

P16-93-37

А.И.Абросимов<sup>1</sup>, В.Е.Алейников, А.Г.Алексеев<sup>1</sup>,  
А.В.Антипов<sup>1</sup>, В.П.Бамблевский, Е.А.Белогорлов<sup>1</sup>,  
Г.И.Бритвич<sup>1</sup>, М.Зельчинский<sup>2</sup>, А.Г.Крылов,  
С.И.Купцов<sup>1</sup>, В.Д.Майоров<sup>1</sup>, Ю.В.Мокров,  
А.В.Санников<sup>1</sup>, Б.Снопек<sup>2</sup>, Г.Н.Тимошенко,  
С.А.Харлампиев<sup>1</sup>, А.А.Чумаков<sup>1</sup>

ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК  
ОПОРНЫХ ПОЛЕЙ НЕЙТРОНОВ ОИЯИ

---

<sup>1</sup>Институт физики высоких энергий, Протвино

<sup>2</sup>Институт атомной энергии, Свек, Республика Польша

## 1. ВВЕДЕНИЕ

На современных ядерно-физических установках спектры нейтронов вторичного излучения варьируются в широком диапазоне энергий [1]. Приборы и методики радиационного контроля нейтронов не обладают функциями чувствительности, перекрывающими весь возможный диапазон энергий нейтронов. Их градуировка осуществляется в относительно узкой области энергий, определяемой спектральными распределениями нейтронов изотопных источников  $^{239}\text{Pu}$ - $^9\text{Be}$ ,  $^{252}\text{Cf}$ ,  $^{210}\text{Po}$ - $^9\text{Be}$ . В реальных полях за защитами ядерно-физических установок может содержаться значительная примесь других компонентов ( $\gamma$ -квантов, заряженных частиц). Указанные выше причины приводят к тому, что используемые методики градуировки дозиметров нейтронов не могут обеспечить необходимой точности измерений дозы в полях, спектральный и компонентный состав которых заметно отличаются от полей изотопных источников.

В последние годы для решения этой проблемы стали использовать при градуировке наборы опорных полей нейтронов, имеющих значительно более широкий энергетический диапазон [2 - 6]. Под опорным полем (ОП) подразумевается выделенная в пространстве (условно или физически) и исследованная область поля ионизирующих излучений с известными метрологическими характеристиками в совокупности со средствами мониторинга.

Целью работы являлось исследование характеристик ОП Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) методами радиационного мониторинга, используемыми в ОИЯИ, Институте физики высоких энергий (ИФВЭ) и Институте атомной энергии (ИАЭ, Свερк)<sup>1</sup> и сравнение результатов измерений плотностей нейтронов и мощностей амбиентных эквивалентных доз нейтронов и фотонов в этих полях. Работа проводилась по программе координационного Совета МАЭП РФ по метрологии и радиационным измерениям в области высокоэнергетического ионизирующего излучения.

---

<sup>1</sup>Работа частично финансировалась МАГАТЭ, контракт No 6353/RB.

## 2. ОПОРНЫЕ ПОЛЯ ОИЯИ

Набор ОП, созданный в ОИЯИ [6], перекрывает по энергии практически весь диапазон реальных полей нейтронов на ядерно-физических установках Института и включает в себя:

1. Мягкое опорное поле на базе фазотрона на энергию 660 МэВ;
2. Два опорных поля на основе источника  $^{252}\text{Cf}$  в полиэтиленовых замедлителях диаметрами 12,7 и 29,2 см;
3. Жесткое опорное поле на базе фазотрона на энергию 660 МэВ.

Мягкое ОП создается в лабиринте цокольного этажа фазотрона многократно рассеянными нейтронами. Источником нейтронов служит вторичное излучение из камеры ускорителя и мишенной станции, внутри которой выведенным пучком протонов облучается толстая бериллиевая мишень. ОП отделено от ускорителя боковой и потолочной защитой из бетона толщиной 2 м и 1 м соответственно. Многократно рассеянные в зале ускорителя нейтроны попадают в ОП через два проема в защите. Временная растяжка пучка и замедление нейтронов в процессе рассеяния приводят к тому, что поле является практически стационарным.

Следующая группа ОП создана на основе образцового источника нейтронов  $^{252}\text{Cf}$  в полиэтиленовых замедлителях диаметрами 12,7 см и 29,2 см. Поля образуются на расстоянии 1 м от источника с учетом вклада рассеянных в помещении нейтронов.

Жесткое ОП формируется нейтронами утечки из сплошной бетонной защиты фазотрона толщиной 2 м. На защиту падает прямое излучение из камеры ускорителя и мишенной станции. Поле содержит значительную долю нейтронов с энергией более 20 МэВ, примесь заряженных частиц и обладает аременной структурой.

Характеристики ОП и системы мониторингования описаны в работе [6]. Мониторы обеспечивают эффективный контроль как за абсолютными значениями, так и за стабильностью воспроизведения спектрального состава мягкого и жесткого ОП. Поля на основе  $^{252}\text{Cf}$  специального мониторингования не требуют.

В 1991 г. в мягком ОП и в полях на основе  $^{252}\text{Cf}$  с потоком  $(3,1 \pm 0,2) \cdot 10^7$  н·с<sup>-1</sup> на 05.02.91 года было проведено сличение используемых в ОИЯИ, ИФЗЭ (Россия) и ИАЭ (Польша) методов и средств измерений физических и дозиметрических характеристик полей нейтронов.

### 3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

В состав сравниваемых средств измерений (СИ) вошли как приборы на основе тканезквивалентных детекторов излучений, позволяющих непосредственно определять эквивалентную дозу смешанного излучения независимо от состава и энергетического спектра, так и приборы косвенного определения эквивалентной дозы.

Используемый в ОИЯИ многошаровой спектрометр (МС) имеет детектор  ${}^6\text{LiJ}(\text{Eu})$  размером  $\varnothing 4 \times 4 \text{ мм}^3$ , сочлененный со световодом из оргстекла  $\varnothing 14,5 \times 156 \text{ мм}^3$ . При измерениях спектров используется набор сферических полиэтиленовых замедлителей диаметрами 2, 3, 5, 10, 12 дюймов, а также показания "голого" детектора с кадмиевым чехлом толщиной 0,55 мм и без него. Восстановление спектров производится методом статистической регуляризации по программе SBFDS [7] на основе функций чувствительности [8]. Для уменьшения погрешностей при численном интегрировании спектры восстанавливаются в единицах летаргии с логарифмически равномерным разбиением по энергии.

Используемый в ИФВЭ МС состоит из детектора  ${}^6\text{LiJ}(\text{Eu}) \varnothing 10 \times 10 \text{ мм}^3$  [9]. При измерениях спектров используется набор сферических полиэтиленовых замедлителей диаметрами 2, 3, 5, 8, 10, 12 дюймов с кадмиевым покрытием толщиной 1 мм. Восстановление спектров производится по программе PENS [10] с использованием функций чувствительности [11]. Нормировка функций чувствительности выполнялась для МС ОИЯИ с помощью  ${}^{239}\text{Pu}$ -,  ${}^9\text{Be}$  и  ${}^{252}\text{Cf}$  источников с погрешностями потоков нейтронов 7% и 6% соответственно.

Значения амбиентной эквивалентной дозы нейтронов  $H^*(10)$  определялись двумя способами: вычислениями с использованием измеренных МС спектров нейтронов и с помощью аппроксимаций зависимости удельной амбиентной дозы  $h^*(10)$  от энергии нейтронов линейной комбинацией функций чувствительности МС с различными замедлителями [5,12]. В качестве зависимости  $h^*(10)$  от энергии нейтронов использовались данные, приведенные в рекомендации 51 Международной комиссии по радиационной защите [13]. При этом предполагалось, что поля нейтронов являются плоскими, мононаправленными.

Для оценки доли высокоэнергетичного нейтронного компонента (энергии более 20 МэВ) использовались углеродсодержащие активационные детекторы, активность которых измерялась с помощью однокристалльных  $\gamma$ -спектрометров.

ЛПЭ-спектрометр ИФВЭ (СЛПЭ-03) состоит из сферического тканезквивалентного пропорционального счетчика (ТЭПС) низкого давления. Диаметр чувствительной области детектора равен 10,8 см. Газовое наполнение — метан, давление которого соответствует 2 мм мягкой биологической

ткани. Процедура измерения включает одновременно регистрацию спектра событий с помощью многоканального амплитудного анализатора и измерения величин тока (заряда), собранного с анода счетчика в режиме полного соби- рания ионов с помощью электрометрического преобразователя. Градуировка ТЭПС осуществляется встроенным  $\alpha$  - источником. Основная погрешность измерения эквивалентной и поглощенной дозы нейтронов и фотонов не пре- ышает 15%. Методика позволяет измерять эквивалентную и поглощенную дозы быстрых нейтронов (для событий с величиной линейной энергии  $y \geq 6$  кэВ·мкм<sup>-1</sup>) и фотонов. Характеристики детектора и энергетическая зависи- мость чувствительности к нейтронам в диапазоне энергий от 10<sup>-3</sup> до 10<sup>3</sup> МэВ приведены в работах [14 – 16]. Характерной особенностью ТЭПС является занижение показаний в полях нейтронов со средней энергией менее 0,8 МэВ.

Аналоговый компонентный бэрметр АКБ-01 ИФВЭ [14] предназначен для измерения эквивалентной дозы смешанного излучения, а также отдельных его компонентов. Бэрметр состоит из трех ионизационных камер: аргоновой, тканэквавалентной и <sup>3</sup>He - камеры в замедлителе. Принцип работы АКБ- 01 состоит в последовательном измерении ионизационного заряда каждой ка- меры и определении вкладов отдельных компонентов излучения в дозу как линейной комбинации измеренных ионизационных зарядов. Основная погреш- ность измерения эквивалентной и поглощенной доз нейтронов и фотонов не превышает 15%.

Рекомбинационная камера REM-2 ИАЭ [17,18] представляет собой дво- енную тканэквавалентную ионизационную камеру, наполненную тканэкви- валентным газом под давлением 1 МПа. Одна камера работает в режиме практически полного собиранья ионов (насыщения), вторая — в режиме ко- лонной рекомбинации ионов. Состав излучения, а также нижний и верхний пределы энергетического диапазона не ограничены, однако при этом следует иметь в виду, что доза излучения измеряется на глубине, соответствующей примерно 2 г·см<sup>-2</sup> биологической ткани, т.е. измеряемая эквивалентная доза отличается от  $H^*(10)$ . Основная погрешность измерения эквивалентной и поглощенной доз нейтронов и фотонов составляет около 15%.

Пассивный дозиметр-спектрометр нейтронов (ПДСН) ИФВЭ представляет собой комплект делящихся мишеней из <sup>235</sup>U в кадмиевом и борном (толщиной 0,36 г·см<sup>-2</sup> <sup>10</sup>B) фильтрах, <sup>237</sup>Np, <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th и <sup>209</sup>Bi. Размеры кадмиевых и борных фильтров составляют  $\varnothing 22 \times 5$  мм и  $\varnothing 30 \times 15$  мм, соответственно. Делящиеся мишени массой 1 ÷ 2 мг и площадью 1 см<sup>2</sup>, нанесенные на алю- миниевые подложки диаметром 19 мм, размещаются в кадмиевых и борных фильтрах в контакте с лавсановыми трековыми детекторами толщиной 6 мкм. После экспозиции лавсановые детекторы подвергаются химическому травле- нию в течение 1 часа при 60° С в растворе КОН. Счет треков осколков деления проводится с помощью искрового счетчика. Восстановление спектра

нейтронов и определение флюенса и амбиентной эквивалентной дозы нейтронов по показаниям ПДСН осуществляется по программе UNFOLD [19], реализующей метод параметризации нейтронных спектров. Подробно методика и основные характеристики ПДСН описаны в работах [19,20].

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения характеристик мягкого ОП проводились при мониторинговании изменений во времени плотности потока нейтронов. В качестве мониторов использовались два сцинтилляционных датчика с детекторами  ${}^6\text{LiJ}(\text{Eu})$  и шаровыми полиэтиленовыми замедлителями диаметрами 5 и 10 дюймов, а также датчик нейтронного канала автоматизированной системы радиационного контроля на ускорителе. Отношение показаний мониторов с замедлителями 5 и 10 дюймов в ходе измерений сохранялось с погрешностью 0,2%, что дает основание считать постоянным энергетическое распределение флюенса нейтронов при изменениях величины тока ускорителя. Показания приборов приводились к 1 отсчету монитормного счетчика с диаметром замедлителя 5 дюймов, соответствующего току выведенного пучка протонов примерно 1,6 нА (реально интенсивность пучка может составлять несколько мкА).

Результаты всех измерений в ОП на основе  ${}^{252}\text{Cf}$  приводились к потоку источника на 05.02.92 г.

На рис.1 - 3 приведены спектры нейтронов, измеренные МС ОИЯИ. На рис.2 также приведен, для сравнения, спектр нейтронов из работы [21]. Спектр нейтронов, представленный на рис.4, измерен с помощью методики ПДСН ИФВЭ. Результаты измерений основных характеристик ОП приведены в таблицах 1 - 3. В таблицах 1 и 2 значения плотностей потоков и мощностей эквивалентных доз нейтронов, полученные на основе спектров, восстановленных по показаниям МС, приведены в графах "МС (спектр)", а аналогичные значения, определенные с помощью аппроксимации  $h^*(10)$  линейными комбинациями функций чувствительности МС, приведены в графах "МС (аппроксимация)". На рис.5 приведены спектры линейных энергий (в относительных единицах) вторичных заряженных частиц, измеренные ЛПЭ-спектрометром ИФВЭ в опорных полях нейтронов. События со значениями линейной энергии, большими  $6 \text{ кэВ}\cdot\text{мкм}^{-1}$ , обусловлены нейтронами, с меньшими значениями — фотонами.

Плотность потока тепловых нейтронов в МОП, полученная на основе спектра МС ОИЯИ, составляет  $38 \text{ н}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{имп}^{-1}$ , а измерения активации золота в этом поле дают оценку плотности потока тепловых нейтронов  $29 \pm 4 \text{ н}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{имп}^{-1}$ . Аналогично, значение плотности потока нейтронов с энергией более 0,5 эВ по спектру МС ОИЯИ в МОП равно  $36,6 \pm 1,7 \text{ н}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{имп}^{-1}$ , а по спектру ПДСН —  $41,8 \pm 5,2 \text{ н}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{имп}^{-1}$ .

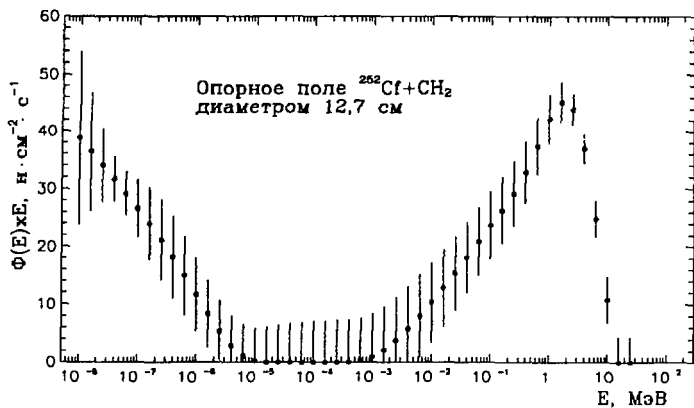


Рис.1. Спектр нейтронов в опорном поле  $^{252}\text{Cf}$  в полиэтиленовом замедлителе диаметром 12,7 см, измеренный МС ОИЯИ.

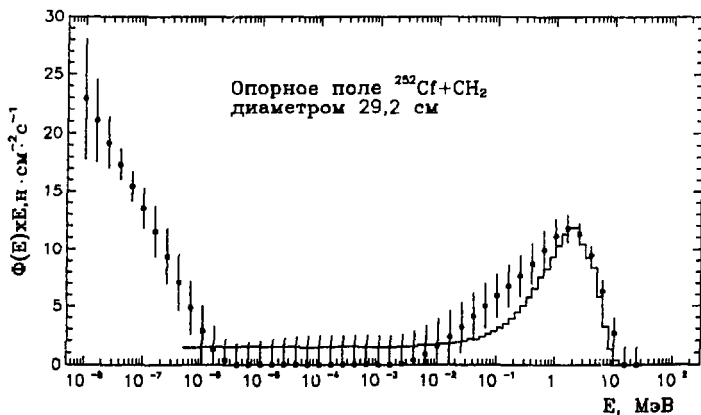


Рис.2. Спектр нейтронов в опорном поле  $^{252}\text{Cf}$  в полиэтиленовом замедлителе диаметром 29,2 см, измеренный МС ОИЯИ. Гистограмма — спектр нейтронов  $^{252}\text{Cf}$  в полиэтиленовом замедлителе диаметром 20,3 см [21].

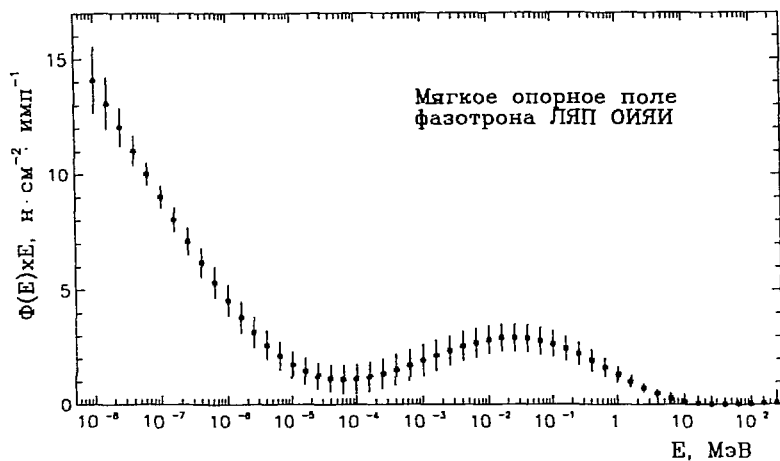


Рис.3. Спектр нейтронов в мягком опорном поле фазотрона, измеренный МС ОИЯИ.

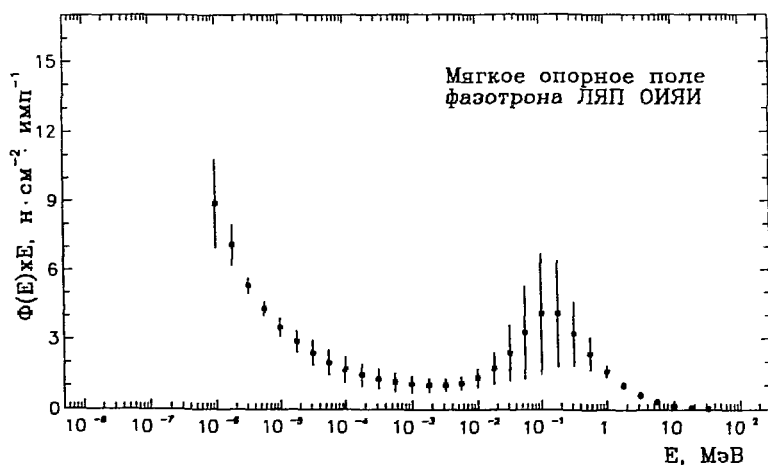


Рис.4. Спектр нейтронов в мягком опорном поле фазотрона, измеренный ПДСИ ИФВЭ.



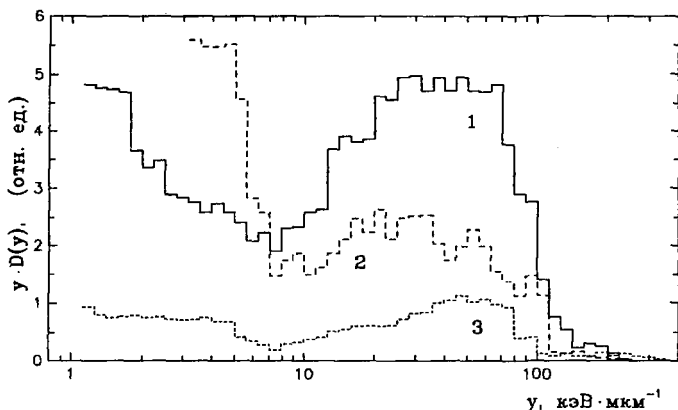


Рис.5. Спектры линейной энергии в опорных полях, измеренные СЛПЭ-03 ИФВЭ. 1 – ОП  $^{252}\text{Cf}$  в полиэтиленовом замедлителе диаметром 12,7 см; 2 – ОП  $^{252}\text{Cf}$  в полиэтиленовом замедлителе диаметром 29,2 см; 3 – МОП фазотрона.

Таблица 1. Сравнение результатов измерений мощности эквивалентной дозы нейтронов

МЕТОД	$^{252}\text{Cf}$ (голый) нЗв · с <sup>-1</sup>	$^{252}\text{Cf} + \text{CH}_2$ (29.2 см диам.) нЗв · с <sup>-1</sup>	$^{252}\text{Cf} + \text{CH}_2$ (12.7 см диам.) нЗв · с <sup>-1</sup>	МОП фазотрона нЗв · имп <sup>-1</sup>
МС ОИЯИ (спектр)	—	$12.5 \pm 0.9$	$47.3 \pm 2.8$	$2.11 \pm 0.21$
МС ИФВЭ (спектр)	$102.6^{+18.6}_{-15.3}$	$13.1^{+3.6}_{-4.0}$	$49.2^{+13.8}_{-10.3}$	$1.87^{+1.47}_{-0.75}$
МС ОИЯИ (аппроксимация)	—	$14.3 \pm 0.8$	$49.4 \pm 1.4$	$1.79 \pm 0.1$
МС ИФВЭ (аппроксимация)	$98.5 \pm 9.0$	$12.9 \pm 1.2$	$47.9 \pm 4.6$	$1.44 \pm 0.4$
ПДСН ИФВЭ	—	—	—	$2.14 \pm 0.51$
СЛПЭ-03 ИФВЭ*	$80.9 \pm 12.1$	$11.5 \pm 1.7$	$40.4 \pm 6.1$	$0.94 \pm 0.14$
АКБ-01 ИФВЭ	$89.4 \pm 13.4$	$5.9 \pm 0.9$	$39.2 \pm 5.9$	$1.16 \pm 0.17$
РЕМ-2 ИАЭ	$80.3 \pm 11.2$	—	—	$1.66 \pm 0.24$

\* нейтроны с энергией > 10 кэВ

Занижение величины эквивалентной дозы АКБ-01 в ОП на основе  $^{252}\text{Cf}$  в замедлителе диаметром 29,2 см объясняется большим вкладом фотонного излучения (в этом случае разделение излучения по компонентам работает с большой погрешностью). В случае МОП результат измерения  $H^*(10)$  имеет большую неисключенную систематическую погрешность (до 40%), связанную с тем, что параметры для методики коррекции измерений эквивалентной дозы нейтронов с помощью АКБ-01 вышли за пределы, где у авторов имеется набор экспериментальных данных (из-за очень мягкого спектра нейтронов).

ЛПЭ-спектрометр на основе ТЭПС измеряет эквивалентную дозу нейтронов с энергией выше 10...20 кэВ, что объясняет систематическое занижение результатов измерений  $H^*(10)$  по сравнению с данными по МС (СЛПЭ-03 используется как образцовое средство измерения для передачи единицы мощности дозы быстрых нейтронов). В методике используется также коэффициент, учитывающий фантомный фактор (переход от измеренной величины без фантома к фантомно-зависимой величине  $H^*(10)$ ) и этот коэффициент брался один и тот же для всех ОП. Все эти факторы объясняют занижение величины  $H^*(10)$ , измеренной с помощью СЛПЭ-03 в МОП (определенное по спектру МС ОИЯИ значение мощности эквивалентной дозы нейтронов в диапазоне энергий более 10 кэВ, примерно соответствующем рабочему диапазону спектрометра, составляет  $1,56 \pm 0,18$  нЗв-имп $^{-1}$ ). Расхождение результатов измерений ТЭПС и АКБ-01 объясняется тем, что их детекторы имеют существенно разную энергетическую зависимость чувствительности к фотонам с энергией ниже 200 кэВ (АКБ-01 сильно завышает в диапазоне энергий 50 — 100 кэВ).

В таблице 3 для перехода от эквивалентной дозы фотонов к  $H^*(10)$  для результатов, полученных с помощью СЛПЭ-03 и АКБ-01, можно использовать коэффициент 1,094. Как показывает опыт (это же подтверждает аттестация АКБ-01 и СЛПЭ-03 во ВНИИФТРИ), АКБ-01 можно использовать в качестве образцового средства измерения для передачи единицы мощности эквивалентной дозы нейтронов только в ОП, таких, как  $^{239}\text{Pu}$ - $^9\text{Be}$  и  $^{252}\text{Cf}$  радионуклидных источников.

Таким образом, для получения оцененных данных по плотности потока нейтронов использовались данные МС, а по мощности эквивалентной дозы нейтронов во всем спектре энергий использовались данные МС и ПДСН.

## 5. ВЫВОДЫ

Проведенное сличение средств измерений, используемых в качестве образцовых в различных научных центрах, позволяет сделать оценки неисключенных систематических погрешностей (НСП) измеренных величин для данного набора ОП. Необходимо отметить, что дополнительным источником расхождения результатов является то, что участники сличения для градуировки

Таблица 2. Сравнение результатов измерений плотности потоков нейтронов

МЕТОД	$^{252}\text{Cf}$ (голый) н·см <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup>	$^{252}\text{Cf} + \text{CH}_2$ (29.2 см диам.) н·см <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup>	$^{252}\text{Cf} + \text{CH}_2$ (12.7 см диам.) н·см <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup>	МОП фазотрона н·см <sup>-2</sup> ·имп <sup>-1</sup>
МС ОИЯИ (спектр)	389 ± 14	112.6 ± 7.1	339.2 ± 21.2	73.6 ± 2
МС ИФВЭ (спектр)	411 <sup>+88</sup> <sub>-76</sub>	120 <sup>+32</sup> <sub>-31</sub>	365 <sup>+99</sup> <sub>-85</sub>	134 <sup>+69</sup> <sub>-45</sub>
МС ИФВЭ (аппроксимация)	397 ± 128	119 ± 32	363 ± 108	134 ± 37
ПДСН ИФВЭ*	—	—	—	41.8 ± 5.2

\* нейтроны с энергией > 0.4 эВ

Таблица 3. Сравнение результатов измерений мощности кермы  
γ-квантов в мягкой биологической ткани

МЕТОД	$^{252}\text{Cf}$ (голый) нГр·с <sup>-1</sup>	$^{252}\text{Cf} + \text{CH}_2$ (29.2 см диам.) нГр·с <sup>-1</sup>	$^{252}\text{Cf} + \text{CH}_2$ (12.7 см диам.) нГр·с <sup>-1</sup>	МОП фазотрона нГр·имп <sup>-1</sup>
СЛПЭ-03 ИФВЭ	4.04 ± 0.44	3.60 ± 0.33	3.49 ± 0.33	0.39 ± 0.04
АКБ-01 ИФВЭ	3.60 ± 0.55	3.93 ± 0.44	3.60 ± 0.33	0.46 ± 0.05
REM-2 ИАЭ	3.8 ± 0.5	—	—	0.47 ± 0.07

своих средств измерений использовали различные метрологические базы.

Для величины плотности потока нейтронов НСП может быть оценена в 5% для ОП на основе  $^{252}\text{Cf}$  и 36% для МОП; для величины мощности эквивалентной дозы нейтронов оценки НСП составляют 8% для ОП на основе  $^{252}\text{Cf}$  и 23% для МОП; для величины мощности эквивалентной дозы фотонов НСП не превышают 11% для всех ОП.

Использование набора ОП ОИЯИ с существенно отличающимися энергетическими распределениями нейтронов позволит проводить градуировку рутинных средств радиационного мониторинга и индивидуальных дозиметров в полях нейтронов, близких к реальным полям за защитой ядерно-физических установок.

В заключение авторы выражают благодарность М.М.Комочкову и В.Н.Лебедеву за поддержку и полезные обсуждения и А.Г.Крячко, В.А.Куликову, А.Н.Резувику, Л.А.Лосевой за помощь при измерениях и оформлении работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Griffith R.V., Palfalvi J., Madhvanath U. Compendium of Neutron Spectra and Detector Responses for Radiation Protection Purposes. Technical reports series N 318, IAEA, Vienna, 1990.
2. Hara A., Iwai S., Nakamura T. Establishment of a Simple Neutron Calibration Field from a Moderated  $^{252}\text{Cf}$  Source. Nucl. Instr. & Meth., A254, 1987, p.151.
3. Ing H., Cross W.G. Spectral and Dosimetric Characteristics of a  $\text{D}_2\text{O}$  - moderated  $^{252}\text{Cf}$  Calibration Facility. Health Phys., v.46, N1, 1984, p.97.
4. Бритвич Г.И. и др. Спектры и интегральные характеристики опорных полей нейтронов на базе радионуклидных источников нейтронного излучения. Препринт ИФВЭ 90-48, Протвино, 1990.
5. Prusa Z. et al. Intercomparison of Neutron Moderation Spectrometers in Reference Fields. Rad. Prot. Dosim., v.37, N4, 1991, p.241.
6. Алейников В.Е. и др. Опорные поля нейтронного излучения для метрологического обеспечения радиационного контроля. Препринт ОИЯИ Р16-92-36, Дубна, 1992.
7. Крылов А.Р., Тимошенко Г.Н., Алейников В.Е. Измерение спектров нейтронов в полях жесткого рассеянного излучения в диапазоне энергий от  $10^{-8}$  до сотен МэВ. Препринт ОИЯИ Р16-91-177, Дубна, 1991.
8. Awschalom W., Sanna R.S. Applications of Bonner Sphere Detectors in Neutron Field Dosimetry. Rad. Prot. Dosim., v.10, N1 - 4, 1985, p.89.
9. Белогорлов Е.А. и др. Методические вопросы применения многошарового спектрометра Боннера в радиационных исследованиях на ускорителе ИФВЭ. Препринт ИФВЭ 85-3, Протвино, 1985.
10. Belogorlov E.A., Zhigunov V.P. Interpretation of the Solution for Inverse Problem for Positive Function and Neutron Spectrum Unfolding. Nucl. Instr. & Meth., A235, 1985, p.146.
11. Hertel H.E., Davidson T.W. The Response of Bonner Spheres to Neutrons from Thermal Energy to 17.3 MeV. Nucl. Instr. & Meth., A238, 1985, p.509.

12. Aleinikov V.E., Krylov A.R., Timoshenko G.N. Neutron Dose Equivalent Determination in the Energy Range from Thermal to High Energy Neutrons. *Rad. Prot. Dosim.*, v.30, N4, 1990, p.267.
13. ICRP Publication 51, Data for Use in Protection Against External Radiation. *Annals of the ICRP*, v.17, N2/3, 1987.
14. Abrosimov A.I. et al. Gerätebasis für die metrologische Sicherstellung der Strahlungsüberwachung am Synchrotronserpuchow. *Kernenergie*, v.31, N5, 1988, p.214.
15. Абросимов А.И. и др. Эквидозиметр ЭД-02 для определения эквивалентной дозы смешанного фотонного и нейтронного излучения. Препринт ИФВЭ 86-70, Протвино, 1986.
16. Abrosimov A.I., Alekseev A.G., Golovachik V.T. Tissue Equivalent Radiation Monitor for Dose Equivalent Measurement of Radiation behind the Shielding of Proton Accelerator. *Kernenergie*, v.34, 1991, p.108.
17. Höfert M, Raffnsøe R.C. Measurements of Absolute Absorbed Dose and Dose Equivalent for Instruments. *Nucl. Instr. & Meth.*, v.176, 1982, p.443.
18. Gólnik N., Wilczyńska T., Zielczyński M. Determination of the Recombination Index of Quality for Neutrons and Charged Particles. *Rad. Prot. Dosim.*, v.23, N1/4, 1988, p.451.
19. Санников А.В. Пассивный дозиметр-спектрометр нейтронов для высокоэнергетичных ускорителей. Препринт ИФВЭ 90-133, Протвино, 1990.
20. Sannikov A.V. Calibration Method for Personal Neutron Dosimeters in Stray Radiation Fields. *The 7-th Symposium on Neutron Dosimetry. Book of Abstracts, Part 2, Berlin, 1991, p.50 (to be published in Rad. Prot. Dosim.)*.
21. Ing H. Moderated Neutron Sources for Calibrating Neutron Dosimeters for Reactor Environments. *Trans. Am. Nucl. Soc.*, v.34, 1980, p.623.

Рукопись поступила в издательский отдел

9 февраля 1993 года.