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

<sup>©</sup> 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.

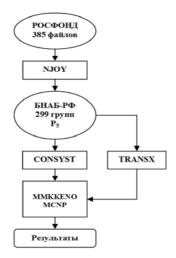


Рис. 1. Схема проведения расчетов

### 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  $\pm 0.1\%$ .

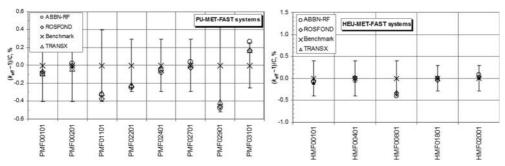


Рис. 2. Сравнение результатов расчета критичности быстрых плутониевых (слева) и урановых (справа) систем

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  $\pm 0.1\%$ .

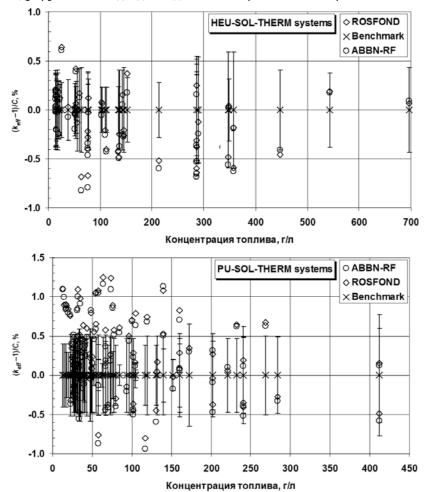


Рис. 3. Сравнение результатов расчета критичности тепловых урановых (вверху) и плутониевых (внизу) систем

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.

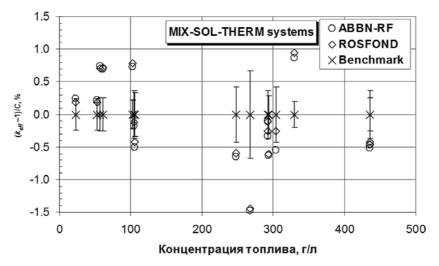


Рис. 4. Сравнение результатов расчетов критичности тепловых систем с МОКС-топливом

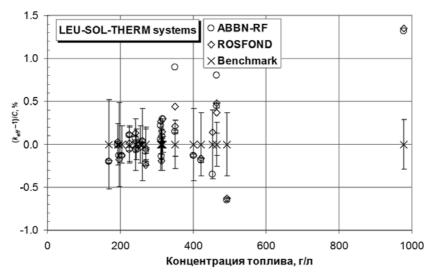


Рис. 5. Сравнение результатов расчетов критичности тепловых низкообогащенных урановых систем

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  $\Gamma$ .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