

и $\alpha(f)$ для металлических труб на основе рассмотренной методики приведены в [4].

Л и т е р а т у р а

1. Alleyne D. N., Cawley P. Long range propagation of Lamb waves in chemical plant pipework // Mater. Evaluation. 1997. V. 55. P. 504—508.
2. Bingham J., Hinders M. Lamb Wave Detection of Delaminations in Large Diameter Pipe Coatings // The Open Acoustics J. 2009. No. 2. P. 75—86.
3. Demma A., Alleyne D. Inspection of pipes using Guided Waves: state of the art // Proc. 5th Pan American Conf. for NDT. 2011. P. 1—6.
4. Drachev K. A., Rimlyand V. I. Acoustic wave propagation in metal pipes // Proc. 22nd Intern. Congress on Sound and Vibration. 2015. P. 1—8.
5. ГОСТ Р 55724—2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.

6. Калинов Г. А. Автоматизированные системы контроля параметров жидкости в наблюдательных скважинах и резервуарах: Автореф. дис. на соиск. учён. степ. канд. техн. наук. Хабаровск, Тихоокеанский государственный университет, 2010.

7. Калинов Г. А., Мигунов Д. С., Римлянд В. И. Оценка влияния шумов на фазовый способ определения момента прихода акустических импульсов // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2009. № 1 (12). С. 275—282.

8. Серавин Г. Н., Микушин И. И., Лобанов В. Н. Прямые импульсные методы измерения скорости звука в жидкости // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2011. № 9 (122). С. 238—243.

9. Муравьев В. В., Зуев Л. Б., Комаров К. Л. Скорость звука и структура сталей и сплавов. Новосибирск: Наука, 1996.

10. Rimlyand V. I., Starikova V. N., Bakhantsov A. V. Dynamics of Mechanical, Acoustical and Electrical Properties of Epoxy-Amine Compositions During Cure // J. Appl. Polymer Sci. 2010. V. 117. P. 143—147.

Дата принятия: 04.04.2017.

ИЗМЕРЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

539.125.52:621.384.654

Исследование высокоинтенсивного поля промежуточных нейтронов реактора БР-К1

В. Д. СЕВАСТЬЯНОВ¹, О. И. КОВАЛЕНКО¹, Р. М. ШИБАЕВ¹,
А. С. КОШЕЛЕВ², С. В. ВОРОНЦОВ², И. Ю. ДРОЗДОВ²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, Менделеево, Россия, e-mail: sevast@vniifri.ru

² Российский Федеральный Ядерный Центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Москва, Россия

Создан новый высокоинтенсивный источник промежуточных нейтронов в центре активной зоны мощного импульсного реактора БР-К1. Измерение дифференциального энергетического спектра нейтронов в источнике выполнено нейтронно-активационным методом с применением стандартизированной вычислительной программы КАСКАД. Проведено сравнение нейтронных характеристик созданного источника нейтронов и зарубежных аналогов.

Ключевые слова: источник промежуточных нейтронов, дифференциальный энергетический спектр, источник нейтронов реактора БР-К1.

A new high-intensity source of intermediate neutrons in the center of a powerful pulsed reactor BR-K1 core was developed. The differential energy spectrum of neutrons was measured by neutron activation method using standardized CASCADE program. Neutron characteristics of the new neutron source are compared with analogous foreign sources.

Key words: source of intermediate neutrons, differential energy spectrum, neutron source of a reactor BR-K1.

В атомной науке и технике принято называть нейтроны с энергией в диапазоне от нескольких килоэлектронвольт до 0,5 МэВ нейтронами промежуточных энергий [1]. Эталонные источники нейтронов промежуточных энергий широко используются для корректировки сечений дозиметрических

ядерных реакций, градуировки по чувствительности в диапазоне промежуточных нейтронов радиометрической и дозиметрической аппаратуры [2, 3].

Были выполнены исследования созданного высокоинтенсивного источника промежуточных нейтронов в центре

горизонтальной активной зоны (АЗ) мощного быстрого импульсного реактора БР-К1(Pb) и сравнение нейтронных характеристик данного источника и зарубежных аналогов. Приведём краткие описания источников нейтронов.

Поле нейтронов $\Sigma\Sigma$ в центре сферической сборки реактора BR-1 (Бельгия). Сборка $\Sigma\Sigma$ со слоями урана, карбида бора и алюминия размещена во внутренней сферической полости диаметром 1000 мм тепловой колонны реактора. Внешний диаметр сборки 245 мм. Диаметр внутренней полости, в которой функционирует поле промежуточных

нейтронов, 110 мм. Поле нейтронов во внутренней полости $\Sigma\Sigma$ индуцируется тепловыми нейтронами тепловой колонны. Внешняя сферическая полая оболочка из природного урана сборки $\Sigma\Sigma$ имеет толщину 50 мм. Металлическая оболочка из природного урана состоит из слоёв урана ^{238}U толщиной $(94,6 \pm 0,2) \text{ г/см}^2$ и ^{235}U толщиной $0,69 \text{ г/см}^2$. Карбид бора содержит следующие слои толщину: ^{10}B $(0,323 \pm 0,7) \text{ г/см}^2$, ^{11}B $1,437 \text{ г/см}^2$, C $0,488 \text{ г/см}^2$, Al $0,542 \text{ г/см}^2$.

Поле нейтронов CFRMF (США). Критическая сборка с разделённой АЗ. Зона с быстрыми нейтронами из обогащённого урана находится в центре тепловой колонны с водяным замедлителем, которая является «возбудителем» нейтронного поля в рабочей области поля. Изнутри сборка имеет кольца из урана (обогащение 10 % по изотопу ^{235}U) и бора ^{10}B . Сборка располагается в центре куба из ^{238}U . Диаметр рабочей области поля нейтронов составляет 37,5 мм.

Поле нейтронов критической сборки ISNF (США). Сборка размещается в центре сферической полости графитовой колонны размером $1,4 \times 1,3 \times 0,94 \text{ м}^3$ реактора NBS. Внутренний диаметр этой полости 300 мм. Внутри полости в центре располагается сферическая оболочка из обогащённого бора (обогащение 85 % по изотопу ^{10}B) толщиной $1,26 \text{ г/см}^2$, внешним диаметром 142,6 мм. Вблизи внутренней сферической полости из графита симметрично установлены восемь дисков из обогащённого урана (обогащение 99,5 % по изотопу ^{235}U). Быстрые нейтроны деления в дисках из урана генерируются замедлившимися в тепловой колонне реактора нейтронами. Диаметр и толщина дисков 16 и 0,15 мм, соответственно. Рабочая область поля имеет вид сферы диаметром 50 мм.

Поле нейтронов в центре горизонтальной АЗ реактора БР-К1. Поле нейтронов в центральном канале (внутренний диаметр 310 мм, длина 360 мм) АЗ реактора находится на уровне её центра [4]. Активная зона выполнена из уран-молибденового сплава с содержанием молибдена 9 % масс. Обогащение урана составляет 36 % по изотопу ^{235}U . Массы в активной зоне реактора урана ^{235}U и уран-молибденового сплава со-

ставляют 500 и 1511 кг. В процессе работы реактора нейтроны промежуточных энергий в центральном канале реактора индуцируются преимущественно в результате неупругого рассеяния быстрых нейтронов деления на ядрах урана и молибдена (материалов АЗ).

Исследуемое поле промежуточных нейтронов БР-К1 со свинцовым фильтром. Поле располагается внутри полого цилиндра из свинца (внешний диаметр 310 мм, толщина стенки 50 мм), размещённого в центральном канале на уровне центра АЗ реактора. Диаметр рабочей полости 210 мм. В

Таблица 1

Нормированные значения количества Q_a^i дозиметрических ядерных реакций в активационных детекторах, облучённых в полях промежуточных нейтронов ядерных установок

Ядерная реакция	Наименование поля нейтронов				
	$\Sigma\Sigma$ на реакторе BR-1 (Бельгия)	Сборка CFRMF (США)	Сборка ISNF (США)	Центр АЗ реактора БР-К1	Центр АЗ реактора БР-К1 со свинцовым фильтром
$^{235}\text{U} (n, f)$	$6,95 \cdot 10^{-10}$	$1,48 \cdot 10^{-8}$	$2,15 \cdot 10^{-10}$	$6,12 \cdot 10^{-10}$	$4,31 \cdot 10^{-10}$
$^{235}\text{U} (n, f)$ в кадмии	—	—	—	$6,12 \cdot 10^{-10}$	—
$^{239}\text{Pu} (n, f)$	$8,76 \cdot 10^{-10}$	$1,79 \cdot 10^{-8}$	$2,73 \cdot 10^{-10}$	$7,90 \cdot 10^{-10}$	—
$^{239}\text{Pu} (n, f)$ в кадмии	—	—	—	$7,90 \cdot 10^{-10}$	—
$^{239}\text{Pu} (n, f)$ в боре $0,58 \text{ г/см}^2$	—	—	—	—	$4,85 \cdot 10^{-10}$
$^{241}\text{Am} (n, f)$	$2,54 \cdot 10^{-10}$	$4,92 \cdot 10^{-9}$	$1,11 \cdot 10^{-10}$	—	—
$^{237}\text{Np} (n, f)$	$2,88 \cdot 10^{-10}$	$5,42 \cdot 10^{-9}$	$1,07 \cdot 10^{-10}$	$2,57 \cdot 10^{-10}$	$1,91 \cdot 10^{-10}$
$^{238}\text{U} (n, f)$	$3,80 \cdot 10^{-11}$	$7,60 \cdot 10^{-10}$	$1,82 \cdot 10^{-11}$	$3,58 \cdot 10^{-11}$	$2,00 \cdot 10^{-11}$
$^{115}\text{In} (n, n')$	$2,55 \cdot 10^{-11}$	$5,15 \cdot 10^{-10}$	$1,20 \cdot 10^{-11}$	$2,47 \cdot 10^{-11}$	$1,48 \cdot 10^{-11}$
$^{58}\text{Ni} (n, p)$	$1,18 \cdot 10^{-11}$	$2,40 \cdot 10^{-10}$	$5,65 \cdot 10^{-12}$	$1,16 \cdot 10^{-11}$	$5,43 \cdot 10^{-12}$
$^{54}\text{Fe} (n, p)$	—	—	$4,11 \cdot 10^{-12}$	—	—
$^{27}\text{Al} (n, p)$	$4,35 \cdot 10^{-13}$	$9,42 \cdot 10^{-12}$	$1,87 \cdot 10^{-13}$	—	—
$^{24}\text{Mg} (n, p)$	$1,65 \cdot 10^{-13}$	$3,78 \cdot 10^{-12}$	$6,40 \cdot 10^{-14}$	—	$6,19 \cdot 10^{-14}$
$^{27}\text{Al} (n, \alpha)$	$7,69 \cdot 10^{-14}$	$1,76 \cdot 10^{-12}$	$2,90 \cdot 10^{-14}$	$7,04 \cdot 10^{-14}$	$3,10 \cdot 10^{-14}$
$^{197}\text{Au} (n, \gamma)$	$1,62 \cdot 10^{-10}$	$4,02 \cdot 10^{-9}$	$6,04 \cdot 10^{-11}$	—	—
$^{197}\text{Au} (n, \gamma)$ в кадмии	—	—	—	—	$7,24 \cdot 10^{-11}$
$^{93}\text{Nb} (n, 2n)$	$4,62 \cdot 10^{-14}$	$2,10 \cdot 10^{-12}$	$1,60 \cdot 10^{-14}$	$4,36 \cdot 10^{-14}$	$1,93 \cdot 10^{-14}$
$^{19}\text{F} (n, 2n)$	—	—	—	$7,65 \cdot 10^{-16}$	$3,57 \cdot 10^{-16}$
$^{32}\text{S} (n, p)$	$7,30 \cdot 10^{-12}$	$1,53 \cdot 10^{-10}$	$3,45 \cdot 10^{-12}$	$7,10 \cdot 10^{-12}$	$3,21 \cdot 10^{-12}$
$^{103}\text{Rh} (n, n')$	$1,37 \cdot 10^{-10}$	$2,67 \cdot 10^{-9}$	$5,51 \cdot 10^{-11}$	$1,27 \cdot 10^{-10}$	$8,70 \cdot 10^{-11}$
$^{199}\text{Hg} (n, n')$	—	$6,00 \cdot 10^{-10}$	—	—	—

процессе работы реактора БР-К1 нейтроны промежуточных энергий в центральном канале реактора индуцируются преимущественно в результате неупругого рассеяния быстрых нейтронов деления ^{235}U не только на ядрах урана и мо-

либдена (материалов АЗ), но и на ядрах свинцового цилиндра.

Измерение спектра нейтронов в изучаемых полях реактора БР-К1 проводили нейтронно-активационным методом

Т а б л и ц а 2

Обобщённые результаты восстановления спектров нейтронов в исследуемых полях промежуточных нейтронов на ядерных установках

Наименование поля	Метод восстановления	$F(E)$, см ⁻²	$E_{\text{ср}}$, МэВ	СКО, %	Q	Константы парциальных спектров (вклад в результирующий спектр, %)		
						деления $\alpha_F^i (A_F^i)$	Вайскопфа $\alpha_{\text{В}} (A_{\text{В}})$	Ферми $\alpha_{\text{Ф}} (A_{\text{Ф}})$
ΣΣ на реакторе BR-1 (Бельгия)	«А»	$4,66 \cdot 10^{14}$	0,775	1,45	13	0,798 (27,20)	5,00 (68,12)	1,00 (4,68)
	«Б»	$4,586 \cdot 10^{14}$	794	1,74	13	—	0,8 (8,02); 1,00 (13,5); 1,33 (0,04); 2,0 (0,07); 4,0 (46,36); 8,0 (28,12)	1,00 (4,68)
Сборка CFRMF (США)	«А»	$7,98 \cdot 10^{15}$	0,886	2,06	13	0,780 (32,00)	5,0 (67,80)	1,00 (0,200)
	«Б»	$8,407 \cdot 10^{16}$	0,835	2,17	13	—	0,8 (13,14); 1,0 (6,42); 1,333 (4,46); 2,0 (6,83); 4,0 (28,07); 8,0 (40,89)	1,00 (0,190)
Сборка ISNF (США)	«А»	$1,366 \cdot 10^{14}$	1,028	1,95	15	0,850 (48,56)	5,00 (36,07)	1,06 (15,37)
	«Б»	$9,263 \cdot 10^{15}$	0,765	1,58	14	—	0,8 (6,97); 1,0 (28,59); 1,333 (1,55); 2,0 (2,47); 4,0 (37,08); 8,0 (8,06)	1,06 (15,27)
Центр АЗ реактора БР-К1 (РФ)	«А»	$4,496 \cdot 10^{14}$	0,764	1,68	13	0,803 (27,49)	4,5 (41,20); 15 (31,40)	—
	«Б»	$4,515 \cdot 10^{14}$	0,742	1,78	13	—	0,4 (0,173); 0,8 (6,27); 1,0 (16,45); 4,5 (49,02); 15 (28,33)	—
Центр АЗ реактора БР-К1 с фильтром из свинца (РФ)	«А»	$2,991 \cdot 10^{14}$	0,636	1,21	12	0,805 (6,27)	0,69 (0,897); 0,97 (9,01); 5,0 (32,20); 3,2 (40,76); 64 (6,32); 128 (4,62)	—
	«Б»	$2,987 \cdot 10^{14}$	0,636	2,00	12	—	0,4 (0,184); 0,8 (3,927); 1,0 (11,38); 3,2 (41,01); 5,0 (32,72); 64 (5,52); 128 (4,66)	—

с применением активационных и делительных детекторов [5, 6]. При измерении наведённой активности в детекторах, облучённых нейтронами в полях промежуточных нейтронов (ППН), использовали эталонные радиометрические установки ВНИИЭФ и ВНИИФТРИ [7, 8]. Исходными измеряемыми величинами для определения энергетического спектра нейтронов в полях промежуточных нейтронов на указанных установках являются количества дозиметрических ядерных реакций в активационных Q_a^i и делительных детекторах Q_F^i .

Измеренные значения Q_a^i в активационных детекторах, облучённых в ППН ядерных установок, нормированные на количество делений в АЗ реакторов (10^{17}) и одно ядро нуклида-мишени в детекторах, приведены в табл. 1. Измерение этих величин в ППН на реакторе БР-К1 проводили специалисты ВНИИФТРИ и РЯЦ-ВНИИЭФ и ведущие специалисты зарубежных ядерных центров, где функционируют остальные рассматриваемые установки — источники ППН.

Расчёт количества ядерных реакций активации и деления в детекторах после их облучения нейтронами выполняли по формулам для активационных и делительных детекторов, соответственно:

$$Q_a^i = A_t^i t_0 \left[N_{\text{я}}^i \left(1 - e^{-\lambda^i t_0} \right) \right]^{-1} e^{\lambda^i t_0^i}; \quad Q_F^i = N_F^i \left(\varepsilon_F N_{\text{я}}^i \right)^{-1},$$

где A_t^i — активность i -го детектора на момент измерения; t_0^i — эффективное время облучения i -го детектора нейтронами; $N_{\text{я}}^i, \lambda^i$ — число ядер нуклида мишени и константа распада для продукта активации в i -м детекторе; t_0^i — время выдержки детектора с момента окончания его облучения нейтронами до момента измерения его активности; N_F^i — число зарегистрированных актов деления в i -м делительном детекторе за время его облучения нейтронами; ε_F — чувствительность регистрации актов деления в делительном детекторе.

Чувствительность ε_F вычисляли по формуле [9, 10]:

$$\varepsilon_F = \varepsilon_0 [1 - T/(2R)],$$

где ε_0 — чувствительность регистрации актов деления для системы «делящийся детектор — регистратор осколков деления из слюды-мусковит»; $\varepsilon_F = 0,915 \pm 0,005$; T — толщина слоя делящегося вещества в делительном детекторе (не более $0,5 \text{ мг/см}^2$); R — средний пробег осколков деления в слое делящегося вещества (в виде окиси или закиси) детектора (около 10 мг/см^2).

Восстановление спектра нейтронов всех изучаемых полей нейтронов проводили одним методом с применением программы КАСКАД [11]. Априорный спектр при восстановлении спектров в исследуемых полях формировали в виде суперпозиции парциальных, физически обоснованных спектров нейтронов: деления ядер F , испарительных Вайскопфа B , Максвелловских M тепловых нейтронов, замедления Фер-

ми Φ [11, 12]. Спектр единичного флюенса нейтронов $F(E)$ находили в виде

$$F(E) = \sum_{i=0}^k A_{Fi} 2\alpha_{Fi}^{3/2} \pi^{-1/2} E^{1/2} e^{-\alpha_{Fi} E} + \sum_{i=0}^k A_{Bi} \alpha_{Bi}^2 E e^{-\alpha_{Bi} E} + A_M \alpha_M^2 E e^{-\alpha_M E} + A_{\Phi} (E^{\alpha_{\Phi}})^{-1} \left[1 + (10^{-7}/E)^7 \right]^{-1} \left[1 + (E/0,2)^2 \right]^{-1},$$

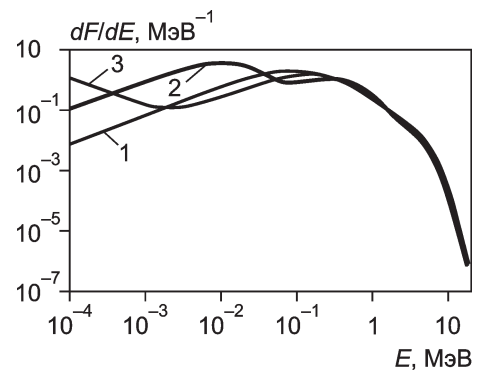
где E — энергия нейтронов; $\alpha_{Fi}, \alpha_{Bi}, \alpha_M, \alpha_{\Phi}$ — константы указанных выше парциальных спектров; $A_{Fi}, A_{Bi}, A_M, A_{\Phi}$ — масштабные коэффициенты, подбираемые из условия

$$\int_0^{\infty} \varphi(E) dE = 1.$$

Корректность восстановления спектра в исследуемых полях нейтронов по программе КАСКАД оценивали путём сравнения измеренных и расчётных интегральных сечений ядерных реакций в детекторах при их облучении нейтронами. Измеренные сечения σ_i , усреднённые по восстановленному спектру нейтронов, определяются как $\sigma_i = Q_i/F$, где Q_i — количество дозиметрических ядерных реакций в i -м активационном детекторе [13]; F — флюенс нейтронов, которым облучён активационный детектор. При расчёте сечений использовали восстановленный спектр нейтронов и дифференциальные сечения ядерных реакций, хранящихся в библиотеке программы КАСКАД [14, 15].

В табл. 2 приведены обобщённые результаты восстановления спектров нейтронов исследуемых ППН. Малые (не более 2,1%) значения среднего квадратического отклонения (СКО) всей совокупности Q дозиметрических ядерных реакций, применяемых при восстановлении каждого спектра нейтронов, свидетельствуют о высокой достоверности их восстановления (выделены полужирным шрифтом).

Каждый спектр нейтронов восстанавливался методами «А» и «Б». В случае применения метода «А» в формировании априорного спектра нейтронов обязательно участвовал парциальный спектр нейтронов деления ядер ^{235}U с целью определения вклада быстрых нейтронов деления ядер ^{235}U в результирующий спектр нейтронов промежуточных энергий. Этот вклад максимален для сборки-аналога ISNF (48,56 %) и минимален для изучаемого источника промежуточных нейтронов БР-К1 со свинцовым фильтром на реакторе БР-К1 (6,27 %). Для сборки ISNF в результирующий спектр нейтронов большой вклад вносят эпитепловые нейтроны (15,37 %), что усложняет применение этого источника для исследовательских целей (см. табл. 2). В результирующем спектре нейтронов ис-



Дифференциальные энергетические спектры исследуемых полей нейтронов для источников БР-К1 со свинцовым фильтром (1), БР-К1 (2), $\Sigma\Sigma$ (3)

точника БР-К1 со свинцовым фильтром отсутствуют эпитепловые нейтроны, так как замедление нейтронов осуществляется только в результате неупругого рассеяния нейтронов деления ^{235}U преимущественно на ядрах урана и молибдена.

На рисунке приведены для сравнения гистограммы дифференциальных энергетических спектров ППН лучшего зарубежного аналога $\Sigma\Sigma$ и источника БР-К1(Pb) реактора БР-К1. Благодаря применению в конструкции источника БР-К1(Pb) дополнительного замедлителя из свинца результирующий энергетический спектр нейтронов существенно сдвинулся в сторону меньших значений энергии по сравнению со спектром поля БР-К1. Этот сдвиг мог бы быть и больше, если бы дополнительный замедлитель был изготовлен из обеднённого урана, имеющего существенно большую плотность.

Заключение. Выполненные исследования позволили получить следующие основные результаты. Впервые в мировой практике нейтронных измерений сформированы:

спектр промежуточных нейтронов без вклада в результирующий спектр эпитепловых фермиевских нейтронов;

спектр промежуточных нейтронов в поле БР-К1(Pb) с рекордным минимальным вкладом быстрых нейтронов вынужденного деления ^{235}U (около 4%);

спектр промежуточных нейтронов, генерируемых преимущественно только в результате неупругого рассеяния быстрых нейтронов деления на ядрах тяжёлых элементов урана и свинца и без использования таких замедляющих веществ, как водород и углерод, в которых в основном происходит упругое рассеяние нейтронов.

Создано высокоинтенсивное поле промежуточных нейтронов БР-К1(Pb), расположенное в центральном канале большого объёма реактора БР-К1.

Л и т е р а т у р а

1. **Физический энциклопедический словарь** / Гл. ред. А. М. Прохоров. М.: Советская энциклопедия, 1984.
2. **Севастьянов В. Д., Волков А. Е., Петрунин Н. В., Шикалов В. Д., Миттельман М. Г., Воинов А. М., Кувшинов М. И., Кошелев А. С., Маслов Г. Н.** Высокоинтенсивные поля нейтронов для градуировки детекторов штатной аппаратуры мощных ядерных реакторов // Приборы и техника эксперимента. 2003. № 6. С. 13—22.
3. **Grundl J., Eisenhauer C.** Benchmark Neutron Fields for reactor Dosimetry. IAEA-208: Neutron cross sections for Reactor Dosimetry // Intern. atomic energy, VIENNA, 1978. V. I. P. 53.
4. **Колесов В. Ф.** Аperiodические импульсные реакторы: Монография в 2-х т. Т. 1. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2007. С. 85.
5. **Борисов Г. А., Севастьянов В. Д., Вершинин В. Г., Игнатов И. И., Маслов Г. Н.** Прецизионные измерения с делящимися детекторами нейтронов в реакторе БИР-2 // Тез. докл. V Всесоюзн. совещ. по метрологии нейтронного излучения на реакторах и ускорителях. М.: ВНИИФТРИ, 1990. С. 131—133.

6. **Галиев Н. Б., Григорьев Е. И., Севастьянов В. Д., Ярына В. П.** Комплекс нейтронно-активационных средств измерения для ядерно-физических установок. Методы и аппаратура для точных измерений параметров ионизирующих излучений // Труды ВНИИФТРИ. 1978. Вып. 36 (66) С. 44—49.

7. **Кошелев А. С., Одинцов Ю. М., Маслов Г. Н., Севастьянов В. Д.** Источник тепловых нейтронов для калибровки детекторов «нулевой» толщины // Приборы и техника эксперимента. 1999. № 3. С. 19—26.

8. **Севастьянов В. Д., Коваленко О. И., Зеленов Д. А., Орлов А. В.** Радиометрический комплекс с гамма-спектрометрами для измерения характеристик полей нейтронов ядерно-физических установок // Измерительная техника. 2013. № 3. С. 44—50.

9. **Александров Б. М., Жерехов В. Г., Ламаев С. Л., Николаев В. А., Соловьёв С. М., Солошенко П. С., Севастьянов В. Д.** Эффективность регистрации осколков деления твердотельными трековыми детекторами на основе слюды // Атомная энергия. 1980. Вып. 4. Т. 48. С. 252—253.

10. **White P. H.** Alpha and fission counting of thin foils of fissile material // Nucl. Instrum. and Methods. 1970. V. 79. No. 1. P. 1—12.

11. **Севастьянов В. Д.** Представление спектра нейтронов деления ядер ^{235}U , ^{239}Pu , ^{252}Cf и реакторного спектра в виде суперпозиции из пяти функций неупругого рассеяния // Атомная энергия. 2000. Вып. 4. Т. 88. С. 292—298.

12. **Маслов Г. Н., Севастьянов В. Д., Кошелев А. С.** Метод расчёта спектров нейтронов по результатам измерений с интегральными детекторами, реализованный в новой версии программы КАСКАД // Измерительная техника. 2003. № 5. С. 58—62.

13. **Метрология** нейтронных измерений на ядерно-физических установках (Рекомендуемые справочные данные и методики измерений) / Под ред. Р. Д. Васильева // Материалы I Всесоюзной школы. 1976. Т. 2. С. 157.

14. **Севастьянов В. Д., Кошелев А. С., Маслов Г. Н.** Высокоинтенсивные поля нейтронов в центре металлической активной зоны быстрых реакторов как первичные стандартные поля нейтронов // Приборы и техника эксперимента. 2003. № 4. С. 5—19.

15. **Севастьянов В. Д., Кошелев А. С., Маслов Г. Н.** Характеристики полей нейтронов. Источники мгновенных нейтронов деления и 14 МэВ — генераторы нейтронов, исследовательские и энергетические реакторы, специальные конвертирующие нейтронное излучение устройства. Справочник в 2-х томах. Менделеево: Изд-во ФГУП ВНИИФТРИ, 2014.

Дата принятия: 20.10.2016.