

БИБЛИОТЕКА ГРУППОВЫХ КОНСТАНТ БНАБ-РФ ДЛЯ РАСЧЕТОВ РЕАКТОРОВ И ЗАЩИТЫ

В.Н. Кощеев, Г.Н. Мантуров, М.Н. Николаев, А.М. Цибуля

ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ» им. А.И. Лейпунского.

249033, Обнинск, Калужская обл., пл. Бондаренко, 1



Дано описание новой библиотеки групповых констант БНАБ-РФ, предназначенной для расчетов различных типов ядерных реакторов и радиационной защиты и полученной на основе файлов национальной библиотеки нейтронных данных РОСФОНД-2010. Описываются основные особенности БНАБ-РФ в сравнении с предыдущими версиями констант БНАБ, структура данных и содержание. БНАБ-РФ протестирована в расчетах множества бенчмарк-моделей экспериментов из международных справочников ICSBER по критической безопасности и IRPhEP по реакторной физике.

Приводится рекомендация для использования БНАБ-РФ в научных организациях с целью ее дальнейшего тестирования.

Ключевые слова: библиотека оцененных нейтронных данных, РОСФОНД, верификация, бенчмарк-эксперименты, международные справочники, ICSBER, IRPhEP.

ВВЕДЕНИЕ

Ядерные данные о взаимодействии нейтронов и фотонов с веществом в форме групповых констант широко используются при расчетах ядерных реакторов и их радиационной защиты, при оценке ядерной и радиационной безопасности оборудования АЭС и вне реакторной части топливного цикла.

Истоки константного обеспечения в нашей стране были заложены в конце 1950-х – начале 1960-х гг. прошлого столетия, когда для расчетов ЯЭУ, в частности, критического стэнда БР-1, экспериментальных реакторов БР-2 и БР-5, на первых электронных вычислительных машинах потребовались наборы ядерных констант [1 – 3]. Объем информации о сечениях взаимодействия быстрых нейтронов с ядрами в те годы был небольшим. Однако ядерных данных уже было достаточно для того, чтобы показать возможность расширенного воспроизводства ядерного топлива в реакторах на быстрых нейтронах.

В 1964 г. под руководством Бондаренко И.И. была создана первая версия система групповых констант БНАБ для расчетов реакторов на быстрых нейтронах [4], которая существует и используется в практических расчетах уже более полувека. Она получила свое название по первым буквам фамилий авторов: Бондаренко И.И., Николаев М.Н., Абагян Л.П., Базазянц Н.О. Качественная новизна библиотеки констант БНАБ по отношению к своим аналогам [1 – 3] выражалась в учете эффектов резонансной самоэкранировки сечений в области как разрешенных, так и неразрешенных резонансов. Было увеличено число нуклидов, для которых в системе БНАБ-64 были приведены ядерные константы.

В 1980 г. версия констант БНАБ-78 [5] вместе с системой подготовки АРАМАКО [6]

© **В.Н. Кощеев, Г.Н. Мантуров, М.Н. Николаев, А.М. Цибуля, 2014**

были рекомендованы в качестве стандарта для расчетов быстрых реакторов. Принципиальными отличиями констант второго поколения БНАБ-78 от БНАБ-64 явились

- расширение рассматриваемой области энергий до 20 МэВ;
- включение данных об образовании γ -квантов в нейтронных реакциях и 15-групповых констант для расчета их распространения в средах;
- включение матриц погрешностей групповых констант основных реакторных материалов и коэффициентов корреляции между ними;
- включение принципиально нового метода учета резонансной самоэкранировки сечений – метода подгрупп [7].

В 1990-х гг. в практику расчетов была внедрена система констант третьего поколения БНАБ-93 [8], которая вместе с программой подготовки CONSYST [9] была верифицирована и рекомендована ГСССД в 1995 г. в качестве стандартных справочных данных. Формат представления констант в БНАБ-93 был изменен, а список нуклидов и содержание данных существенно расширены. В библиотеку констант были включены ранее отсутствовавшие данные по выходам продуктов деления, дозовые факторы и др. В результате область применимости констант БНАБ-93 была расширена, и стала использоваться для расчетов нуклидного состава облученного топлива и оценки радиационной обстановки при работе со свежим и отработавшим топливом.

В процессе верификации и валидации библиотеки констант БНАБ-93 были выявлены ее «слабые места». В частности, погрешности расчета критичности влажных порошков делящихся материалов оказались весьма чувствительными к нейтронным сечениям вблизи верхней границы области разрешенных резонансов и в области неразрешенных резонансов, а также к эффектам резонансной самоэкранировки сечений. Было выявлено существенное влияние формы спектра нейтронов деления; в системе БНАБ-93 форма определялась на основе эмпирической зависимости от среднего числа нейтронов деления.

В это же время в научных лабораториях в разных странах прошло завершение интенсивных работ по переоценке сечений и созданию современных библиотек оцененных нейтронных данных, отражающих самую современную экспериментальную информацию. К таким работам следует отнести создание библиотек ENDF/B-VII.1 в США, JEFF-3.1 в Европе, JENDL-4.0 в Японии, CENDL-3.1 в Китае, БРОНД-3 и РОСФОНД в России. Все это побуждало к созданию новой системы константного обеспечения БНАБ.

Создание в 2005 г. в России национальной библиотеки файлов нейтронных данных РОСФОНД послужило основным мотивом разработки системы групповых констант нового поколения – БНАБ-РФ для расчетов ядерных реакторов и радиационной защиты.

В новой библиотеке констант содержатся таблицы ядерных данных различного типа. Из них наиболее важными и сложными по структуре и алгоритмам использования являются нейтронные данные. Помимо нейтронных данных в библиотеке БНАБ-РФ содержатся также данные об образовании и взаимодействии фотонов с веществом, которые взяты из библиотеки EPDL-97. Нейтронные данные, содержащиеся в современной версии библиотеки БНАБ-РФ, основываются на новейших оцененных нейтронных данных библиотеки РОСФОНД версии 2010 г. [10].

СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ БИБЛИОТЕКИ БНАБ-РФ

В настоящее время библиотека групповых констант БНАБ-РФ содержит данные для практически всех химических элементов, долгоживущих актинидов, наиболее важных продуктов деления и многих изотопов, которые могут быть непосредственно использованы в реакторной индустрии в разделенной форме (например, ^{10}B , ^6Li , ^{15}N и др.) или

в составе выгорающих поглотителей (например, изотопы гадолиния или европия). Для конструкционных материалов нейтронные данные приводятся не только для природной смеси, но и для отдельных стабильных изотопов.

Для всех материалов в библиотеке содержатся 299-групповые нейтронные константы в интервале энергий от 10^{-5} эВ до 20 МэВ и 127-групповые константы взаимодействия фотонов в интервале энергий от 50 эВ до 20 МэВ (границы групп совпадают с принятыми в библиотеке БНАБ-93). Резонансная структура сечений учитывается с помощью факторов резонансной самоэкранировки сечений Бондаренко при шести опорных значениях температур: 300, 550, 900, 1400, 2100 и 3000 К. Число сечений разбавления изотопа в среде σ_0 , при которых приводятся факторы резонансной самоэкранировки, равно 26 – от 0 до 10^7 барн.

Как и в предыдущей версии констант БНАБ-93, резонансная самоэкранировка сечений, где она учитывается с помощью факторов Бондаренко, рассчитана в приближении узкого резонанса (NR-приближение), за исключением изотопа U-238. Для него, наряду с традиционным представлением, резонансная самоэкранировка сечений представлена с помощью факторов самоэкранировки сечений, рассчитанных в приближении промежуточного резонанса (гомогенная смесь урана и водорода). Такое приближение применяется в области энергий до 215.44 эВ, а выше используется традиционное NR-приближение. Имя такого специального изотопа – U38h.

Помимо факторов самоэкранировки сечений в библиотеках БНАБ-РФ содержатся подгрупповые параметры, полученные на основе имеющихся наборов факторов самоэкранировки. Матрицы угловых моментов межгрупповых переходов при неупругом рассеянии приводятся для двух моментов, а при упругом рассеянии – для пяти моментов.

Каждому типу данных присвоен идентификатор таблицы MF. Например, для настоящей версии библиотеки параметр MF определяет следующие типы данных, сгруппированных с учетом их характеристик:

- MF=0 – библиотека в целом;
- MF=301 – основные групповые константы;
- MF=302, 502 – неупругое рассеяние нейтронов;
- MF=303 – упругое рассеяние нейтронов;
- MF=304 – резонансная структура сечений в виде факторов блокировки Бондаренко в зависимости от температуры;
- MF=306 – резонансная структура сечений в виде подгрупповых параметров;
- MF=307 – термализация нейтронов в области тепловых энергий;
- MF=308 – энерговыделение при взаимодействии нейтрона с ядром;
- MF=309 – возможные типы реакций для нуклида;
- MF=310 – образование фотонов в нейтронных реакциях;
- MF=314 – выходы продуктов деления;
- MF=315 – запаздывающие нейтроны при делении;
- MF=518 – спектры нейтронов при делении;
- MF=111 – основные сечения взаимодействия фотонов;
- MF=112 – угловое распределение когерентного рассеяния фотонов с помощью представления пятью угловыми моментами;
- MF=113 – угловое распределение когерентного рассеяния фотонов с помощью дискретного представления;
- MF=121 – комптоновское рассеяние на электронных оболочках атомов с помощью пяти моментов;
- MF=122 – комптоновское рассеяние на электронных оболочках атомов с помощью дискретного представления;
- MF=81 – ковариационные данные для расчета погрешностей нейтронных полей;

MF=90 – 95 – данные по радиоактивному распаду всех нестабильных изотопов элемента, которые могут образовываться в результате цепочки нейтронных реакций.

Дальнейшая идентификация данных определяется с помощью дополнительного параметра MT.

В таблице 1 представлено содержание основных нейтронных констант библиотеки БНАБ-РФ. Первая колонка содержит порядковый номер данных, вторая – зарядовое число Z , в третьей колонке приводятся имена нуклидов, использующихся в библиотеке.

Таблица 1

Список нуклидов библиотеки БНАБ-РФ

№ п/п	Z	Имя нуклида в библиотеке
1	1	H, H1, H2, H3
2	2	He3, He
3	3	Li6, Li7
4	4	Be
5	5	B, B10, B11
6	6	C
7	7	N, N15
8	8	O, O17, O18
9	9	F
10	11	Na22, Na
11	12	Mg, Mg24, Mg25, Mg26
12	13	Al
13	14	Si, Si28, Si29, Si30
14	15	P
15	16	S, S32, S33, S34, S36
16	17	Cl, Cl35, Cl37
17	18	Ar, Ar36, Ar38, Ar40
18	19	K, K39, K40, K41
19	20	Ca, Ca40, Ca42, Ca43, Ca44, Ca46, Ca48
20	21	Sc
21	22	Ti, Ti46, Ti47, Ti48, Ti49, Ti50
22	23	V, V51
23	24	Cr, Cr50, Cr52, Cr53, Cr54
24	25	Mn
25	26	Fe, Fe54, Fe56, Fe57, Fe58
26	27	Co
27	28	Ni, Ni58, Ni60, Ni61, Ni62, Ni64
28	29	Cu, Cu63, Cu65
29	30	Zn
30	31	Ga, Ga69, Ga71
31	32	Ge, Ge70, Ge72, Ge73, Ge74, Ge76

Таблица 1
(продолжение)

№ п/п	Z	Имя нуклида в библиотеке
32	33	As
33	34	Se, Se74, Se76, Se77, Se78, Se79, Se80, Se82
34	35	Br, Br79, Br81
35	36	Kr, Kr78, Kr80, Kr82, Kr83, Kr84, Kr85, Kr86
36	37	Rb, Rb85, Rb86, Rb87
37	38	Sr, Sr84, Sr86, Sr87, Sr88, Sr89, Sr90
38	39	Y, Y90, Y91
39	40	Zr, Zr90, Zr91, Zr92, Zr93, Zr94, Zr95, Zr96
40	41	Nb, Nb95
41	42	Mo, Mo92, Mo94, Mo95, Mo96, Mo97, Mo98, Mo00
42	43	Tc99
43	44	Ru, Ru96, Ru98, Ru99, Ru00, Ru01, Ru02, Ru03, Ru04, Ru06
44	45	Rh, Rh05
45	46	Pd, Pd02, Pd04, Pd05, Pd06, Pd07, Pd08, Pd10
46	47	Ag, Ag07, Ag09, Ag11
47	48	Cd, Cd06, Cd08, Cd10, Cd11, Cd12, Cd13, Cd14, Cd16
48	49	In, In13, In15
49	50	Sn, Sn12, Sn14, Sn15, Sn16, Sn17, Sn18, Sn19, Sn20, Sn22, Sn23, Sn24, Sn25, Sn26
50	51	Sb, Sb21, Sb23, Sb24, Sb25, Sb26
51	52	Te, Te20, Te22, Te23, Te24, Te25, Te26, Te28, Te30, Te32
52	53	I, I129, I131
53	54	Xe, Xe24, Xe26, Xe28, Xe29, Xe30, Xe31, Xe32, Xe33, Xe34, Xe35, Xe36
54	55	Cs, Cs34, Cs35, Cs36, Cs37
55	56	Ba, Ba30, Ba32, Ba34, Ba35, Ba36, Ba37, Ba38, Ba40
56	57	La, La40
57	58	Ce, Ce36, Ce38, Ce40, Ce41, Ce42, Ce43, Ce44
58	59	Pr, Pr43
59	60	Nd, Nd42, Nd43, Nd44, Nd45, Nd46, Nd47, Nd48, Nd50
60	61	Pm47, Pm48, Pm49
61	62	Sm, Sm44, Sm47, Sm48, Sm49, Sm50, Sm51, Sm52, Sm53, Sm54
62	63	Eu, Eu51, Eu53, Eu54, Eu55, Eu56
63	64	Gd, Gd52, Gd54, Gd55, Gd56, Gd57, Gd58, Gd60
64	65	Tb, Tb60
65	66	Dy, Dy56, Dy58, Dy60, Dy61, Dy62, Dy63, Dy64
66	67	Ho
67	68	Er, Er62, Er64, Er66, Er67, Er68, Er70
68	71	Lu, Lu75, Lu76

Таблица 1
(окончание)

№ п/п	Z	Имя нуклида в библиотеке
69	72	Hf, Hf74, Hf76, Hf77, Hf78, Hf79, Hf80
70	73	Ta
71	74	W, W180, W182, W183, W184, W186
72	75	Re, Re85, Re87
73	76	Os
74	77	Ir, Ir91, Ir93
75	78	Pt
76	79	Au
77	80	Hg, Hg96, Hg98, Hg99, Hg00, Hg01, Hg02, Hg04
78	81	Tl
79	82	Pb, Pb04, Pn06, Pb07, Pb08
80	83	Bi
81	90	Th27, Th28, Th29, Th30, Th32, Th34
82	91	Pa31, Pa32, Pa33
83	92	U232, U233, U234, U235, U236, U237, U238
84	93	Np35, Np36, Np37, Np38, Np39
85	94	Pu36, Pu37, Pu38, Pu39, Pu40, Pu41, Pu42, Pu43, Pu44, Pu46
86	95	Am41, Am42, Am2m, Am43, Am44
87	96	Cm40, Cm41, Cm42, Cm43, Cm44, Cm45, Cm46, Cm47, Cm48, Cm49, Cm50
88	97	Bk47, Bk49, Bk50
89	98	Cf49, Cf50, Cf51, Cf52, Cf53
90	99	Es53, Es54, Es55

В новой версии библиотеки констант БНАБ-РФ добавлены новые нейтронные данные для суммарного (псевдо) осколка деления. Суммарный осколок деления представлен с помощью «легкого» и «тяжелого» осколков деления для того, чтобы более корректно описать рассеяние. «Легкий» осколок представляет собой результат суммирования нуклидов в области атомных масс $75 \leq A \leq 118$, «тяжелый» – в области атомных масс $A \geq 119$. Помимо «легкого» и «тяжелого» осколков в библиотеке содержатся нейтронные данные для традиционного суммарного осколка деления, рассчитываемого на основе нейтронных данных из списка основных нуклидов – осколков деления, определяющих сечение захвата с точностью более 99%. Полное учитываемое число осколков деления равно 162. В библиотеке содержатся нейтронные данные для суммарного осколка при делении основных топливных нуклидов U^{235} , U^{238} и Pu^{239} .

В библиотеке констант БНАБ-РФ, в отличие от БНАБ-93, данные по запаздывающим нейтронам представлены в 8-групповом виде. Энергетический спектр запаздывающих нейтронов принят единым для всех делящихся ядер (приведен в таблице MF=0, MT=515).

В современной версии библиотеки БНАБ-РФ сохранены данные для некоторых специальных материалов из предыдущей версии библиотеки констант БНАБ-93: SCAT, D-SC, CAPT и GEL.

Ковариационные данные, необходимые для расчета погрешностей нейтронных полей,

имеют характер экспертной оценки и представлены в 30-групповом виде согласно групповой номенклатуре международного справочника критических экспериментов ICSBER [11].

В основу библиотеки распадных данных приняты данные из БНАБ-93, откорректированные согласно работе [12].

Библиотека групповых констант БНАБ-РФ протестирована в расчетах ряда бенчмарк-моделей из международного справочника критических экспериментов ICSBER и реакторных экспериментов IRPhEP [13]. Результаты тестирования опубликованы и доложены на конференциях [14–18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создана версия библиотеки групповых констант БНАБ-РФ нового поколения. В ее основе лежат новейшие оцененные нейтронные данные из российской библиотеки РОСФОНД версии 2010 г.

Библиотека групповых констант БНАБ-РФ предназначена для использования в расчетах различных типов ядерных реакторов и радиационной защиты, оценки ядерной и радиационной безопасности оборудования АЭС и вне реакторной части топливного цикла.

БНАБ-РФ протестирована в расчетах множества бенчмарк-моделей экспериментов из международных справочников ICSBER и IRPhEP. Работы по тестированию БНАБ-РФ в настоящее время продолжаются.

Рекомендуется использование библиотеки БНАБ-РФ в научных организациях для ее дальнейшего тестирования.

Литература

1. Марчук Г.И. Численные методы расчета ядерных реакторов. – М.: Атомиздат, 1958.
2. Гордеев И.В., Кардашов Д.А., Малышев А.В. Справочник по ядерно-физическим константам для расчета реакторов. – М.: Атомиздат, 1960.
3. Марчук Г.И. Методы расчета ядерных реакторов. – М.: Атомиздат, 1961.
4. Абагян Л.П., Базазянц Н.О., Бондаренко И.И., Николаев М.Н. Групповые константы для расчета ядерных реакторов. – М.: Атомиздат, 1964.
5. Абагян Л.П., Базазянц Н.О., Николаев М.Н., Цибуля А.М. Групповые константы для расчета реакторов и защиты. Справочник. – М.: Энергоиздат, 1981.
6. Хохлов В. Ф., Савоськин М. М., Николаев М. Н. Комплекс программ АРАМАКО для расчета групповых макро- и блокированных микросечений на основе 26-групповой системы констант в подгрупповом представлении. // Ядерные константы. – 1972. – Вып. 8. Ч. 3. – С. 3.
7. Николаев М. Н., Хохлов В. Ф. Система подгрупповых констант. // Бюллетень информационного центра по ядерным данным. – 1967. Вып. 4. – С. 420.
8. Мантуров Г.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: Сер. Ядерные константы. – 1996. – Вып. 1. – С. 59.
9. Мантуров Г.Н., Николаев М.Н., Цибуля А.М. Программа подготовки констант CONSYST. Описание применения: Препринт ФЭИ-2828. Обнинск. 2000.
10. Библиотека оцененных нейтронных данных РОСФОНД. Версия 2010, доступна на сайте <http://www.ippe.ru/podr/abbn/libr/rosfond.php>
11. International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments. NEA/NSC/DOC(95)03 (September 2011 Edition).
12. Jagdish K. Tuli. Nuclear Wallet Cards, version 2011, www.nndc.bnl.gov.
13. International Handbook of Evaluated Reactor Physics Benchmark Experiments. NEA/NSC/DOC(2006)1 (March 2012 Edition).
14. Андрианова О.Н., Коцеев В.Н., Ломаков Г.Б., Мантуров Г.Н., Якунин А.А. Результаты верификации комплекса CONSYST с константами на базе файлов РОСФОНД-2010. // Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики «Нейтроника». – 2012. – Т. 1. – С. 295.
15. Николаев М.Н., Цибуля А.М., Мантуров Г.Н., Коцеев В.Н., Семенов М.Ю., Рожихин Е.В., Голубев В.И., Матвеев И.П., Дулин В.А. Использование результатов экспериментов на крит-

стендах БР-1, КОБРА и БФС для обоснования системы констант БНАБ / Международная конференция «БФС-2012». – Россия, г. Обнинск, 28 февраля – 1 марта, 2012 г.

16. *Кошечев В.Н., Мантуров Г.Н., Николаев М.Н., Цибуля А.М.* Верификация нейтронных данных основных реакторных материалов библиотеки файлов РОСФОНД в интегральных экспериментах / Международная конференция WONDER-2012. – Франция, г. Экс-ан-Прованс, 25-28 сентября 2012 г.

17. *Грабежной В.А., Кошечев В.Н., Ломаков Г.Б., Мантуров Г.Н.* Верификация БНАБ-РФ-2010 в расчетах защитных бенчмарк-моделей / Международная конференция по радиационной защите «ICRS-12 & RPSD-2012». – г. Нара, Япония, 2-7 сентября 2012 г.

18. *Головки Ю.Е., Кошечев В.Н., Ломаков Г.Б., Мантуров Г.Н., Рожихин Е.В., Семенов М.Ю., Цибуля А.М., Якунин А.А.* Верификация современной версии констант БНАБ и программы подготовки CONSYST в расчетах критичности / Международная конференция по ядерным данным «ND2013». – г. Нью-Йорк, США, 4–8 Марта 2013 г.

Поступила в редакцию 08.07.2013 г.

Авторы

Кошечев Владимир Николаевич, ведущий научный сотрудник, кандидат физ.-мат. наук
E-mail: koscheev@ippe.ru

Мантуров Геннадий Николаевич, зав. лабораторией, кандидат физ.-мат. наук
E-mail: mant@ippe.ru

Николаев Марк Николаевич, главный научный сотрудник, доктор физ.-мат. наук
E-mail: mnikolaev@ippe.ru

Цибуля Анатолий Макарович, советник директора, кандидат физ.-мат. наук
E-mail: tsib@ippe.ru

UDC 621.039.51.17

ABBN-RF GROUP CONSTANTS LIBRARY FOR NUCLEAR REACTOR AND SHIELDING CALCULATIONS

Koscheev V.N., Manturov G.N., Nikolaev M.N., Tsiboulya A.M.

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

ABSTRACT

The paper presents a description of a new ABBN-RF group constants library intended for calculations of different types of nuclear reactors and radiation shielding.

The ABBN-RF library was constructed based on the national RUSFOND neutron data file library (version 2010). The paper describes the main features of the ABBN library compared to the previous version, the data structure and data contents of the new ABBN-RF group constants library.

The new ABBN-RF group data library was tested in benchmark experiments from the ICSBEP Handbook on criticality safety and the IRPhEP Handbook on reactor physics.

It is advisable that the ABBN-RF library should be used by research organizations with the purpose of its further testing.

Key words: evaluated neutron data library, RUSFOND, verification, benchmark experiments, international handbooks, ICSBEP, IRPhEP.

REFERENCES

1. Marchuk G.I. *Chislenniy metody rascheta yadernykh reaktorov*. [Numerical methods for nuclear reactor calculation]. Moscow, Atomizdat Publ. 1958 (in Russian).
2. Gordeev I.V., Kardashov D.A., Malyshev A.V. *Spravochnik po yaderno-fizicheskim konstantam dlya rascheta reaktorov*. [Nuclear-physic constant handbook for reactor calculation]. Moscow, Atomizdat Publ. 1960.
3. Marchuk G.I. *Metody rascheta yadernykh reaktorov*. [The methods for nuclear reactor calculation]. Moscow, Atomizdat Publ. 1961.

4. Abagyan L.P., Bazazyants N.O., Bondarenko I.I., Nikolaev M.N. *Grupповые константы для расчёта ядерных реакторов*. [The group constant set for reactor calculation]. Moscow, Atomizdat Publ. 1964.
5. Abagyan L.P., Bazazyants N.O., Nikolaev M.N., Tsibulya A.M. *Grupповые константы для расчёта реакторов и защиты*. [The group constant set for reactor and shielding calculation]. Manual. Moscow, Energoizdat Publ. 1981.
6. Hohlov V.N., Savoskin M.M., Nikolaev M.N. *Kompleks program ARAMAKO для расчёта групповых макро- и блокированных микросечений на основе 26-групповой системы констант в подгрупповом представлении*. [The program code ARAMACO for group macro- and selfshielding micro-cross section calculations on base of the 26-group subgroup constant system]. *Yadernye konstanty*. 1972, v. 8 (3), p. 3.
7. Nikolaev M.N., Hohlov V.N. *Sistema podgrupovykh konstant*. [The subgroup constant system]. *Bulleten' Informatsionnogo centra po yadernym dannym*. 1967, v. 4, p. 420.
8. Manturov G.N., Nikolaev M.N., Tsibulya A.M. *Sistema grupповых констант BNAB-93. Chast' 1: Yadernye konstanty dla rascheta nejtronnykh i fotonnykh poлей izlucheniya* [BNAB-93 group data library. Part 1: Nuclear data for calculation of neutron and photon radiation fields]. *Voprosy atomnoj nauki i tekhniki. Yadernye konstanty*. 1996, v. 1, p. 59.
9. Manturov G.N., Nikolaev M.N., Tsibulya A.M. *Programma podgotovki konstant CONSYST. Opisaniye primeneniya*: Preprint GNC RF-FEI-2828. [CONSYST code for neutron constants preparation. Scope statement: IPPE Preprint-2828]. Obninsk, FEI Publ., 2000 (in Russian).
10. *Biblioteka ocenennykh nejtronnykh dannyx ROSFOND, versiya 2010*. [ROSFOND: the evaluation neutron data library, 2010 version]. Available at: <http://www.ippe.ru/podr/abbn/libr/rosfond.php>.
11. *International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments*. OECD - Nuclear Energy Agency, NEA/NSC/DOC(95)03 (September 2011 Edition).
12. Jagdish K. Tuli. *Nuclear Wallet Cards*, version 2011, Available at: <http://www.nndc.bnl.gov>.
13. *International Handbook of Evaluated Reactor Physics Benchmark Experiments*. OECD - Nuclear Energy Agency, NEA/NSC/DOC(2006)1 (March 2012 Edition).
14. Andrianova O.N., Koscheev V.N., Lomakov G.B., Manturov G.N., Yakunin A.A. The verification results of CONSYST code with constant library on base of ROSFOND-2010. *Nejtrono-fizicheskie problemy atomnoj energetiki «NEJTRONIKA»*. 2012, v. 1, p. 295 (in Russian).
15. Nikolaev M.N., Tsibulya A.M., Manturov G.N., Koscheev V.N., Semenov M.Yu., Rozhihin E.V., Golubev V.I., Matveenko I.P., Dulin V.A. Using the results of experiments on critical stands BR-1, COBRA and BFS to justify the system ABBN, 2012, *In proc. Int. conference «BFS-2012»*, Obninsk, 28 february - 1 march 2012 (in Russian).
16. Koscheev V., Manturov G., Nikolaev M., Tsiboulya A. Verification of Neutron Data for Main Reactor Materials from RUSFOND Library based on Integral Experiments. The 3-rd International Conference on Nuclear Data Evaluation for Reactor applications «WONDER-2012», Aix-en-Provence, France, EPJ, v. 42, 07006, 2013.
17. Grabezhnoy V., Koscheev V., Lomakov G., Manturov G. Verification of the ABBN-RF2010 constants in calculations of shielding benchmarks. *Proc. of Intern. Conf. on Radiation Shielding «ICRS-12 & RPSD-2012»*. Nara, Japan, September 2-7, 2012.
18. Golovko Yu., Koscheev V., Lomakov G., Manturov G., Rozhikhin E., Tsiboulya A., Yakunin A. Verification of current version of ABBN constants and CONSYST code in calculation of criticality benchmarks. *International Conference on Nuclear Data for Science and Technology «ND2013»*, New-York, USA, March 4-8, 2013.

Authors

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

E-mail: vkoscheev@ippe.ru

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

E-mail: mant@ippe.ru

Nikolaev Mark Nikolaevich, Chief Researcher, Dr. Sci. (Phys.-Math.)

E-mail: mnikolaev@ippe.ru

Tsiboulya Anatoly Makarovich, Director Adviser, Cand. Sci. (Phys.-Math.)

E-mail: tsib@ippe.ru