

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НАТРИЯ НА АКТИВНОСТЬ В ПЕРВОМ КОНТУРЕ РЕАКТОРОВ ТИПА БН

К.В. Тыклевая, А.А. Перегудов, С.В. Забродская, В.Н. Кощев, С.Е. Шпакова

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



Анализируется точность расчетов по различным программам и константам активности продуктов активации примесей висмута, калия и аргона в натрии первого контура реактора большой мощности типа БН. Расчеты проводились с помощью программ MMKKENO, TRIGEX.04, КАСКАД и КАТРИН с использованием современных библиотек файлов оцененных данных в 28- и 299-групповом представлении: российской – РОС-ФОНД, европейских – JEFF311 и TENDL2011, японской – JENDL4.0, а также системы групповых констант БНАБ-93.

Наблюдается большое расхождение в результатах расчетов активности $Po210$ и $Bi210m$ при использовании сечений активаций с разными оценками в этих библиотеках. Эта непростая ситуация с константами актуальна, поскольку опыт работ с радиоактивными веществами показывает, что загрязненные открытые поверхности оборудования являются потенциальными источниками внутреннего облучения. Ведущую роль при этом играет ингаляционный путь поступления в результате перехода радиоактивных веществ с загрязненных поверхностей в воздух рабочих помещений. При ремонте оборудования, которое находилось при работе в натрии первого контура, наличие $Po210$ на поверхности ремонтируемого оборудования может оказывать радиационное воздействие на персонал. Примеси калия и аргона в натрии первого контура образуют газообразные продукты $Ag41$ и $Ar39$, которые поступают в газовую систему реактора и в рабочие помещения. Анализ данных по сечениям для этих изотопов показал отсутствие больших расхождений.

При использовании программ MMKKENO, ТРИГЕКС, КАСКАД и КАТРИН полученные данные по активности радиоактивных изотопов находятся в пределах $\sim 3 - 11\%$.

Ключевые слова: влияние, примеси, активность, натриевый реактор, точность, расчеты, программы, константы.

ВВЕДЕНИЕ

В работе рассматриваются примеси натриевого теплоносителя – висмут, калий и аргон, которые вносят вклад в его активность и влияют на радиационную безопасность реакторов типа БН.

При ремонте теплообменников, насосов и другого оборудования, которое находилось при работе в натрии первого контура, наличие на его поверхности альфа-активного $Po210$, образующегося из висмута, может оказывать радиационное воздействие на персонал. Активация примесей калия и аргона в натрии первого контура приводит к обра-

зованию газообразных радиоактивных продуктов Ar41 и Ar39, которые при работе реакторной установки БН с герметичными твэлами являются определяющими в части загрязнения газовой системы реактора, рабочих помещений и внешней среды.

Представленная работа выполнялась в логике нескольких подзадач. Первая состояла в определении механизмов образования радиоактивных источников (например, Ar41) и оценке имеющихся современных констант. Вторая задача была расчетно-методической и заключалась в создании расчетных моделей и анализе имеющихся программных средств (двумерных и трехмерных) с различными приближениями (мало- и многогрупповое) для расчета активностей с целью выбора оптимального расчетного инструмента для данного функционала.

РАСЧЕТ АКТИВНОСТИ ПРОДУКТОВ АКТИВАЦИИ ПРИМЕСИ ВИСМУТА В НАТРИИ ПЕРВОГО КОНТУРА

В работе приведены результаты расчетной оценки α -активности Po210 в натрии первого контура реактора типа БН. Этот изотоп является продуктом активации примеси висмута, растворенного в натрии.

Основные реакции активации и распада висмута, в результате которых образуются указанные α -активные изотопы, представлены на рис. 1.

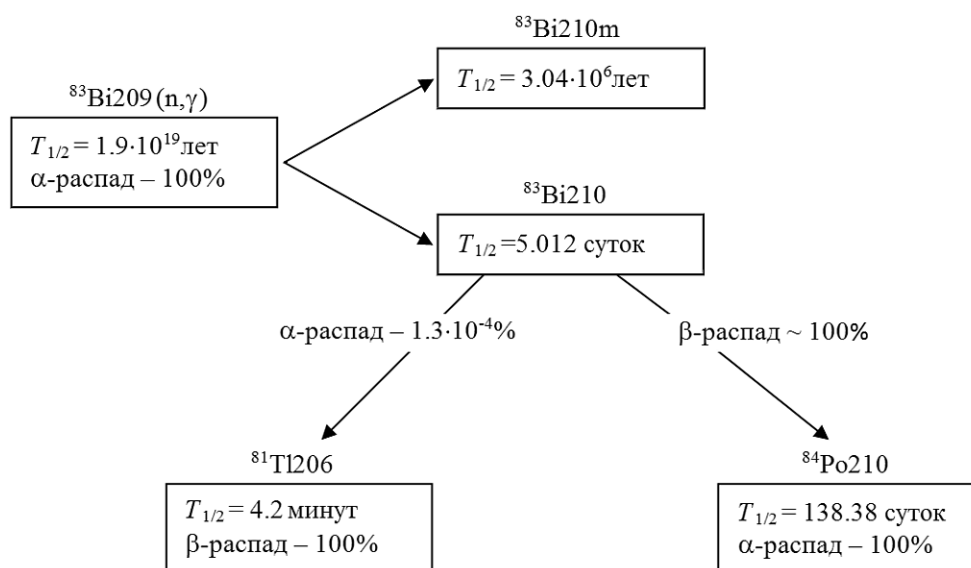


Рис. 1. Основные реакции активации и распада висмута

Альфа-активность Po210 и Bi210 в натрии первого контура после n -ой кампании рассчитывалась по формуле

$$A = 10^3 \cdot \sum_i \sum_j (\varphi_j^i \cdot \sigma^j) \cdot \rho_j \cdot V_i / V_{1к} \times \exp(-\lambda \tau_s) \cdot [1 - \exp(-\lambda \tau)] \cdot [1 - \exp(-\lambda(\tau + \Delta t)n)] / [1 - \exp(-\lambda(\tau + \Delta t))], \text{ Бк/л}, \quad (1)$$

где $\sum_j (\varphi_j^i \cdot \sigma^j)$ – интеграл образования Po210, Bi210 или Bi210m в i -ой расчетной зоне реактора, 1/с; φ_j^i – нейтронный поток j -ой группы в i -ой зоне, н/см²·с; σ^j – сечение активации Bi209 нейтронами j -ой группы, которое приводит к образованию Po210, Bi210 или Bi210m, см²; ρ_j – плотность ядер Bi209 в i -ой расчетной зоне реактора, 1/см³; τ_s – время после останова реактора, сут; V_i – объем i -ой расчетной зоны реактора, см³; $V_{1к}$ – объем натрия первого контура, л; λ – постоянная распада нуклида Po210, Bi210 или Bi210m, 1/с; τ – время микрокампании, с

(330 сут = 28 512 000 с); Δt – время между перегрузками, с (35 сут = 3 024 000 с); n – число микрокампаний.

Плотность растворенных в натрии ядер ^{209}Bi определялась из выражения

$$\rho_i = (A_{\text{Na}}/A_{\text{Bi}}) \cdot \epsilon_{\text{Bi}} \rho^{\text{Na}}_i, \quad (2)$$

где A_{Na} , A_{Bi} – атомные массы натрия и висмута; ρ^{Na}_i – плотность ядер натрия в i -ой расчетной зоне реактора, $1/\text{см}^3$; ϵ_{Bi} – содержание примеси висмута в натрии в весовых долях (величина ϵ_{Bi} принималась равной $1 \cdot 10^{-5}$ весовых долей в соответствии с нормативным документом).

При расчете α -активности ^{210}Bi по формуле (1) конечный результат умножался на величину $1.32 \cdot 10^{-6}$ (вероятность распада ^{210}Bi по каналу α -распада); предполагалось, что α -активные продукты активации висмута полностью находятся в натрии.

Пространственно-энергетическое распределение нейтронов в активной зоне и защите реактора определялось по двумерной программе КАСКАД [1] и по трехмерным программам КАТРИН [2], ММККЕНО [3], TRIGEX.04 [4] с использованием системы констант CONSYST/ABBV-93 [5].

Для расчета альфа-активности примесей в натрии первого контура использовались 28- и 299- групповые сечения активации ^{209}Bi , полученные по четырем современным библиотекам файлов оцененных данных: российской – РОСФОНД [6], европейских – JEFF311, TENDL2011 [7] и японской – JENDL4.0 [7], а также находящейся в эксплуатации системы групповых констант БНАБ-93 [8].

В таблице 1 приведены программы и количества нейтронных групп, использованных в расчетах.

Таблица 1

Расчетные программы

	Двумерные, S ₈ P ₅	Трехмерные		
	КАСКАД	КАТРИН	ММККЕНО	TRIGEX.04
28 групп	+	+	+	+
299 групп	+	-	-	-

РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ РЕАКТОРА ТИПА БН

Для расчетов по трехмерным кинетическим программам требуется очень много машинного времени. Для его сокращения использовались КАСКАД и TRIGEX по выбору наиболее оптимальной расчетной схемы с учетом точности вычислений функционалов потока.

На рисунках 2, 3 приведены горизонтальный и вертикальный разрезы модели реактора, выбранной для расчета по программе КАТРИН.

Подготовка расчетной модели в (x, y, z) -геометрии и входных файлов для кода КАТРИН осуществлялась с помощью препроцессора HEX [9] и генератора сеток ВОТ-3Р версии 5.1. [10]. Константное обеспечение расчета (подготовка файла макроконстант в формате ANISN и FMAC-M) описано в инструкции для пользователя [11].

Расчетные модели реактора, использованные в расчетах по TRIGEX и ММККЕНО, охватывают всю область размещения сборок, расположенных внутри обечаек нейтронной подпорки. В осевом направлении моделировалась вся высота сборок (~5 м).

Расчетная модель картограммы сборок в расчетах по двумерной программе КАСКАД состояла из колец одинаковых по составу сборок.

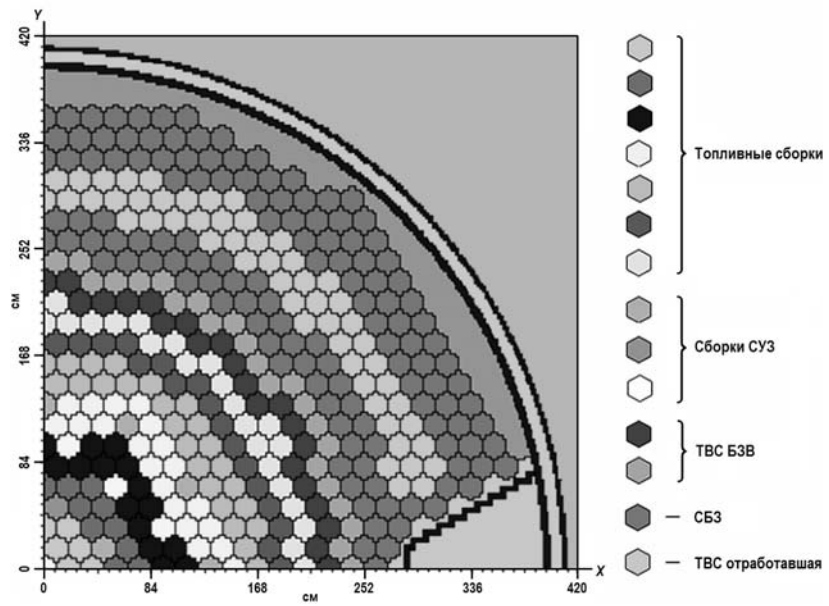


Рис. 2. Горизонтальный разрез расчетной модели

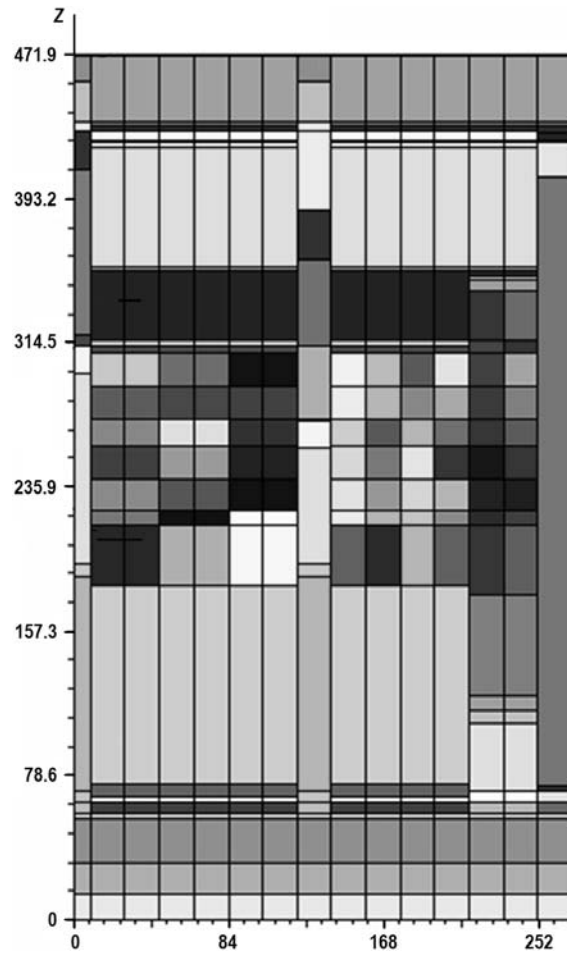


Рис. 3. Вертикальный разрез расчетной модели

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПРОДУКТОВ АКТИВАЦИИ ПРИМЕСИ ВИСМУТА

В таблице 2 приведены результаты расчетов удельной альфа-активности Po210 в натрии первого контура после одного года работы реактора и нулевой выдержки, которые были получены при использовании разных нейтронных программ и разных систем активационных констант.

Таблица 2

Величины альфа-активности Po210 в натрии первого контура, Бк/л (время работы реактора один год, время выдержки = 0, содержание Bi в натрии = 10 ppm)

Программа \ Система кон- стант		БНАБ-93	RF	JEFF311	JENDL 4.0	TENDL2011
КАСКАД	28 групп	9.59E+05	7.55E+05	7.87E+05	4.49E+05	9.90E+05
	299 групп	–	7.69E+05	8.12E+05	4.62E+05	9.59E+05
TRIGEX	28 групп	9.44E+05	7.79E+05	8.30E+05	4.68E+05	9.92E+05
ММККЕНО	28 групп	9.01E+05	7.35E+05	7.76E+05	4.39E+05	9.47E+05
КАТРИН	28 групп	1.02E+06	8.33E+05	8.80E+05	4.97E+05	1.07E+06

Анализ приведенных в табл. 2 результатов оценок удельной альфа-активности Po210, рассчитанных по разным программам, показал следующее:

- величины активности, рассчитанные по приведенным в таблице программам КАСКАД, КАТРИН, TRIGEX и ММККЕНО, различаются между собой в пределах 3 – 11%;
- величина активности, рассчитанная по 299-ти группам, превышает примерно на 2 – 3% значение активности, рассчитанное с использованием 28-ми групп, что говорит о возможности применения малогруппового приближения в таких оценочных расчетах.

Анализ представленных в табл. 2 результатов расчетов удельной альфа-активности Po210 в натрии первого контура, полученных с использованием разных активационных констант, по отношению к константам БНАБ-93 (как базовой) выявил сильный разброс. Максимальное отличие примерно на 53% наблюдается для библиотеки JENDL4.0, которое объясняется наименьшим коэффициентом ветвления в основное состояние Bi210, через которое образуется Po210.

Удельная активность Na22 и Na24 в натрии оценивается приблизительно 10^7 и 10^{11} Бк/л. Определяется сначала радиоактивность Na24, а после его распада ($T_{1/2} \sim 14.6$ часов) вклад Po210 в активность натрия на фоне Na22 в результате составит 10 – 15%.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА АКТИВНОСТИ ПРОДУКТОВ АКТИВАЦИИ ПРИМЕСИ КАЛИЯ И АРГОНА

Помимо расчетов величин активности радиоактивных изотопов, образующихся из примеси висмута в натрии, были проведены расчетные исследования величин активности радиоактивных изотопов Ar41 и Ar 39 в газовой полости реактора. Эти изотопы образуются из примеси калия и аргона в натрии первого контура реактора типа БН и затем выходят в газовую полость.

В расчетах использовались те же нейтронные потоки, что и для анализа примеси висмута. Вычисление значений активности также выполнялось по формуле (1), в которой содержание примеси висмута заменялось на содержание калия и аргона в натрии.

Величины активности радиоактивных изотопов Ar41 и Ar39, образующихся из при-

меси калия и аргона в натрии, приведены в табл. 3 – 5.

Таблица 3

Активность радиоактивных изотопов. Реакция $K41(n,p)Ar41$, Бк/л (время работы реактора – два года, время выдержки = 0, содержание К в натрии = 10 ppm)

Программа		Система констант		БНАБ-93	RF-2010	JEFF311	JENDL 4.0	TENDL2011	ENDF/B-VII.1
		28 групп	299 групп						
ММККЕНО	28 групп	0.20e+7	0.20e+7	0.20e+7	0.20e+7	0.20e+7	0.20e+7	0.19e+7	0.20e+7
ТРИГЕКС	28 групп	0.19e+7	0.20e+7	0.20e+7	0.20e+7	0.19e+7	0.19e+7	0.18e+7	0.19e+7
КАСКАД	28 групп	0.23e+7	0.23e+7	0.23e+7	0.23e+7	0.23e+7	0.23e+7	0.21e+7	0.23e+7
	299 групп	–	0.22e+7	0.21e+7	0.21e+7	0.20e+7	0.21e+7	0.20e+7	0.21e+7

Таблица 4

Активность радиоактивных изотопов. Реакция $K39(n,p)Ar39$, Бк/л (время работы реактора – два года, время выдержки = 0, содержание К в натрии = 10 ppm)

Программа		Система констант		БНАБ-93	RF-2010	JEFF311	JENDL 4.0	TENDL2011	ENDF/B-VII.1
		28 групп	299 групп						
ММККЕНО	28 групп	0.81e+7	0.11e+8	0.11e+8	0.11e+8	0.11e+8	0.11e+8	0.11e+8	0.11e+8
ТРИГЕКС	28 групп	0.79e+7	0.11e+8	0.11e+8	0.11e+8	0.11e+8	0.11e+8	0.10e+8	0.11e+8
КАСКАД	28 групп	0.90e+7	0.13e+8	0.13e+8	0.13e+8	0.13e+8	0.13e+8	0.12e+8	0.13e+8
	299 групп	–	0.12e+8	0.12e+8	0.12e+8	0.12e+8	0.11e+8	0.12e+8	0.12e+8

Таблица 5

Активность радиоактивных изотопов. Реакция $Ar40(n,\gamma)Ar41$, Бк/л (время работы реактора – два года, время выдержки = 0, содержание Ar в натрии = $4 \cdot 10^{-4}$ ppm)

Программа		Система констант		БНАБ-93	RF-2010	JEFF311	JENDL 4.0	TENDL2011	ENDF/B-VII.1
		28 групп	299 групп						
ММККЕНО	28 групп	0.30e+5	0.21e+5	0.21e+5	0.21e+5	0.21e+5	0.21e+5	0.23e+5	0.21e+5
ТРИГЕКС	28 групп	0.33e+5	0.24e+5	0.24e+5	0.24e+5	0.24e+5	0.24e+5	0.25e+5	0.24e+5
КАСКАД	28 групп	0.35e+5	0.25e+5	0.25e+5	0.25e+5	0.25e+5	0.25e+5	0.26e+5	0.25e+5
	299 групп	–	0.23e+5	0.23e+5	0.23e+5	0.23e+5	0.23e+5	0.24e+5	0.23e+5

Анализ данных (табл. 3 – 5) показывает, что значения сечений в библиотеках RF-2010, JEFF311, JENDL 4.0 и ENDF/B-VII.1 очень хорошо согласованы с указанными в расчетах изотопами. Основными источниками образования $Ar41$ в РУ БН являются ядерные реакции на примесях калия в натрии – $K41(n,p)Ar41$.

ВРЕМЯ РАСЧЕТА ВАРИАНТОВ ПО РАЗНЫМ ПРОГРАММАМ

Времена расчета одного и того же варианта по разным программам существенно различаются при практически одинаковой точности результатов расчета; среднее расчетное время одного и того же варианта по упомянутым выше программам представлено в табл. 6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье приведены результаты расчетно-методического исследования задачи определения величины активности в первом контуре реактора типа БН с учетом примесей натрия, т.е. показано влияние и их важность в вопросах безопасной эксплуатации реактора БН большой мощности. Задача решалась последовательно по следующим этапам:

Расчетное время

Программа	Число групп	Расчетное время
КАТРИН	28 групп	56 ч
ММККЕНО	28 групп	~3 сут
ТРИГЕКС	28 групп	8 – 10 мин
КАСКАД	28 групп	3 ч
	299 групп	3 сут

1) анализ физических процессов и современного константного обеспечения; 2) моделирование; 3) расчет по различным программам.

В итоге были получены следующие результаты.

1. При анализе константного обеспечения выявлен значительный разброс в сечении $^{83}\text{Bi}209(n,\gamma)$ по разным оценкам в библиотеках БНАБ-93, RF-2010, JEFF311, JENDL 4.0 ENDF/B-VII.1, TENDL2011, поэтому необходимо продолжить работу оценщикам для снятия разногласий, поскольку это существенно влияет на оценку активности $\text{Po}210$ и $\text{Bi}210m$. Ситуация с данными по нейтронным сечениям для K и Ar не вызывает беспокойства, так как оценки довольно близкие.

2. Результаты расчетов величин активности $\text{Ar}41$, $\text{Po}210$, $\text{Bi}210m$, образующихся из примесей калия и висмута в натрии первого контура реактора типа БН, с привлечением программ и приближений показывают

– отличия результатов расчетов активности, полученных по 28- и 299-групповым активационным константам, находятся в диапазоне $\pm 2-4\%$, что говорит о возможности проведения оценочных расчетов в малогрупповом приближении;

– полученные данные по активности радиоактивных изотопов хорошо согласуются друг с другом при использовании разных программ; отличия составляют около 3 – 11% для КАСКАД, КАТРИН, ММККЕНО и ТРИГЕКС.

Это означает, что для предварительных расчетов можно использовать 28-групповое приближение по константам и двумерные программы с учетом того, что эти результаты можно уточнить с полученными поправками при переходе на более детальные расчеты.

Литература

1. Волощенко А.М., Швецов А.В. КАСКАД-1.5 – программа для решения уравнения переноса нейтронов, фотонов и заряженного излучения в двумерных геометриях. / Сб. тезисов докладов VII Российской научной конференции «Защита от ионизирующих излучений ядерно-технических установок». – Обнинск, 22 – 25 сентября 1998 г.
2. КАТРИН-2.5 – программа для решения уравнения переноса нейтронов, фотонов и заряженного излучения методом дискретных ординат в трехмерной геометрии: Отчет о НИР. / ИПМ им. М.В. Келдыша РАН: Руководитель А.М. Волощенко. – Инв. № 7-27-2004. – М., 2004, обновлен 2009. – Отв. исполн. А.М. Волощенко.
3. Блыскавка А.А., Мантуров Г.Н., Николаев М.Н. и др. Программный комплекс CONSYST//ММККЕНО для расчета ядерных реакторов методом Монте-Карло в многогрупповом приближении с индикатрисами рассеяния в P_n -приближении: Препринт ФЭИ – 2887, Обнинск, 2001.
4. Серегин А.С., Кислицина Т.С., Цибуля А.М. Аннотация комплекса программ TRIGEX.04: Препринт ФЭИ – 2846, Обнинск, 2000.
5. Мантуров Г.Н., Николаев М.Н., Цибуля А.М. Программа подготовки констант CONSYST. Описание применения: Препринт ФЭИ-2828, Обнинск, 2000.
6. Забродская С.В. и др. РОСФОНД – российская национальная библиотека оцененных нейт-

ронных данных. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы. – 2007. – Вып. 1-2.

7. Интернет-ресурс: www.nndc.bnl.gov/exfor/endl00.jsp

8. Николаев М.Н., Кощев В.Н., Забродская С.В. и др. Библиотека сечений нейтронных реакций в системе константного обеспечения БНАБ-93. // ВАНТ. Сер. Ядерные константы. – №2. – 1999.

9. Разработка версии взаимосогласованной системы кодов расчета защиты РУ БН на базе кодов DORT-TORT, КАСКАД и КАТРИН с разработкой сервисных программ: Аннотационный отчет. / ГНЦ РФ-ФЭИ: – Инв. №29-17/490. – Обнинск. – 2007.

10. Orsi R. BOLT3P Version 5.1: A Pre/Post-Processor System for Transport Analysis, ENEA report FIS-P9H6-014, Italy, 2006.

11. Волощенко А.М., Гуков С.В., Швецов А.В. ARVES-2.5 – комплекс программ, обслуживающих файл макроконстант в формате FMAS-M, для решения многогруппового уравнения переноса. Инструкция для пользователя. Отчет ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. – Инв. № 7-24-004. – М. – 2004.

Поступила в редакцию 21.12.2013 г.

Авторы

Тыклеева Кристина Владимировна, инженер,
ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ».

E-mail: ktikleeva@ippe.ru

Перегудов Антон Александрович, младший научный сотрудник,
ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ».

Забродская Светлана Васильевна, начальник лаборатории,
ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ», кандидат физ.-мат. наук.

Кощев Владимир Николаевич, ведущий научный сотрудник,
ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ», кандидат физ.-мат. наук.

Шпакова Светлана Евгеньевна, инженер,
ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ».

THE INFLUENCE OF IMPURITIES OF THE FIRST LOOP ON THE ACTIVITY OF SODIUM IN BN REACTORS

Tikleeva K.V., Peregudov A.A., Zabrodskaja S.V., Koscheev V.N., Shpakova S.E.

State Scientific Center of the Russian Federation – Institute for Physics and Power Engineering named after A.I. Leypunsky, Obninsk, Kaluga reg., Russia

ABSTRACT

The purpose of this work was to analyze accuracy of calculations on various programs and activity constants for activation products of bismuth, potassium and argon impurities in the primary circuit sodium coolant of a high power BN-type reactor.

Calculations were made on the basis of the codes MMKKENO, TRIGEX. 04, КАСКАД (KASKAD) and КАТРИН (KATRIN), using modern files libraries of evaluated data in 28 and 299 group representations: JEFF311, TENDL2011, JENDL4. 0 and RUSFOND and also the group constants systems БНАБ-93 (ABBN-93).

While calculating Po^{210} and Bi^{210m} , the calculation results show great difference in case activation cross-sections have different estimations according to the libraries data. This situation with constants is urgent because the current experience of dealing with radioactive substances shows that polluted open surfaces of equipment are potential sources of internal exposure. The leading role belongs to inhalation exposure as a result of radioactive substances transition from polluted surfaces in the air of workrooms. Repairing heat exchangers, pumps and other equipment, which were in operation in the primary circuit sodium, the presence of Po^{210} on the surface can cause radiation exposure of personnel.

Potassium and argon in the primary circuit sodium form gas-products Ar41 and Ar39, which enter the reactor gas reactor system and workrooms. Data analysis of cross-section for these isotopes showed that there is no great discrepancy between the results.

The results obtained on activity of radioactive isotopes mentioned above with different programs MMKKENO, TRIGEX, КАСКАД and КАТРИН are within ~ 3–11%.

Key words: influence, impurity, activity, sodium reactor, accuracy, calculations, programs, constant data.

REFERENCES

1. Voloshchenko A.M., Shvecov A.V. KASKAD-1.5 – программа для решения уравнения переноса нейтронов, фотонов и заряженного излучения в двумерных геометриях. Сbornik tezisov dokladov VII Rossijskoj nauchnoj konferencii «Zashchita ot ioniziruyushchih izluchenij yaderno-tehnicheskikh ustanovok» [KASKAD-1.5 – The program for the neutron transport equation, photons and charged radiation in two-dimensional geometries. Proceedings of the VII Russian Conference on Protection from Ionizing Radiation From Nuclear Facilities] – Obninsk, Sept.22–25, 1998. (in Russian)
2. KATRIN-2.5 – программа для решения уравнения переноса нейтронов, фотонов и заряженного излучения методом дискретных ординат в трехмерной геометрии: Отчет о НИР / ИРМ им. М.В. Келдыша РАН: Рукводитель' Voloshchenko A.M. – Inv. № 7-27-2004. – М., 2004, обновлен 2009. – Ответственный исполнитель' Voloshchenko A.M. [KATRIN-2.5 code to solve multigroup transport equations for neutrons, photons and charged particles by discrete ordinate method in 3D geometries: Research Project Report. Keldysh Institute of Applied Mathematics (Russian Academy of Sciences), no. 7-27-2004. Moscow, 2004, updated 2009]. (in Russian)

3. Blyskavka A.A., Manturov G.N., Nikolaev M.N. e.a. Programmnyj kompleks CONSYST/MMKKENO dlya rascheta yadernyh reaktorov metodom Monte-Karlo v mnogogruppovom priblizhenii s indikatrixami rasseyaniya v Rn-priblizhenii. Preprint SSC RF-IPPE – 2887. [CONSYST/MMKKENO software package for calculating nuclear reactors by Monte-Carlo method in a multi-group approximation with scattering indicatrices in P_n- approximation: IPPE Preprint-2887] – Obninsk, 2001. (in Russian)
4. Seregin A.S., Kislicina T.S., Tsibulya A.M. Annotaciya kompleksa programm TRIGEX.04: Preprint SSC RF-IPPE – 2846. [Description of the TRIGEX.04 code package: IPPE Preprint-2846] Obninsk, 2000. (in Russian)
5. Manturov G.N., Nikolaev M.N., Tsibulya A.M. Programma podgotovki konstant CONSYST. Opisaniye primeneniya: Preprint SSC RF-IPPE-2828. [CONSYST code for neutron constants preparation. Scope statement: IPPE Preprint -2828] Obninsk, 2000. (in Russian)
6. Zabrodskaya S.V. e.a. ROSFOND – rossijskaya nacional'naya biblioteka ocenyonnyh nejtronnyh dannyh. [ROSFOND Russian Evaluated Neutron Data Library.]. *Voprosy atomnoj nauki i tehniki. Ser. Yadernye konstanty*. 2007, iss. 1-2.
7. Available at: <http://www.nndc.bnl.gov/exfor/endl00.jsp>
8. Nikolaev M.N., Koscheev V.N., Zabrodskaya S.V. e.a. Biblioteka sechenij nejtronnyh reakcij v sisteme konstantnogo obespecheniya BNAB-93. [Neutron reaction cross-section library in the BNAB-93 constant system.] *Voprosy atomnoj nauki i tehniki. Ser.: Yadernye konstanty*. 1999, iss. 2.
9. Razrabotka versii vzaimosoglasovannoj sistemy kodov rascheta zashchity RU BN na baze kodov DORT-TORT, KASKAD i KATRIN s razrabotkoj servisnyh programm: Annotacionnyj otchet. [Development of a mutually consistent code system for calculation fast neutron reactor protection based on the DORT-TORT, KASKAD and KATRIN codes: Executive Summary]. SSC RF-IPPE, no. 29-17/490. Obninsk, 2007. (in Russian)
10. Orsi R. BOT3P Version 5.1: A Pre/Post-Processor System for Transport Analysis, ENEA report FIS-P9H6-014, Italy, 2006
11. Voloshchenko A.M., Gukov S.V., Shvecov A.V. ARVES-2.5 – kompleks programm, obsluzhivayushchih fajl makrokonstant v formate FMAC-M, dlya resheniya mnogogruppovogo uravneniya perenosa. Instrukciya dlya pol'zovatelya. Otchet IPM im. M.V. Keldysha RAN. [ARVES-2.5 software package maintaining the microconstant file in the FMAC-M format to solve the multi-group transport equation. User manual. Keldysh Institute of Applied Mathematics (Russian Academy of Sciences)]. no.7-24-004. Moscow, 2004. (in Russian)

Authors

Tikleeva Kristina Vladimirovna, Engineer, FSUE «SSC RF-IPPE».

E-mail: ktikleeva@ippe.ru

Peregudov Anton Aleksandrovich, Researcher, FSUE «SSC RF-IPPE».

Zabrodskaya Svetlana Vasil'evna, Head of Laboratory, FSUE «SSC RF-IPPE», Cand. Sci. (Phys.-Math.).

Koscheev Vladimir Nikolaevich, Leading Researcher, FSUE «SSC RF-IPPE», Cand. Sci. (Phys.-Math.).

Shpakova Svetlana Evgen'evna, Engineer, FSUE «SSC RF-IPPE».