



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

**ИФВЭ 2003-9  
ОРИ**

А.Г. Алексеев, Н.Н. Бараненков, Г.И. Бритвич, Е.В. Косьяненко,  
В.А. Пикалов, И.П. Гомонов\*

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
ХАРАКТЕРИСТИК НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
НА ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ  
ДЛЯ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ИДК**

---

\*Физико-энергетический институт (г. Обнинск)

Протвино 2003

**Аннотация**

Алексеев А.Г., Бараненков Н.Н., Бритвич Г.И. и др. Исследование характеристик нейтронного излучения на ядерно-физических установках для методической поддержки ИДК: Препринт ИФВЭ 2003-9. – Протвино, 2003. – 12 с., 12 рис., 6 табл., библиогр.: 19 .

Представлены результаты измерений спектров нейтронов на Ростовской АЭС, Курской и Смоленской АЭС, на реакторе ИРТ МИФИ. Для измерения спектров нейтронов использовались два типа спектрометров: ШАНС (разработка ИФВЭ) и СДН-МС01 (разработка ФЭИ). Представлено сравнение результатов измерений этими двумя спектрометрами над однотипными ячейками на реакторе РБМК. На базе 1-го горизонтального экспериментального канала ГЭК-1 реактора ИРТ исследовано четыре опорных поля нейтронов. Показано, что сформированные спектры нейтронов опорных полей могут быть использованы для имитации спектров нейтронов для условий АЭС с ВВЭР и РБМК.

**Abstract**

Alexeev A.G. Baranenko N.N., Britvich G.I. et al. Measurement of Neutron Field Characteristics at Nuclear-Physics Instalations for Personal Radiation Monitoring. : IHEP Preprint 2003 – 9. – Protvino, 2003. – p.12, figs.12, tables 6, refs.: 19 .

In this work the observed data of neutron spectra on Rostov NEP, Kursk NEP and Smolensk NEP and on the reactor IRT MIPHI are submitted. For measurement of neutron spectra two types of spectrometer were used: SHANS (IHEP design ) and SDN-MS01 (FEI design). The comparison of the data measurements performed by those spectrometers above one-type cells on the reactor RBMK is submitted. On the basis of the 1-st horizontal experimental channel HEC-1 of the IRT reactor 4 reference fields of neutrons are investigated. It is shown, that spectra of neutrons of reference fields can be used for imitation of neutron spectra for conditions of NEP with VVER and RBMK type reactors.

## Введение

В новых нормативных требованиях в области радиационной безопасности (НРБ-99 [1], ОСПОРБ-99 [2], СП АС-99 [3]) нормирование облучения персонала происходит по эффективной дозе. Безусловно, это требует единообразного методического подхода при определении индивидуальных доз внешнего нейтронного облучения персонала на высокоэнергетических протонных ускорителях, АЭС и других ядерно-физических установках (ЯФУ).

В настоящее время полномасштабный инструментальный индивидуальный дозиметрический контроль (ИДК) облучения персонала нейтронами осуществляется только на протонных ускорителях. На отечественных ускорителях для этой цели используется метод тонкослойных ядерных эмульсий. Метод эффективный, но трудоемкий и малооперативный, тем не менее, он применяется до сих пор из-за отсутствия адекватной альтернативы.

На АЭС облучение нейтронами учитывается, как правило, расчетным путем из условий равенства нейтронной и фотонной доз. Это связано, прежде всего, с ограниченным количеством лиц из персонала АЭС, для которых необходим контроль облучения нейтронным излучением, а также с отсутствием простых и надежных средств измерения. По этой причине нами с начала 90-х годов были начаты разработки более совершенных и оперативных средств измерения нейтронов, основанных, в частности, на альбедном принципе, что оказалось возможным благодаря появившимся в последнее время новым высокочувствительным термолюминесцентным детекторам ДТГ-4-6(7) и ТЛД7011, 6011.

В 1999 г. в ГНЦ ИФВЭ по заказу концерна Росэнергоатом закончена разработка одного из индивидуальных дозиметров нейтронов (ДВН-А-01) [4], основанного на альбедном принципе. Дозиметр прошел сертификацию. В 2001 г. была проведена сертификация комплекса АК>IDК-301 [5], разработанного Ангарским электролизно-химическим комбинатом (АЭХК) совместно с ИФВЭ, в состав которого входит индивидуальный дозиметр нейтронов ДВНГ-01, также основанный на альбедном принципе. Таким образом, в настоящее время проблема инструментального обеспечения ИДК нейтронного излучения практически решена.

Одной из особенностей дозиметров альбедного типа является необходимость учета реальных условий облучения, поскольку дозовая функция чувствительности таких дозиметров зависит от энергии нейтронов. Этот вопрос решается несколькими путями:

1. Градуировкой индивидуальных дозиметров в опорных полях нейтронов, при этом спектр нейтронов опорного поля должен быть близок к спектру нейтронов на рабочем месте.
2. Градуировкой индивидуальных дозиметров в рабочих условиях.
3. Измерением спектров нейтронов в реальных рабочих условиях. На основании информации об энергетической функции чувствительности дозиметров и спектра нейтронов расчетным способом вводят поправку.

Кроме информации о спектре нейтронов для уменьшения неопределенности при измерении индивидуального эквивалента дозы необходима информация:

- об угловом распределении нейтронов;
- о градиенте поля нейтронов (при сильном градиенте присутствует сильная неравномерность облучения тела);
- о наличии узких «локальных» пучков нейтронов («прострелов»), они также являются причиной сильного неравномерного облучения тела.

На ускорителе У-70 в течение 1980-1995 гг. были детально изучены вариации спектрального распределения нейтронов при разных режимах работы У-70, также были рассмотрены вопросы измерения углового распределения нейтронов. Результаты этих исследований нашли отражение в работах [6, 7, 8].

Вопрос использования опорных полей нейтронов для градуировки индивидуальных дозиметров достаточно подробно проработан и методически представлен в ряде работ [9, 10, 11]. Но разработанные в ИФВЭ опорные поля [9] на основе радионуклидных источников нейтронов (это касается полей нейтронов, сформированных бетонным лабиринтом) технически трудно использовать для градуировки индивидуальных дозиметров из-за ограничения мощности источников нейтронов. Использовать опорные поля на основе излучения ускорителя [12] сложно, так как возникает вопрос об обязательном мониторинговании облучения из-за изменения уровней и спектрального состава излучения во времени.

Данная работа является частью цикла работ (в том числе и нормативных [13]), посвященных научным и методическим вопросам внедрения дозиметров альбедного типа в индивидуальный нейтронный контроль на предприятиях Минатома РФ. В работе представлены данные о спектральном распределении нейтронов на рабочих местах на таких ЯФУ, как АЭС с реакторами типа водо-водяной энергетический реактор (ВВЭР) и реактор большой мощности канальный (РБМК); рассмотрена возможность использования в качестве опорных полей модифицированного излучения 1-го горизонтального экспериментального канала реактора ИРТ МИФИ.

## 1. Спектрометры нейтронов

Для измерения спектров нейтронов использовался широко известный многошаровой метод. В измерениях участвовали два разных (по конструктивному исполнению) спектрометра: спектрометр нейтронов ШАНС [14] разработки ГНЦ ИФВЭ и спектрометр нейтронов СДН-МС01 [15] ГНЦ ФЭИ. Характеристики спектрометров представлены в **табл. 1**.

**Таблица 1.** Характеристики спектрометров нейтронов.

ШАНС	СДН-МС01
Блок детектирования	
Кристалл $Li^6I(Eu)$ Размер $\varnothing 10 \cdot 10$ и $\varnothing 4 \cdot 4$ мм	Полупроводниковый кремневый детектор типа ДТН-1, между пластинами которого помещен $Li^6$
Замедлители	
Диаметр в дюймах, 2"Cd, 3"Cd, 5", 5"Cd, 8"Cd, 10"Cd  8"Cd означает, что полиэтиленовый замедлитель диаметром 8 дюймов покрыт чехлом из кадмия	Диаметр в сантиметрах, 5.27, 6.55, 7.62, 9.8, 12.7, 20.3, 30.5

При восстановлении спектров нейтронов в случае спектрометра ШАНС использовалась известная программа SAND-II, в случае СДН-МС-01 – стандартная для этого СИ программа ТАРКОЛ-9 (ГНЦ ФЭИ).

В измерениях использовался стандартный дозиметр ДКС96Н с замедлителями диаметром 241 мм (для измерения мощности эквивалента амбиентной дозы) и диаметром 170 мм, покрытый кадмием (для измерения плотности потока быстрых и промежуточных нейтронов). Для измерения плотности потока тепловых нейтронов использовался датчик ДКС96Н без замедлителя, при этом выполнялись измерения с голым датчиком и датчиком в чехле из кадмия толщиной 1 мм. Для определения плотности потока тепловых нейтронов использовалась разница результатов этих измерений.

## 2. Условия измерения

### 2.1. Ускоритель высокоэнергетических протонов

Как указывалось выше, исследованиям компонентно-спектрального состава излучения за биологической защитой ускорителя ИФВЭ (У-70) посвящено множество работ. Учитывая тот факт, что за защитой ускорителя значительный вклад в облучаемость персонала могут давать нейтроны с энергий выше 20 МэВ и заряженные частицы (протоны, мюоны), кроме многошарового спектрометра нейтронов использовались: ЛПЭ-спектрометр на основе тканеэквивалентного пропорционального счетчика [16], компонентный дозиметр на основе ионизационных камер [17], дозиметр-спектрометр на основе трековых детекторов [18]. Мониторинг облучения дозиметров ДВГН-01 в условиях импульсного излучения ускорителя осуществлялось с помощью мониторов автоматизированной системы радиационного контроля У-70, пассивных радиационных мониторов на основе ТЛД [19], дозиметров-спектрометров на основе трековых детекторов [18]. Результаты измерений характеристик поля, полученных на основе всех перечисленных выше СИ, использовались для получения оценки поправочных коэффициентов для дозиметра ДВНГ-01.

### 2.2. АЭС с ВВЭР

Измерения характеристик полей нейтронов на АЭС с ВВЭР проводились внутри гермообъема 1-го блока Ростовской АЭС в период физического и энергетического пуска блока. Измерения проводились на разных уровнях мощности реактора. Во время измерений при минимально контролируемом уровне (МКУ) мощности реактора (0,5% номинальной мощности) мониторинг измерений проводился по показаниям штатного комплекта АКМПН (автоматизированный комплект мониторинга потока нейтронов). В **табл. 2** приведено описание точек измерения.

**Таблица 2.** Характеристики точек измерения на АЭС с ВВЭР.

№ точки измерения	Характеристика точки измерения
1	На гидроамортизаторе «улитки» главного циркуляционного насоса (ГЦН) 1-го контура
2	Рядом с «улиткой» ГЦН
3	Под «холодной» ниткой трубопровода 1-го контура теплоносителя на расстоянии 6.5 м от тепловой защиты реактора
4	В зоне переходных коробок ионизационных камер (0,5 м от тепловой защиты реактора)
5	Под парогенератором (ПГВ-1000)
6	На верхней площадке блока электроразводок (БЭР, площадка осмотра) на II оси реактора
7	Траверса верхнего блока реактора
8	В центральном зале реактора (пом. Г701) в 2,5 метрах от края шахты реактора

### 2.3. АЭС с РБМК

Измерения проводились в центральном зале реактора непосредственно на «пятак» над реактором над всеми типами ячеек систем управления защиты (СУЗ). Спектрометр ШАНС использовался в измерениях на 4-м блоке Курской АЭС, спектрометр СДН-М01 – на трех блоках Смоленской АЭС. В табл. 3 приведено описание точек измерения.

Таблица 3. Характеристики точек измерения на АЭС с РБМК.

№ точки измерения	Характеристика точки измерения
9	В центральном зале реактора, над ячейкой с СУЗ типа КРО
10	В центральном зале реактора, над ячейкой с СУЗ типа БАЗ
11	В центральном зале реактора, над ячейкой с СУЗ типа УСП
12	В центральном зале реактора, над ячейкой с СУЗ типа РВ

Особенностью измерения характеристик излучения на РБМК являлось наличие узких локальных «прострелов» над ячейками СУЗ типа КРО. Конструкция системы формировала пучок размером 3x9 мм. Методические в последующих особенности измерений в этих условиях будут рассмотрены работах.

### 2.2. Реактор ИРТ

На исследовательском реакторе ИРТ МИФИ на 1-м горизонтальном экспериментальном канале ГЭК-1 в качестве опорных полей были выбраны две геометрии: а) бетонного лабиринта; б) с рассеивателем и дополнительной защитой. В выбранных точках проводились измерения спектров нейтронов с помощью спектрометра ШАНС и облучение индивидуальных дозиметров нейтронов на фантомах. Геометрия измерения с бетонным лабиринтом представлена на рис. 1. Измерения спектров нейтронов выполнялись в точках  $e01$  и  $m01$  (см. рис.1).

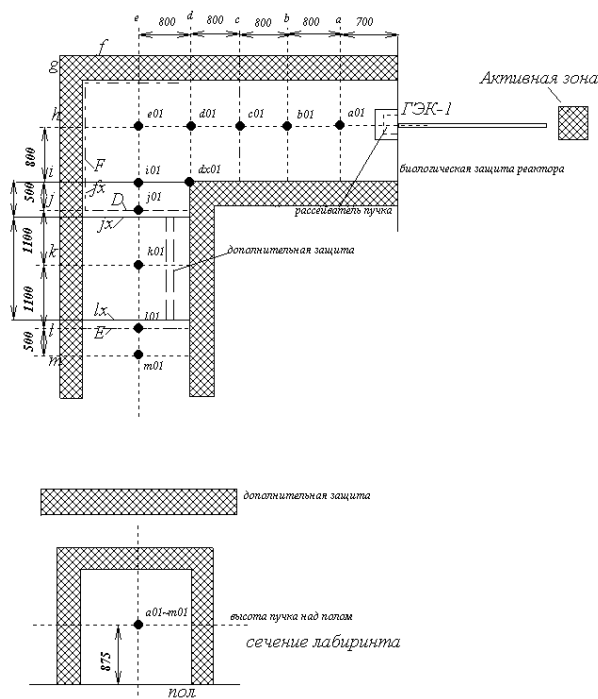


Рис. 1. Схема измерения спектров нейтронов в бетонном лабиринте на реакторе ИРТ МИФИ.  $e01$  и  $m01$  – точки измерения спектров нейтронов и облучения альбедных дозиметров на фантомах.

Схема точек измерения в лабиринте

Различие этих двух точек состоит в том, что в точке  $e01$  спектр нейтронов формируется нейтронами утечки из рассеивателя пучка и нейтронами многократного рассеяния от стен лабиринта, а в точке  $m01$  – только нейтронами многократного рассеяния. В тех же точках проводилось облучение индивидуальных дозиметров нейтронов ДВГН-01 на сферических фантомах для определения поправочных коэффициентов.

Вторая геометрия представлена на **рис. 2**. Рассеиватель пучка служил для создания однородного поля излучения. Он устанавливался вплотную к выходу канала и представлял собой шестигранную призму из железа (длиной 200, шириной 200 мм), покрытую полиэтиленом (боковая поверхность толщиной 50, торец – 100 мм). Рассеиватель был окружен дополнительной защитой из свинца толщиной 50 мм. Вся конструкция была окружена стальным рассеивателем толщиной 40 мм. Измерение спектров и последующее облучение дозиметров на фантомах проводилось в двух точках  $S01'$  и  $S03'$  (см. рис. 2). Точка измерения спектра в последующем совмещалась с центром фантома на поверхности, обращенной к источнику излучения.

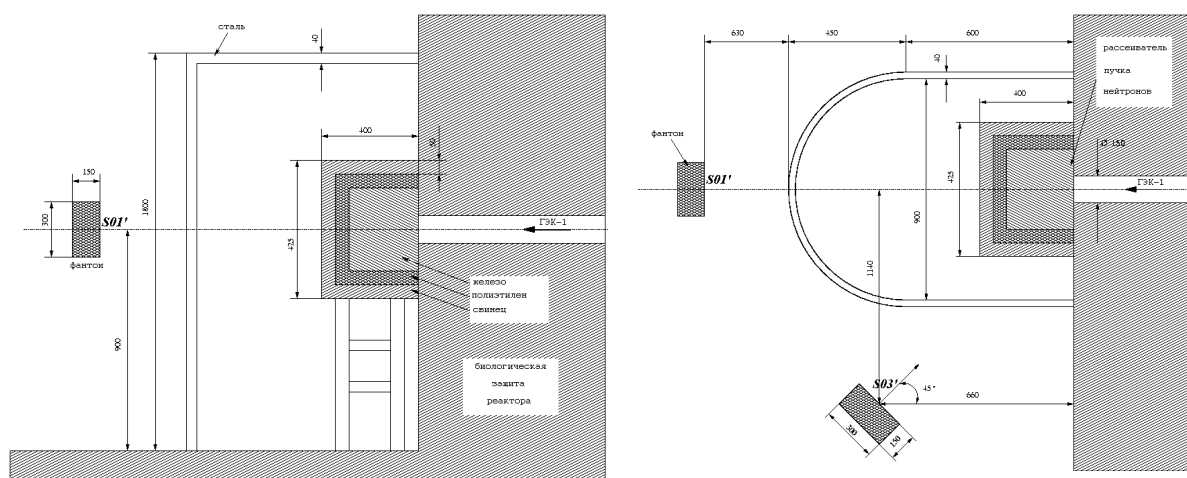


Схема облучения дозиметров в вертикальном сечении.

Схема облучения дозиметров в горизонтальном сечении. Точка измерения спектра – центр фантома на фронтальной к источнику излучения поверхности.

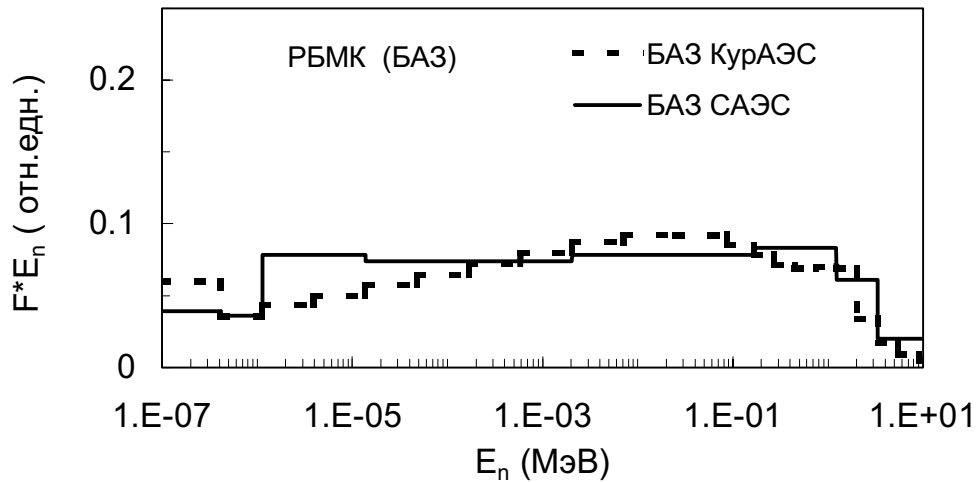
**Рис. 2.** Опорное поле нейтронного излучения на базе ГЭК-1.  $S01'$  и  $S03'$  – точки измерения спектров и облучения дозиметров в соответствии со спецификацией точек измерения, принятой во время проведения эксперимента.

### 3. Результаты измерений спектров нейтронов

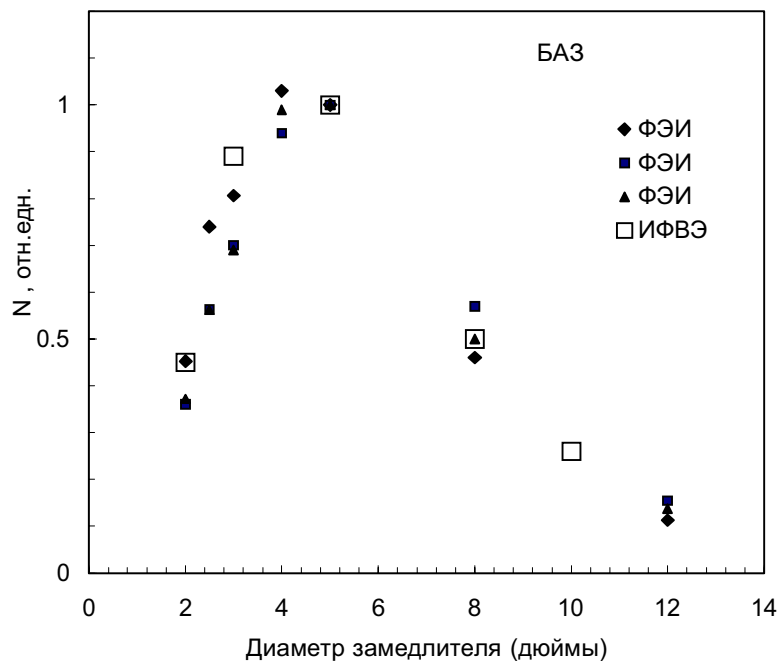
На **рис. 3** представлено сравнение измеренных спектров нейтронов в условиях нескольких реакторных блоков АЭС с РБМК над одним и тем же типом ячеек СУЗ (тип БАЗ). На Смоленской АЭС измерения были выполнены спектрометром СДН-МС-01, на Курской АЭС – с помощью спектрометра ШАНС. Спектры нормированы на плотность потока нейтронов  $1 \text{ н}\cdot\text{см}^{-2}$ . Незначительное различие в форме спектра нейтронов обусловлено, в первую очередь, разными способами восстановления и использования в итерационной процедуре разных начальных условий. Это подтверждается тем, что, как можно видеть на **рис. 4** и **5**, скорости счета датчика ШАНС и СДН-МС-01 в замедлителях одинаковых диаметров в пределах погрешностей измерений совпадают.

В **табл. 4, 5, 6** приведены результаты измерения скорости счета датчиков (в относительных единицах) спектрометров ШАНС и СДН-МС-01 для реакторов РБМК, ВВЭР и ИРТ. В табл. 4 приводятся также данные для градуировки спектрометра ШАНС в условиях «открытой» геометрии с использованием источника  $^{252}\text{Cf}$ .

На **рис. 6** представлены спектры нейтронов, измеренные на 1-м блоке Смоленской АЭС над разными типами ячеек СУЗ. В пределах погрешности восстановления спектры совпадают. На **рис. 7** и **8** представлены спектры нейтронов, измеренные в условиях гермообъема АЭС с ВВЭР (1-й блок Ростовской АЭС). Для сравнения на рисунке приведен спектр нейтронов для РБМК над ячейкой СУЗ типа БАЗ. Для гермообъема ВВЭР спектры более разнообразны, чем для условий РБМК.



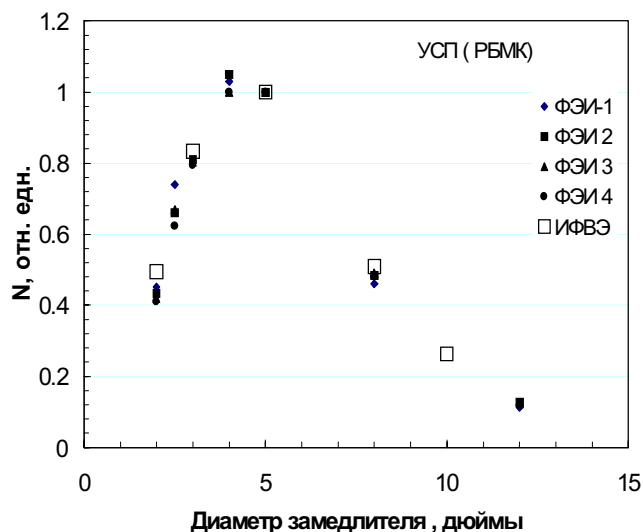
**Рис. 3.** Спектры нейтронов. Пунктир – измерения спектрометром ШАНС на Курской АЭС; сплошная линия – измерения спектрометром СДН-МС01 на Смоленской АЭС. Условия измерения – над ячейками СУЗ типа БАЗ.



**Рис. 4.** Скорость счета датчика спектрометра нейтронов в зависимости от диаметра замедлителя. ШАНС – измерения спектрометром ШАНС на Курской АЭС; ФЭИ – измерения спектрометром СДН-МС01 на Смоленской АЭС; представлены данные, выполненные на 3 реакторных блоках. Условия измерения – над ячейками СУЗ типа БАЗ.



**Рис. 5.** То же, что на рис. 4. Условия измерения – над ячейками СУЗ типа УСП.



**Таблица 4.** Относительное значение скорости счета детектора спектрометра ШАНС. Измерения на 4-м блоке Курской АЭС и градуировка спектрометра в «открытой» геометрии с использованием источника  $^{252}\text{Cf}$ .

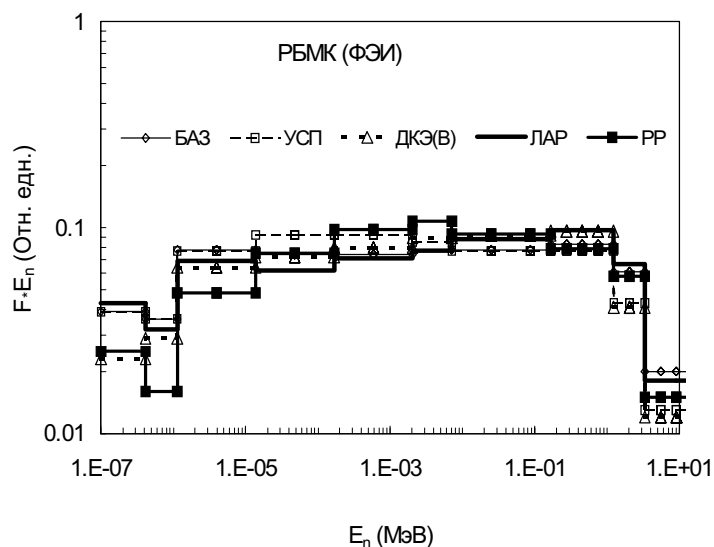
Диаметр замедлителя, дюймы	Реактор РБМК. Тип ячейки				Градуировка $^{252}\text{Cf}$
	КРО (с «прострелом»)	БАЗ	УСП	РР	
Без замедлителя	12,84	0,3564	0,409	0,424	-
2	2,250	0,4492	0,4948	0,512	0,0372
3	2,411	0,8860	0,834	0,8656	0,239
5	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
8	0,1769	0,5004	0,5065	0,4983	1,317
10	0,0767	0,2590	0,2627	0,2603	1,044

**Таблица 5.** Относительное значение скорости счета детектора спектрометра СДН-МС. Измерения на 1-м блоке Смоленской АЭС и 1-м блоке Ростовской АЭС.

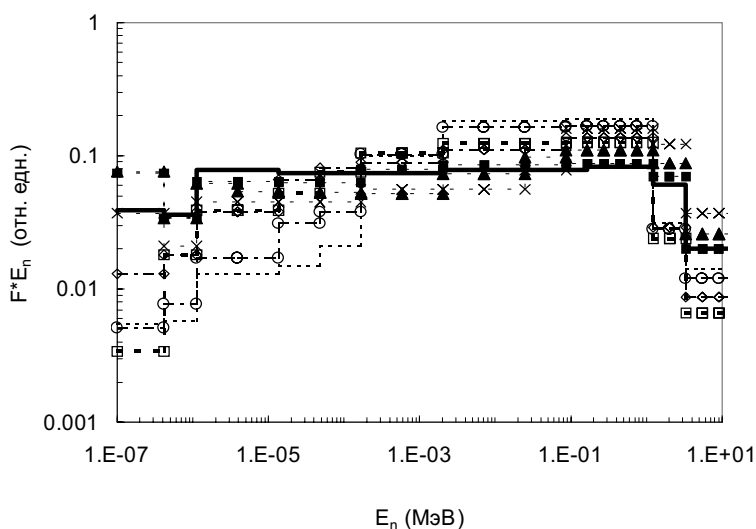
Диаметр замедлителя, см	Условия измерения на ВВЭР в соответствии с табл. 2			Реактор РБМК. Тип ячейки СУЗ					
	1	3	5	УСП	БАЗ	ДКЭ (В)	ЛАП	РР	Канал ПГС
Без замедлителя	0,325	0,157	0,25	0,569	0,478	0,322	0,5337	0,318	0,179
Без замедлителя в кадмии	0,249	0,120	0,178	0,1926	0,1296	0,119	0,1347	0,119	0,091
5, 27	0,361	0,281	0,373	0,452	0,442	0,3750	0,368	0,318	0,220
6,55	-	-	-	0,7378	0,680	0,615	0,604	0,598	0,415
7,62	0,702	0,615	0,752	0,8063	0,811	0,745	0,749	0,760	0,604
9,8	0,878	0,856	0,922	1,030	1,027	0,980	0,886	1,014	0,826
12,7	1,00	1,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,00	1,000
20,3	0,585	0,676	0,522	0,4559	0,4802	0,474	0,521	0,465	0,535
30,5	-	-	-	0,1129	0,1445	0,1126	0,140	0,118	0,132

**Таблица 6.** Относительное значение скорости счета детектора спектрометра ШАНС. Измерения на реакторе ВВЭР (точки измерения в соответствии с табл. 2) и реакторе ИРТ (см. рис. 1 и 2).

Диаметр замедлителя, дюймы	Условия измерения				
	ВВЭР т.4 табл.2	ИРТ, S01'	ИРТ, S03'	ИРТ, e01	ИРТ, m01
Без замедлителя	0,195	0,29	0,30	1,547	5,06
2	0,348	0,356	0,31	0,547	0,893
3	0,775	0,704	0,657	0,856	1,144
5	1,000	1,000	1,00	1,00	1,00
8	0,64	0,61	0,701	0,535	0,388
10	0,310	0,320	0,331	0,303	0,186



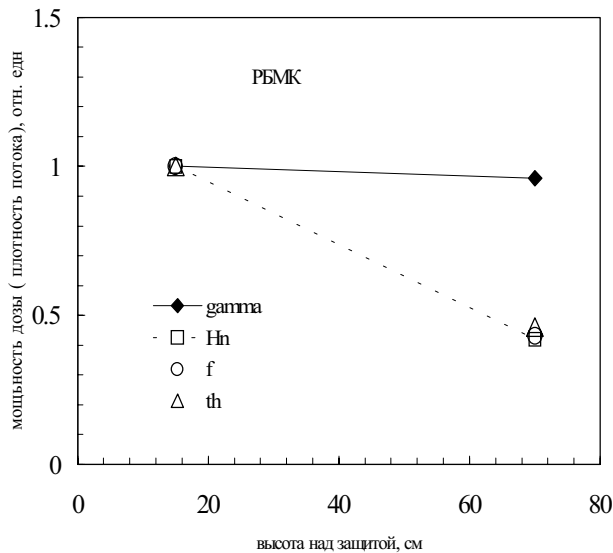
**Рис. 6.** Спектры нейтронов на РБМК. Условия измерения – над ячейками СУЗ типа БАЗ, УСП, РР, ЛАР, ДКЭ. 1-й блок Смоленской АЭС.



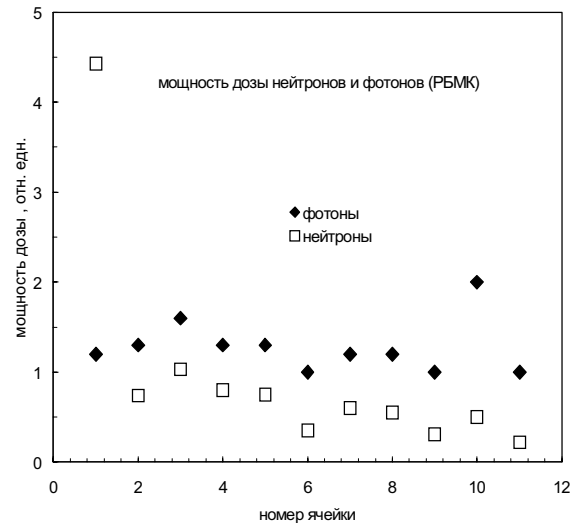
**Рис. 7.** Спектры нейтронов в помещениях гермообъема АЭС с ВВЭР. Для сравнения приведен спектр нейтронов на РБМК над ячейкой СУЗ типа БАЗ. Нумерация: ВВЭР 1 – спектр в точке № 1 табл. 2.

— РБМК (БАЗ)    ■ ВВЭР 1    ▲ ВВЭР 2    × ВВЭР 3  
 ..... ВВЭР 4    ○ ВВЭР 5    □ ВВЭР 6    ◇ ВВЭР 7

На **рис. 8** представлена зависимость мощности дозы нейтронов, фотонов, плотности потока нейтронов и плотности потока тепловых нейтронов от высоты над защитой реактора РБМК. В отличие от фона фотонов, который с высотой меняется незначительно, мощность дозы нейтронов уменьшается с увеличением расстояния. Изменение относительного вклада в полную дозу фотонов и нейтронов в зависимости от ячейки СУЗ представлено на **рис. 9**. Отношение мощности дозы нейтронов и фотонов меняется от 0,2 до 4.

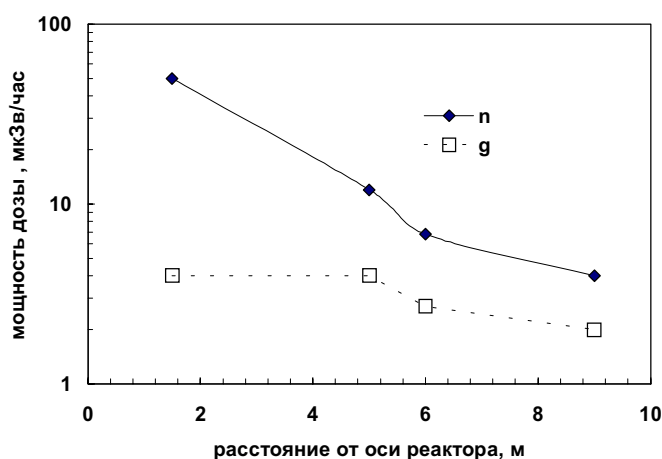


**Рис. 8.** Относительная зависимость изменения мощности дозы фотонов (гамма), нейтронов (Hn), плотности потока нейтронов (f), плотности потока тепловых нейтронов (th) от высоты над защитой реактора РБМК.



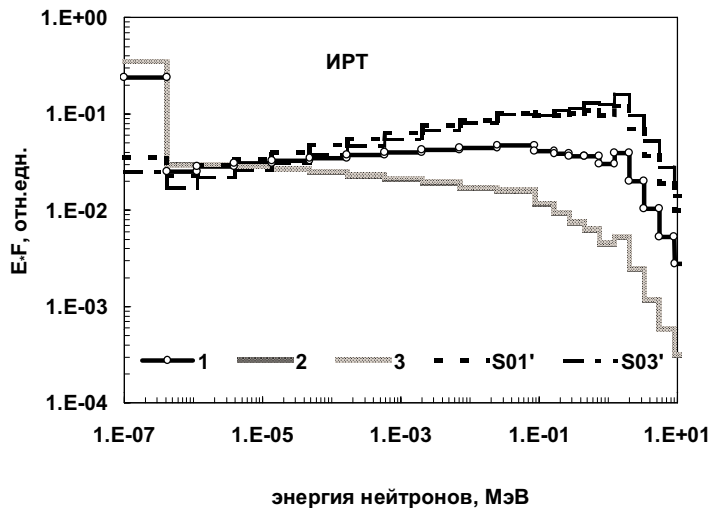
**Рис. 9.** Мощность дозы фотонов и нейтронов для разных ячеек СУЗ реактора РБМК.

В отдельных точках на реакторе ВВЭР вклад нейтронов в общий радиационный фон может составлять 80–90%. На **рис. 10** представлена зависимость мощности дозы фотонов и нейтронов от расстояния от оси реактора ВВЭР на верхней площадке реакторного зала.



**Рис. 10.** Мощность дозы фотонов (пунктир) и нейтронов (сплошная линия) в зависимости от расстояния от оси реактора ВВЭР.

Спектры нейтронов для реактора ИРТ представлены на **рис. 11**. Для точки *m01* в условиях бетонного лабиринта вклад тепловых нейтронов в полный флюенс составляет более 70%, вклад тепловых нейтронов в AMBIENTНый эквивалента дозы составляет почти 50%.



**Рис. 11.** Спектры нейтронов на реакторе ИРТ в бетонном лабиринте. 1 – точка *e01*; 2, 3 – точка *m01* (с дополнительной защитой в лабиринте и без неё см. рис. 1); *S01'* и *S03'* – точки измерения в соответствии с рис. 2.

Возможность использования опорных полей на основе ГЭК-1 реактора ИРТ иллюстрируют **рис. 12а** и **б**. На рис. 12а представлен спектр нейтронов над ячейкой типа БАЗ (реактор РБМК) и спектр нейтронов в точке *e01* в бетонном лабиринте на реакторе ИРТ. На рис. 12б представлены спектр нейтронов у переходных коробок ионизационных камер (рядом с патрубками «холодных» трубопроводов 1-го контура реактора ВВЭР) и спектр нейтронов в точке *S01'* (геометрия с рассеивателем) на реакторе ИРТ. Спектр нейтронов для ВВЭР в значительной мере обусловлен нейтронами, прошедшими стальные конструкции реакторной установки, для ячейки БАЗ на РБМК спектр сформирован нейтронами, прошедшими водную и бетонную защиты. Стальной рассеиватель для ГЭК-01 позволяет сформировать спектр нейтронов, подобный спектру на ВВЭР, использование бетонного лабиринта позволяет спектр нейтронов от рассеивателя приблизить к спектру над ячейкой БАЗ.

Спектр нейтронов во втором колене бетонного лабиринта является самым «мягким» и встречается на всех видах ЯФУ.

## Выводы и заключение

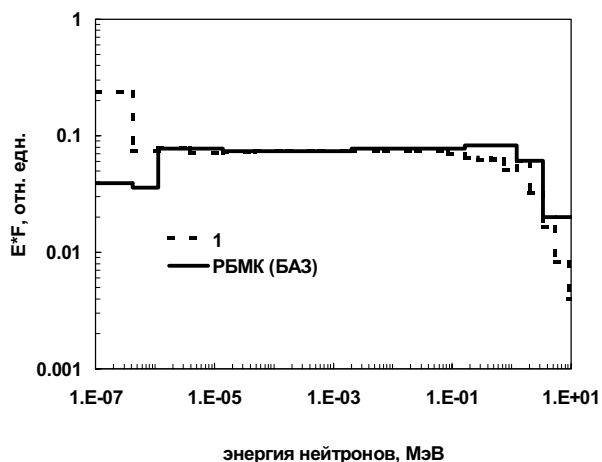
На основе полученных в данной работе результатов исследований характеристик нейтронного излучения можно сформулировать следующие рекомендации по учету рабочих условий при проведении ИДК нейтронного излучения с помощью дозиметров альбедного типа на АЭС с ВВЭР и РБМК

### АЭС с РБМК

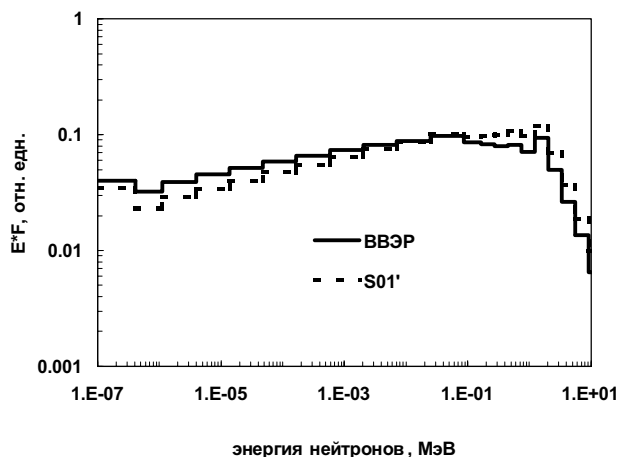
Зона над биологической защитой реактора характеризуется крайней неоднородностью поля нейтронов. Радиационная обстановка в каждой точке определяется состоянием ячейки, над которой данная точка находится (размер ячейки примерно  $25 \times 25$  см), в том числе состоянием (положением стержней) системы управления защиты СУЗ. Уровень мощности дозы нейтронного излучения может изменяться в 10–20 раз при переходе от одной ячейки к другой. В зависимости от конструкции защиты в ячейке возможно наличие «прострелов» – резко выраженных «локальных» неоднородностей поля нейтронов в виде пучков нейтронов, возникающих вследствие наличия щелей или каналов в защите. При этом резко меняется градиент поля нейтронов по высоте. Мощность дозы нейтронов изменяется с расстоянием от защиты (с 15

до 120 см) в 6 раз, а мощность дозы фотонов в – 2–3 раза. Отношение мощности дозы нейтронов к мощности дозы фотонов ( $\frac{H_n}{H_\gamma}$ ) может изменяться от 0,7 до 0,1 при переходе от одной

ячейки к другой. Спектры нейтронов над разными типами ячеек практически не отличаются друг от друга, т.е. поле излучения нейтронов в зоне над биологической защитой реактора по спектральным характеристикам однородно.



**Рис. 12а.** Спектр нейтронов над ячейкой типа БАЗ и в точке e01 в бетонном лабиринте на реакторе ИРТ.



**Рис. 12б.** Спектр нейтронов у переходных коробок ионизационных камер (рядом с патрубками «холодных» трубопроводов 1-го контура реактора ВВЭР) и в точке S01' (геометрия с рассеивателем) на реакторе ИРТ.

## АЭС с ВВЭР

Вид работ, связанный с облучением персонала АЭС с ВВЭР нейтронным облучением, – это регламентные работы с участием оперативного персонала в центральном реакторном зале непосредственно в гермообъеме (ГО) за биологической защитой реактора при работе реактора на мощности, а также отдельные работы по обслуживанию технологического оборудования, связанные с использованием изотопных источников нейтронов.

Радиационные поля в местах ГО возможного посещения оперативным персоналом при работе реактора на мощности характеризуются сильным изменением уровня нейтронного излучения (соотношение может достигать 100 крат и более) и отношения мощности дозы нейтронов к мощности дозы фотонов ( $\frac{H_n}{H_\gamma}$ ) (отношение  $\frac{H_n}{H_\gamma}$  может изменяться от 50 до 0,01 и ниже), возможно наличие «прострелов».

Исследования модифицированного излучения канала ГЭК-01 реактора ИРТ показали, что данные условия можно использовать в качестве опорных полей для градуировки индивидуальных дозиметров и имитации реальных полей нейтронов на рабочих местах (по крайней мере, для условий АЭС с РБМК и ВВЭР). В дальнейшем опорные поля нейтронов на базе реактора ИРТ использовались для исследования чувствительности индивидуальных дозиметров нейтронов. Результаты этих исследований будут представлены в следующей работе, посвященной методике учета рабочих условий при определении индивидуального эквивалента дозы нейтронов с помощью альбедного дозиметра.

Данная работа выполнялась в рамках договоров № 2001/5.4/367/4/1678 для концерна Росэнергоатом, № 1-86/2859 для Ростовской АЭС.

В заключение авторы выражают благодарность В.П. Крючкову и В.Н. Лебедеву за поддержку работы, Л.А. Лебедеву и С.Г. Михеенко за поддержку работ, проводимых на реакторе ИРТ, персоналу отделов ОБР Ростовской, Курской, Смоленской АЭС за помощь в выполнении измерений на АЭС.

### *Литература*

- [1] Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). Минздрав России, 1999.
- [2] Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99), Минздрав России, 2000.
- [3] Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-99), Москва, 2000.
- [4] А.Г. Алексеев, Н.Н. Бараненков, Ю.В. Быстров и др. – Препринт ИФВЭ 2000-35, Протвино 2000.
- [5] О.И. Батухтина и др. АНРИ 1, 2002, с. 26-31.
- [6] Е.А. Белогорлов и др. Препринт ИФВЭ, 85-148, Протвино, 1985.
- [7] Г.И. Бритвич и др. Типичные спектры нейтронов в рабочих и полуобслуживаемых помещениях реакторов, ускорителей и установок с радионуклидными источниками. Справочник. Изд.-во СЭВ Москва, 1987.
- [8] Белогорлов Е.А. и др. Труды X Совещания по ускорителям заряженных частиц. Стр. 396, Дубна, 1987.
- [9] Г.И. Бритвич, В.С. Волков, Ю.И. Колеватов и др. Препринт ИФВЭ 90-48, Протвино, 1990.
- [10] А.Г. Алексеев и др. – Препринт ИФВЭ 98-68, Протвино 1998.
- [11] G.I. Britvich, A.A. Chumakov. – IHER Preprint 93-66, Protvino, 1993.
- [12] A.G. Alexeev, S.A. Kharlampiev. Radiation Protection Dosimetry. Vol. 70, Nos. 1-4, pp. 341-344 (1997).
- [13] МУ-2.6.1.45-2001 «Дозиметрия. Определение индивидуальных эффективных доз нейтронного излучения», Минатом и ФУМБиЭП «Медбиоэксрем», Москва 2001.
- [14] Г.И. Бритвич и др. – Препринт ИФВЭ 90-48, Серпухов, 1990.
- [15] Интегральные эксперименты в проблеме переноса ионизирующих излучений: Справочное руководство/ И.В.Горячев, Ю.И.Колеватов, В.П.Семенов, Л.А.Трыков – М.: Энергоиздат, 1985.
- [16] A.G. Alexeev. – IHER Preprint 95-69, Protvino, 1995.
- [17] А.Г. Алексеев и др. – Препринт ИФВЭ 98-68, Протвино, 1998.
- [18] А.В. Санников. – Препринт ИФВЭ 90-133, Протвино, 1990.
- [19] А.Г. Алексеев и др. – Препринт ИФВЭ 99-25, Протвино, 1999.

*Рукопись поступила 14 марта 2003 года.*

А.Г. Алексеев, Н.Н. Бараненков, Г.И. Бритвич и др. Исследование характеристик нейтронного излучения на ядерно-физических установках для методической поддержки ИДК.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы *Word*.

Редактор Н.В.Ежела.

Технический редактор Н.В.Орлова.

---

Подписано к печати 19.03.2003. Формат 60x84/16. Офсетная печать.  
Печ.л. 1,5. Уч.-изд.л. 1,2. Тираж 130. Заказ 32. Индекс 3649.  
ЛР №020498 06.04.97.

---

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий,  
142284, Протвино Московской обл.

