01 LST017 01, 04, 06 LST019 02 LST019 02 LST019 02 LST020 02, 04 LST021 01, 03 UST021 01, 03 HST019 01 HST019 01 HST010 01 - 04 HST025 01, 02, 04, 0 HST027 01 HST025 01, 03, 05, 07 ORNL, CILIA HST012 01 HST027 01 HST027 01 HST027 01 HST027 01 HST013 01 DST012 PST012 04 PST012 06 - 13, 19 - 21 PST012 HST030 01, 05, 07 VALDUC, PST02 01 - 03, 08 LST003 03, 06, 09 04 LST003 03, 06, 09	США	PMF001	01	1	HMF020	01
LANL, CША HMF001 01 JAERI, RIT010 UST016 01, 04, 06 HST032 01 JAERI, RIT017 UST016 01, 04, 06 UST017 01, 04, 06 INL, CША HST001 01 – 10 UST020 02, 04 UST020 02, 04 AWRE, UK MST003 04, 07, 09, 10 UST021 01, 03 UST021 01, 03 HST019 01 – 04 HST019 01 HST019 01 HST025 01, 02, 04, 0 ORNL, CША HST011 01, 02 HST025 01, 02, 04, 0 HST027 01 HST027 01 HST027 01 HST028 01, 03, 05, 07, 09, 11, 13, 15, 17 13, 15, 17 HST028 01, 03, 05, 07, 09, 11, 13, 15, 17 HST029 01 HST030 01, 04 HST030 01, 04 HST035 01, 05, 07 HST035 01, 05, 07 01, 05, 07 UST005 UST005 UST005 UST005 01, 05, 07 01, 05, 07 UST005 UST005 UST005 UST005 UST005 UST005 UST005 UST005		PMF002	01	,	LST004	01, 03, 07
США HMF001		PMF011	01		LST007	01, 03, 04
НМБ004 01 JAERI, Япония LST016 01, 04, 06 HST032 01 Япония LST017 01, 04, 06 LST001 01 LST019 02 INL, США HST001 01 – 10 LST020 02, 04 AWRE, UK MST003 04, 07, 09, 10 LST021 01, 03 HST010 01 – 04 HST019 01 HST011 01, 02 HST025 01, 02, 04, 0 HST027 01 HST027 01 HST028 01, 03, 05, 07, 09, 11, 13, 15, 17 13, 15, 17 HST013 01 POCCUЯ HST029 01 VALDUC, PST012 01 – 03, 08 HST030 01, 05, 07 VALDUC, PST022 01 – 03, 08 LST003 03, 06, 09		HMF001	01		LST010	01
LST001 01 LST019 02 INL, США HST001 01 – 10 LST020 02, 04 AWRE, UK MST003 04, 07, 09, 10 LST021 01, 03 HST019 01 01, 03 HST019 01 HST010 01 – 04 HST019 01 HST019 01 ORNL, CША HST011 01, 02 HST025 01, 02, 04, 0 HST027 01 HST027 01 HST028 01, 03, 05, 07 09, 11, 13, 15, 17 13, 15, 17 HST013 01 DST012 06 – 13, 19 – 21 POCCUR HST030 01, 04 VALDUC, PST012 01 – 03, 08 LST003 03, 06, 09 VALDUC, PST022 01 – 03, 08 LST003 03, 06, 09		HMF004	01		LST016	01, 04, 06
INL, США HST001 01-10 LST020 02, 04 AWRE, UK MST003 04, 07, 09, 10 LST021 01, 03 HST019 01-04 HST019 01 HST011 01-04 HST025 01, 02, 04, 0 ORNL, CША HST012 01 HST027 01 HST013 01 07, 09, 11, 13, 15, 17 13, 15, 17 HST013 01, 02 PST012 06-13, 19-21 POCCUR HST030 01, 04 VALDUC, PST022 01-03, 08 LST003 03, 06, 09 VALDUC, PST022 01-03, 08 LST003 03, 06, 09		HST032	01		LST017	01, 04, 06
АWRE, UK MST003 04, 07, 09, 10 HST009 01 – 04 HST010 01 – 04 HST011 01, 02 ORNL, CША HST012 01 HST013 01 LST021 01, 03 ФЭИ, POCCИЯ PST012 01 – 03, 08 VALDUC, PST022 01 – 03, 08 VALDUC, PST022 01 – 03, 08 POTCOS 01, 07, 09, 10, 11, 13, 15, 17 HST030 01, 04 HST030 01, 04 HST030 01, 05, 07 HST030 03, 06, 09		LST001	01		LST019	02
ORNL, CША HST012 01 HST025 01, 02, 04, 00 HST027 01 HST013 01 HST028 01, 03, 05, 07, 09, 11, 13, 15, 17 HST013 01 HST029 01 LST002 01, 02 PST012 06 – 13, 19 – 21 VALDUC, PST022 01 – 03, 08 LST003 01 – 03, 08 LST003 03, 06, 09 LST003 03, 06, 09	INL, США	HST001	01 – 10		LST020	02, 04
ORNL, CША HST010 01 – 04 HST011 HST025 01, 02, 04, 00 HST027 01 HST027 01 HST027 01 HST028 01, 03, 05, 07, 09, 11, 13, 15, 17 HST013 01 LST002 01, 02 PST012 POCCUS HST029 01 HST030 01, 04 HST030 01, 04 HST030 01, 04 HST035 01, 05, 07	AWRE, UK	MST003	04, 07, 09, 10		LST021	01, 03
ОRNL, США		HST009	01 – 04	NEO	HST019	01
ОRNL, США HST012 01 HST028 01, 03, 05, 07, 09, 11, 13, 15, 17 HST029 01 LST002 01, 02 PST012 06 – 13, 19 – 21 HST030 01, 04 HST030 01, 04 HST035 01, 05, 07 UALDUC, PST022 01 – 03, 08 PST022 01 – 03, 08 PST022 01 – 03, 08		HST010			HST025	01, 02, 04, 05
США HST012 01 07, 09, 11, 13, 15, 17 HST013 01		HST011	01, 02			
HST013 01 ФЭИ, Россия HST029 01 LST002 01, 02 HST030 01, 04 PST012 06 – 13, 19 – 21 HST035 01, 05, 07 VALDUC, PST022 01 – 03, 08 LST003 03, 06, 09		HST012	01		HST028	07, 09, 11,
LST002 01, 02 Россия HST030 01, 04 PST012 06 – 13, 19 – 21 HST035 01, 05, 07 VALDUC, PST022 01 – 03, 08 LST003 03, 06, 09		HST013	01		HST029	
PST012 06 - 13, 19 - 21 HST035 01, 05, 07 VALDUC, PST022 01 - 03, 08 LST003 03, 06, 09		LST002	01, 02	,	HST030	01, 04
VALDUC, PST022 01 – 03, 08 LST003 03, 06, 09	VALDUC, Франция	PST012	06 – 13,		HST035	01, 05, 07
V/LEGO, DOTOGO AL OG 47 OA		PST022			LST003	03, 06. 09
UNIMALINA U U U U U U U U U		PST023	01, 08, 17, 34		LST005	01
РST032 02, 06, 11 LST006 01						
MST006 01		MST006		1		

Необходимо отметить, что для программ TRANSX и CONSYST с помощью NJOY были подготовлены исходные библиотеки групповых микроконстант на основе файлов оцененных нейтронных данных РОСФОНД2010. Для расчетов по программе МСNP были использованы файлы библиотеки РОСФОНД2010 в формате АСЕ, также полученные с помощью программы NJOY.

На рисунке 1 показана схема проведения нейтронно-физических расчетов с использованием комплексов CONSYST и TRANSX.

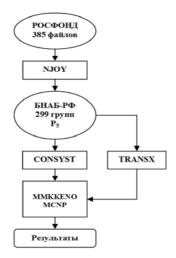


Рис. 1. Схема проведения расчетов

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Для проведения верификационных расчетов и проверки констант с использованием зарубежной программы подготовки макроконстант TRANSX были отобраны урановые и плутониевые быстрые бенчмарк-эксперименты.

При сравнении расчетных результатов в качестве опорных взяты результаты из международного справочника. Полученные результаты рассматриваются относительно бенчмарк-эксперимента.

Рассчитанные значения критичности отобранных сборок с использованием программ TRANSX и CONSYST приведены на рис. 2. Как видно, максимальное отклонение в значениях критичности «жестких» сборок при использовании разных программ подготовки констант не превышает $\pm 0.1\%$.

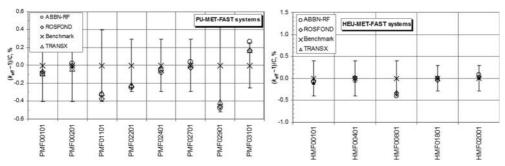


Рис. 2. Сравнение результатов расчета критичности быстрых плутониевых (слева) и урановых (справа) систем

Из международного справочника ICSBEP Handbook были отобраны тепловые модели, водные растворы нитрата урана HST и плутония PST, с отражателем и без него. На рисунке 3 приведено сравнение расчета критичности с экспериментом для этого набора моделей. Рисунок демонстрирует хорошее согласие группового расчета с детальным ходом, не превышающее ±0,2%.

Расчеты в группах выполнены по программе MMKKENO с подготовкой констант через CONSYST. Полученные результаты рассматривали относительно данных, полученных по программе MCNP с детальным ходом, используя библиотеку оцененных нейтронных данных РОСФОНД2010. Результаты бенчмарк-экспериментов приняты в качестве опорных данных. В расчетах методом Монте-Карло число историй равно 50 000 000.

На следующем этапе работы были отобраны системы с МОКС-топливом. Расчеты в груп-

пах и с детальным ходом проводились аналогично предыдущему этапу. На рисунке 4 приведено сравнение расчета критичности с экспериментом для этого набора моделей. Расхождения между групповым подходом и детальными расчетами не превышают ±0,1%.

Еще один набор бенчмарк-экспериментов из ICSBEP состоял из растворных тепловых моделей с низкообогащенным ураном в качестве топлива. На рисунке 5 приведено сравнение расчета критичности с экспериментом для этого набора моделей. Расхождения между групповым подходом и детальными расчетами не превышают $\pm 0.1\%$.

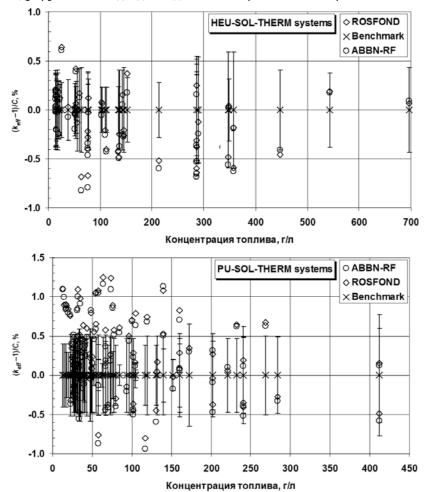


Рис. 3. Сравнение результатов расчета критичности тепловых урановых (вверху) и плутониевых (внизу) систем

На следующем этапе просчитаны простейшие модели – так называемые «кривые Прувоста» – это теоретические зависимости величины критичности урановых и плутониевых систем (гомогенных водных растворов) от водно-топливного отношения.

На рисунках 6 и 7 приведены отношения результатов расчета критичности в групповом приближении к результатам расчета детальным ходом для конечных и бесконечных урановых и плутониевых систем. Как видно, различие в эффективном коэффициенте размножения нейтронов группового и детального расчетов не превышает ±0,2% и в среднем составляет ±0,02% для всех урановых, ±0,03% для бесконечных и ±0,04% для конечных плутониевых систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены верификационные расчеты методом Монте-Карло ряда представительных быстрых и тепловых, урановых и плутониевых, экспериментальных бен-

чмарк-моделей, а также плутониевых и урановых теоретических моделей как с использованием новых данных на основе файлов РОСФОНД2010 в формате MATXS и программы подготовки констант TRANSX, так и констант БНАБ-РФ2010 и программы подготовки констант CONSYST. В качестве опорных использованы результаты расчетов по программе MCNP с детальным слежением за энергией нейтронов.

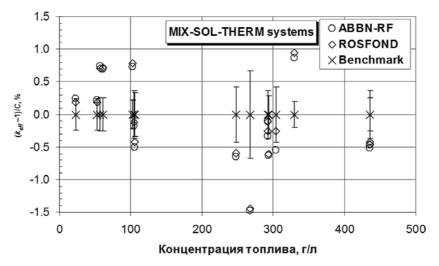


Рис. 4. Сравнение результатов расчетов критичности тепловых систем с МОКС-топливом

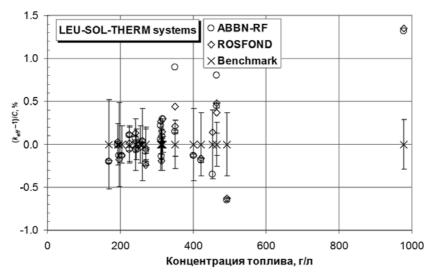


Рис. 5. Сравнение результатов расчетов критичности тепловых низкообогащенных урановых систем

Сравнение результатов показало хорошее согласие расчетов, полученных в групповом приближении, с расчетами с использованием детального хода сечений.

Различие между групповым подходом и детальным ходом в критике не превышает $\pm 0,2\%$ на всем перечне бенчмарк-экспериментов, а в быстрой области, в низкообогащенных по урану моделях и в экспериментах с МОКСтопливом не превышает и $\pm 0,1\%$.



Рис. 6. Отношение расчетов критичности в групповом приближении к детальному для урановых конечных и бесконечных систем



Рис. 7. Отношение расчетов критичности в групповом приближении к детальному для плутониевых конечных и бесконечных систем

Литература

- 1. *Мантуров Г.Н., Николаев М.Н., Цибуля А.М.* Программа подготовки констант CONSYST. Описание применения: Препринт ФЭИ-2828. Обнинск. 2000.
- 2. Мантуров Γ .Н., Николаев М.Н., Цибуля А.М. Система групповых констант БНАБ-93. Часть 1: Ядерные константы для расчета нейтронных и фотонных полей излучений. // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерные константы. Вып. 1. 1996. C.59.
- 3. *MacFarlane R.E. et al.* NJOY97.0 Code System for Producing Pointwise and Multigroup Neutron and Photon Sections from ENDF/B Data. RSIC Peripheral Shielding Routine Collection, PSR-368.
- 4. Забродская С.В., Игнатюк А.В., Кощеев В.Н., Манохин В.Н., Николаев М.Н., Проняев В.Г. РОС-ФОНД российская национальная библиотека оцененных нейтронных данных. // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерные константы. Вып. 1–2. 2007. С.3-21.
- 5. DANTSYS 3.0: One-, Two-, and Three- Dimensional, Multigroup, Discrete Ordinates Transport Code System. RSIC Computer Code Collection, CCC-547, ORNL (1993).
- 6. "MCNP A General Monte Carlo Neutron-Particle Transport Code". Version 5. X-5 Monte Carlo Team, Los Alamos National Laboratory, April 2003.
- 7. *Блыскавка А.А., Мантуров Г.Н., Николаев М.Н., Цибуля А.М.* Программный комплекс CONSYST ММК-КЕNО для расчета ядерных реакторов методом Монте-Карло в многогрупповом приближении с индикатрисами рассеяния в PN-приближении. Препринт ФЭИ-2887. Обнинск-2001.

- 8. MacFarlane R.E. «TRANSX 2: A Code for Interfacing MATXS Cross-Section Libraries to Nuclear Transport Codes», Los Alamos National Laboratory 1992.
- 9. "International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments," Organization for Economic Cooperation and Development Nuclear Energy Agency, NEA/NSC/DOC(95)03 (September 2002 Edition).
- 10. Pruvost Norman L., Paxton Hugh C. Nuclear Criticality Safety Guide, LA-12808, UC-714 (1996).

Поступила в редакцию 03.09.2013 г.

Авторы

Головко Юрий Евгеньевич, научный сотрудник

E-mail: bnab@ippe.ru

Кощеев Владимир Николаевич, старший научный сотрудник, кандидат физ.-мат. наук

E-mail: bnab@ippe.ru

<u>Ломаков</u> Глеб Борисович, младший научный сотрудник

E-mail: bnab@ippe.ru

Мантуров Геннадий Николаевич, зав. лабораторией, кандидат физ.-мат. наук

E-mail: bnab@ippe.ru

Рожихин Евгений Валерьевич, старший научный сотрудник, кандидат физ.-мат. наук

E-mail: bnab@ippe.ru

Семенов Михаил Юрьевич, ведущий научный сотрудник, кандидат физ.-мат. наук

E-mail: bnab@ippe.ru

<u>Цибуля</u> Анатолий Макарович, советник директора, кандидат физ.-мат. наук

E-mail: tsib@ippe.ru

Якунин Андрей Андреевич, младший научный сотрудник

E-mail: bnab@ippe.ru

UDC 621.039.51.17

VERIFCATION OF ABBN CONSTANTS AND CONSYST CODE IN CRITICALITY CALCULATIONS

Golovko Yu. E., Koscheev V.N., Lomakov G.B., Manturov G.N., Rozhikhin E.V., Semenov M.Y., Tsiboulya A.M., Yakunin A.A.

State Scientific Center of Russian Federation – Institute for Physics and Power Engineering. 1, Bondarenko sq., Obninsk, Kaluga reg., 249033 Russia

ABSTRACT

The aim of current work is verification of up-to-date BNAB neutron constants library and CONSYST code for neutron constants preparation via calculations of a set of simplified calculation models of nuclear power systems and critical experiments from international handbook ICSBEP.

There is the description of up-to-date version of BNAB neutron constants library which was obtained from evaluated neutron data files RUSFOND2010 and intended for perspective fast reactor models calculations in current paper materials. The verification process is based on calculation results comparisons for numerous benchmark-models of critical experiments and simplified models of nuclear power systems – «Pruvost curves» – calculated by means of MMKKENO code with MCNP calculation results. The comparison with experimental data was made. Based on benchmark-experiments with fast neutron spectra the results of testing of neutron constants preparation method laid in up-to-date version of CONSYST code with BNAB neutron constants is given in paper. These results were obtained by means of comparison with calculation results using BNAB cross-sections prepared by TRANSX code.

Following the results of performed work a key conclusion have been made that the methodical uncertainty caused by applying the group-wise approach is estimated as less than $\pm 0.2\% \ \Delta k/k$.

Key words: neutron cross-sections, RUSFOND, BNAN-RF, verification, benchmark model, Monte-Carlo method, criticality.

REFERENCES

- 1. Manturov G.N., Nikolaev M.N., Tsibulya A.M. *Programma podgotovki konstant CONSYST. Opisanie primenenija*: Preprint GNC RF-FEI-2828. [CONSYST code for neutron constants preparation. Scope statement: IPPE Preprint-2828]. Obninsk, FEI Publ., 2000. (in Russian)
- 2. Manturov G.N., Nikolaev M.N., Tsibulya A.M. Sistema gruppovyh konstant BNAB-93. Chast' 1: Jadernye konstanty dlja rascheta nejtronnyh i fotonnyh polej izluchenij [BNAB-93 group data library. Part 1: Nuclear data for calculation of neutron and photon radiation fields]. Voprosy atomnoj nauki i tehniki. Yadernye konstanty. 1996, no. 1, p.59.
- 3. MacFarlane R.E. et al. NJOY97.0 Code System for Producing Pointwise and Multigroup Neutron and Photon Sections from ENDF/B Data. RSIC Peripheral Shielding Routine Collection, PSR-368.
- 4. Zabrodskaja S.V., Ignatjuk A.V., Koscheev V.N., Manohin V.N., Nikolaev M.N., Pronjaev V.G. ROSFOND rossijskaja nacional'naja biblioteka ocenennyh nejtronnyh dannyh [RUSFOND Russian national evaluated neutron data library]. *Voprosy atomnoj nauki i tehniki. Yadernye konstanty*. 2007, no. 1-2, pp.3-21.
- 5. DANTSYS 3.0: One-, Two-, and Three- Dimensional, Multigroup, Discrete Ordinates Transport Code System. RSIC Computer Code Collection, CCC-547, ORNL (1993).
- 6. «MCNP A General Monte Carlo Neutron-Particle Transport Code». Version 5. X-5 Monte Carlo Team, Los Alamos National Laboratory, April 2003.
- 7. Bliskavka A.A., Manturov G.N., Nikolaev M.N., Tsibulya A.M. Programmnyj kompleks CONSYST/MMKKENO dlya rascheta yadernyh reaktorov metodom Monte-Karlo v

mnogogruppovom priblizhenii s indikatrisami rassejaniya v PN-priblizhenii. Preprint GNC RF-FEI-2887. [CONSYST / MMKKENO code package for nuclear reactor calculations with Monte-Carlo in multigroup PN-approximation: IPPE Preprint-2887]. Obninsk, FEI Publ., 2001. (in Russian).

- 8. MacFarlane R.E. «TRANSX 2: A Code for Interfacing MATXS Cross-Section Libraries to Nuclear Transport Codes», Los Alamos National Laboratory 1992.
- 9. «International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments», Organization for Economic Cooperation and Development Nuclear Energy Agency, NEA/NSC/DOC(95)03 (September 2002 Edition).
- 10. Pruvost Norman L., Paxton Hugh C. Nuclear Criticality Safety Guide, LA-12808, UC-714 (1996).

Authors

Golovko Yury Evgen'evich, Research Officer

E-mail: bnab@ippe.ru

Koscheev Vladimir Nikolaevich, Senior Researcher, Cand. Sci. (Phys.-Math.)

E-mail: bnab@ippe.ru

Lomakov Gleb Borisovich, Junior Researcher

E-mail: bnab@ippe.ru

Manturov Gennady Nikolaevich, Head of Laboratory, Cand. Sci. (Phys.-Math.)

E-mail: bnab@ippe.ru

Rozhikhin Evgeny Valer'evich, Senior Researcher, Cand. Sci. (Phys.-Math.)

E-mail: bnab@ippe.ru

<u>Semenov</u> Mikhail Yur'evich, Leading Researcher, Cand. Sci. (Phys.-Math.)

E-mail: bnab@ippe.ru

<u>Tsiboulya</u> Anatoly Makarovich, Director Adviser, Cand. Sci. (Phys.-Math.)

E-mail: tsib@ippe.ru

Yakunin Andrey Andreevich, Junior Researcher

E-mail: bnab@ippe.ru