



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3164
12-79

13/8-79

P16 - 12122

В.Е.Алейников, В.А.Архипов, В.П.Бамблевский, В.В.Гречко,
Г.Я.Касканов, М.М.Комочков, М.И.Салацкая,
А.П.Череватенко

A-458

ПРОВЕРКА
АДЕКВАТНОСТИ ПОКАЗАНИЙ ДЕТЕКТОРОВ
ДЛЯ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
ЭКВИВАЛЕНТНОЙ И ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗАМ
В ПУЧКЕ НЕЙТРОНОВ ИБР-30

Дубна 1979

Р16 - 12122

В.Е.Алейников, В.А.Архипов, В.П.Бамблевский, В.В.Гречко,
Г.Я.Касканов, М.М.Комочков, М.И.Салацкая,
А.П.Череватенко

ПРОВЕРКА
АДЕКВАТНОСТИ ПОКАЗАНИЙ ДЕТЕКТОРОВ
ДЛЯ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
ЭКВИВАЛЕНТНОЙ И ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗАМ
В ПУЧКЕ НЕЙТРОНОВ ИБР-30

*Институт ядерных исследований АН СССР, Москва.

Алейников В.Е. и др.

P16 - 12122

Проверка адекватности показаний детекторов для дозиметрического контроля эквивалентной и поглощенной доз в пучке нейтронов ИБР-30

Работа выполнена с целью установления адекватности показаний различных детекторов индивидуального дозиметрического контроля эквивалентной дозе в пучке нейтронов с известным энергетическим спектром. В ней дается также критическая оценка различных способов определения эквивалентной дозы нейтронов. Проведены сравнения результатов измерений, полученных с помощью приборов для рутинного контроля, с наиболее достоверными величинами эквивалентной дозы в пучке нейтронов. За наиболее достоверные значения эквивалентной дозы принимали значения, установленные с помощью рекомбинационного дозиметра и на основании измеренного спектра нейтронов. Полученные в обоих случаях данные в пределах ошибок совпадают. Результаты работы указывают на значительное несоответствие показаний исследуемых детекторов индивидуального дозиметрического контроля эквивалентной дозе. Занижение показаний фотоэмульсионных дозиметров нейтронов в значительной мере обусловлено некорректностью использования Pu-Be источника нейтронов для градуировки дозиметров. Широко используемый на практике метод определения дозы с помощью индия в шаровом замедлителе дает удовлетворительные результаты.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1979

Alejnikov V.E. et al.

P16 - 12122

The Examination of Adequacy Readings for Dosimetric Control Detectors to Equivalent and Absorbed Doses in IBR-30 Neutron Beam

The aim of the project was to establish adequacy of different personal dosimeter readings to dose equivalent in the IBR-30 reactor beam with well defined neutron flux density and energy spectra in a wide energy range of 0,01 eV up to 15 MeV. The irradiation was performed with neutrons in a low backscatter environment, the dosimeters being arranged not only on a tissue equivalent phantom but also free in air. The results obtained with different dosimeters will be intercompared and related to those of the reference monitors. As reference monitors recombination ionization chamber and activation detectors were used. The comparison has shown the discrepancy between the results obtained with the personal dosimeters and those of the reference monitors. The main underestimation of the film badge readings is due to the Pu+Be source incorrectly used as a calibration source.

The investigation has been performed at the Division of Radiation Protection and Radiation Research, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1979

1. ВВЕДЕНИЕ

Приборы для регистрации излучений в целях радиационной безопасности в идеальном случае должны быть устроены и отградуированы так, чтобы непосредственно давать информацию о значении максимальной эквивалентной дозы /МЭД/ от внешних или внутренних источников излучения ^{1/}. На практике МЭД определяется по результатам измерений уровней излучений и индивидуального дозиметрического контроля. Интерпретацию показаний каждого используемого в измерениях прибора приходится проводить с учетом факторов, существенных для данного прибора и зависящих от энергетической, временной и компонентной структуры поля излучения.

Настоящая работа выполнена с целью установления степени адекватности показаний различных детекторов индивидуального дозиметрического контроля /ИДК/ эквивалентной дозе в пучке нейтронов с известным энергетическим спектром. Она предусматривала также критическую оценку различных способов определения эквивалентной дозы нейтронов.

2. ПРИБОРЫ И УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

В табл. 1 указаны приборы и методики, используемые в измерениях. Там же даны приблизительные интервалы энергий регистрируемых излучений и диапазоны измеряемых величин. Считалось, что наиболее достоверные значения полной эквивалентной дозы в пучке могут быть получены с помощью рекомбинационного дозиметра /РД/.

Таблица 1

Приборы, детекторы, методики

Наименование прибора, детектора, методики	Вид : Энергетический : Диапазон измеряемой : Размерность : излучения : излучения : величины : величины
1. Рекомбинационный дозиметр (РД) ^{2/1}	α без ограничений \dot{D} : $0,1 \cdot 10^3$ рад/час γ $E \geq 10^5$ \dot{Q} : $1 \cdot 20$
2. Рекомбинационный дозиметр РД-2 ^{3/3}	α без ограничений \dot{D} : $2,5 \cdot 10^{-4} \rightarrow 10$ рад/час γ $E \geq 10^5$ \dot{Q} : $1 \cdot 20$
3. Дозиметр ИЖКт ^{4,5/}	α $10^{-2} \rightarrow 1,5 \cdot 10^7$ $0,02 \rightarrow 100$ бэр γ $E \geq 10^4$ $0,02 \rightarrow 70$ рад
4. <i>ест.</i> LiF-порошок	α $10^{-2} \rightarrow 10^4$ $0,5 \rightarrow 10^2$ бэр γ $E \geq 2 \cdot 10^4$ $1,0 \rightarrow 10^3$ Р
5. ТЛД-600 + ТЛД-700 ^{6/}	α $10^{-2} \rightarrow 10^4$ $10^{-2} \rightarrow 10^3$ бэр γ $E \geq 2 \cdot 10^4$ $10^{-2} \rightarrow 10^5$ Р
6. Дозиметр ИЖС-А ^{7/}	γ $E \geq 5 \cdot 10^4$ $0,5 \rightarrow 7 \cdot 10^3$ рад
7. Мониторинговая градуированная камера (ЖГ), наполненная CO_2 до 21 атм ^{8/}	γ $E \geq 10^5$ $2 \cdot 10^{-4} \rightarrow 10^3$ рад/час
8. Дозиметр ИЖД-2 ^{9/}	γ $E \geq 1,5 \cdot 10^5$ $5 \cdot 10^{-3} \rightarrow 1,0$ Р
9. α в шаровом замедлителе	α $10^{-2} \rightarrow 10^8$ $\dot{H} \geq 0,075$ бэр/час
10. Активационные детекторы ^{10,11,18/}	α $10^{-2} \rightarrow 10^8$ $\gamma \geq 10^6$ нейтрон/см ² ·с

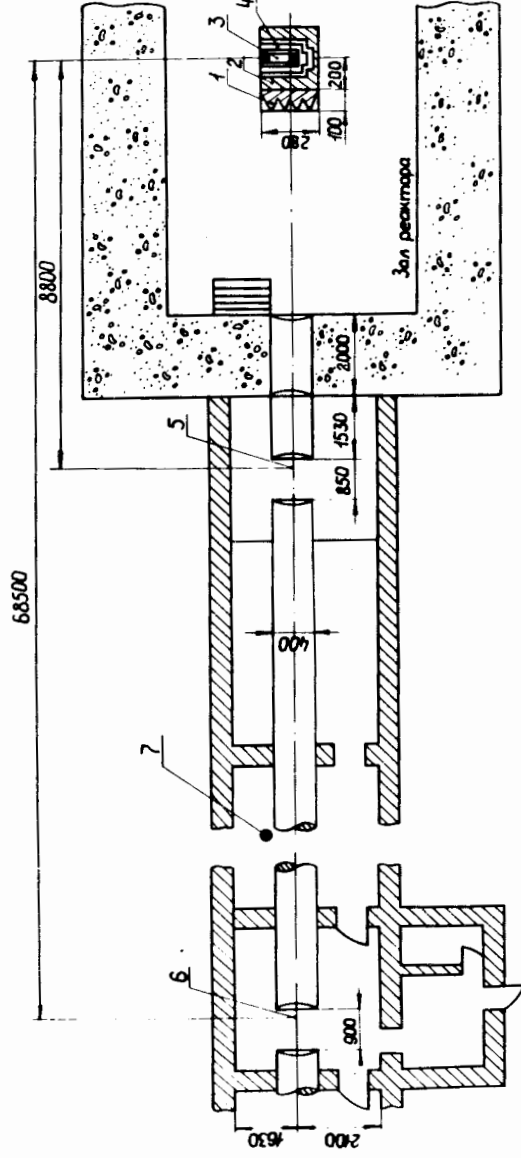


Рис. 1. Геометрия эксперимента. 1 - гребенчатый замедлитель, 2 - водяной замедлитель, 3 и 4 - стационарная и подвижная зоны реактора, 5 и 6 - места сравнения, 7 - монитор пучка.

Детектором РД являлась плоско-параллельная трех-электродная ионизационная камера, аналогичная описанной в ^{12/}, с чувствительным объемом 6 см³. Корпус камеры выполнен из оргстекла, электроды - из тканезквивалентной пластмассы, расстояние между электродами - 2 мм. Камера наполнена смесью пропана /73%/ и воздуха /27%/ до общего давления 3,5 ата. Общая толщина детектора эквивалентна ~1 г/см² ткани.

При сравнении показаний детекторов, регистрирующих нейтроны, мы полагали, что эквивалентная доза, вычисленная с использованием спектра нейтронов, наиболее близка к истинной эквивалентной дозе.

Приборы и детекторы облучались в пучке ИБРа-30 ^{12/}, при этом они располагались на расстояниях 8,8 и 68,5 м от центра активной зоны реактора, причем основные измерения /включая измерения с рекомбинационным дозиметром/ были сделаны на расстоянии 68,5 м. Проведены 3 эксперимента. Мощность реактора при этом была 15±21 кВт, частота импульсов 5 Гц. В качестве замедлителя в первом эксперименте использовался слой воды толщиной 40 мм, в двух последующих экспериментах на пучке нейтронов - сложный замедлитель, состоящий из 30 мм воды с карбидом бора и "гребенчатого" водяного фильтра, назначение которого состояло в обогащении пучка промежуточными нейтронами. Геометрия эксперимента приведена на рис. 1. С помощью LiF-детектора была оценена однородность поля излучения в пучке; в пределах погрешности измерений /~15%/ неоднородность поля не обнаружена.

Информация о спектрах нейтронов бралась из работы ^{13/}, в которой спектры нейтронов в области энергий 10⁻⁸ ÷ 15 МэВ восстанавливались методом статистической регуляризации /МСР/ по показаниям активационных детекторов нейтронов - тепловых, резонансных, пороговых, а также тепловых детекторов в шаровых полиэтиленовых замедлителях ^{10,11,18/} /рис. 2,3/. На рис. 2 для сравнения представлен спектр нейтронов реактора ИБР-30, измеренный по методу времени пролета ^{12/} на расстоянии 68,6 м от центра активной зоны. На основании спектров нейтронов при использовании коэффициентов перехода от флюенса

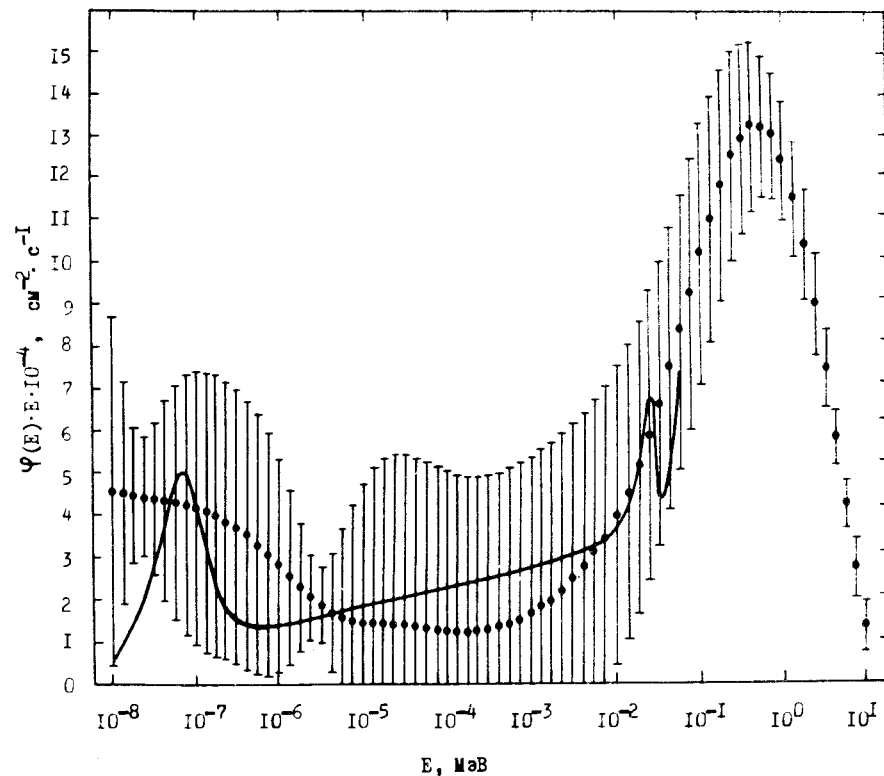


Рис. 2. Спектр нейтронов $\phi(E) \cdot E$ на расстоянии 68,5 м от зоны реактора ИБР-30; $\phi(E)$ - дифференциальная энергетическая зависимость плотности потока нейтронов, $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{МэВ}^{-1}$; E - энергия нейтронов, МэВ; ϕ - данные ^{13/}; — - по данным ^{12/}.

моноэнергетических нейтронов к МЭД ^{1/} определялись ^{13/} значения эквивалентных доз нейтронов /см. рис. 4/.

Проведенные для этих спектров оценки показывают, что эквивалентные дозы, вычисленные по сумме максимумов и по максимуму суммы кривых глубинного распределения H для моноэнергетических нейтронов, совпадают в пределах 1%.

Измерения дозы рекомбинационным дозиметром РД мы проводили в водном эллиптическом /35x24x60 см/

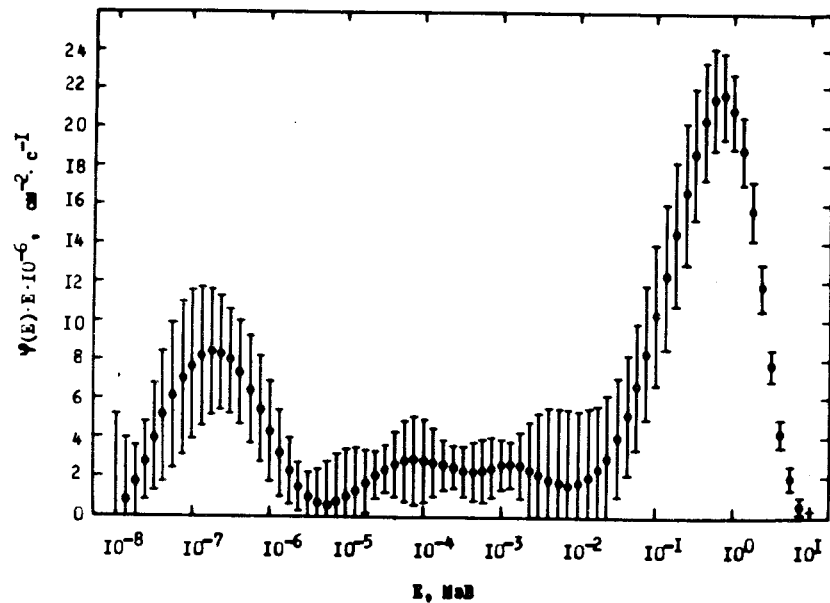


Рис. 3. Спектр нейтронов $\phi(E) \cdot E$ на расстоянии 8,8 м от активной зоны реактора ИБР-30 по данным ^{13}C ; $\phi(E)$ — дифференциальная энергетическая зависимость плотности потока нейтронов, $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{МэВ}^{-1}$; E — энергия нейтронов, МэВ.

фантоме, погружая камеру в фантом вплотную к его передней стенке, так что измеренная с помощью РД доза относится к толщине $\sim 1,4$ см воды фантома. Графитовую камеру облучали как без фантома, так и с фантомом, причем в последнем случае центр камеры находился приблизительно в 5 см от поверхности фантома. Облучение детекторов ИДК проводилось как без фантома, так и на его поверхности /фантом размером $34 \times 17 \times 34$ см заполнялся тканезквивалентной жидкостью/. При измерении дозы гамма-излучения с помощью LiF -детекторов и ИКС-А для исключения влияния тепловых нейтронов на показания детекторов использовали экраны из ^{13}C , ослабляющие поток тепловых нейтронов примерно в 10^3 раз.

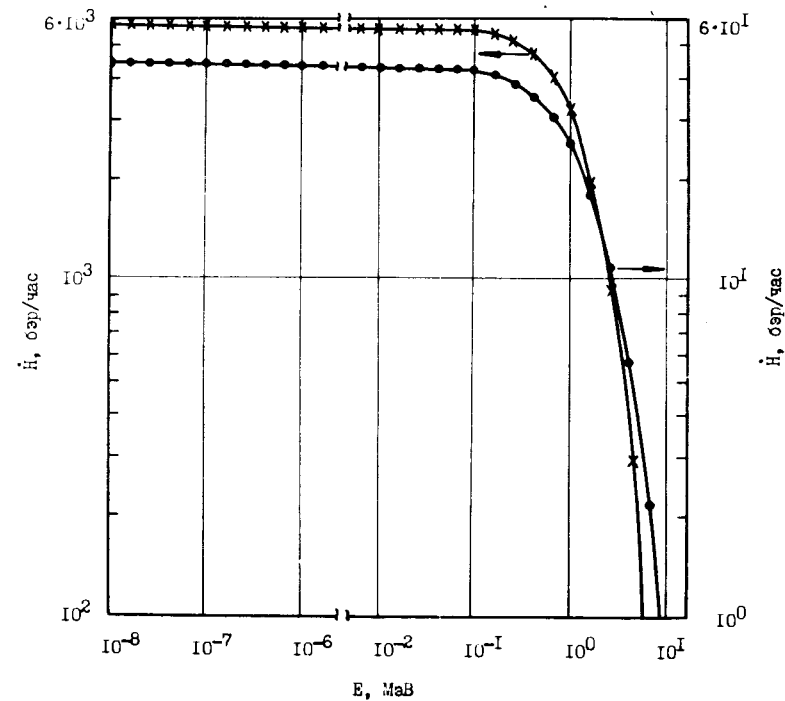


Рис. 4. Значения эквивалентных мощностей доз нейтронов H бэр/час с энергиями больше $E/\text{МэВ}$ по данным ^{13}C : —x—x— на расстоянии 8,8 м от активной зоны реактора; —o—o— на расстоянии 68,5 м от активной зоны реактора.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Значения эквивалентной дозы нейтронов, измеренные разными детекторами на расстоянии 68,5 м от центра активной зоны реактора, приведены в табл. 2. В последней колонке даны отношения измеренных величин к эквивалентной дозе, вычисленной с использованием измеренных спектров и коэффициентов перехода от флюенса моноэнергетических нейтронов к МЭД. В табл. 3 представлены значения мощности суммарных поглощенной и эквивалентной доз нейтронов и гамма-излучения и отношение этих доз к дозам, измеренным рекомбинационным дозиметром РД.

Таблица 2

Сравнение показаний детекторов, регистрирующих нейтроны
/R = 68,5 м от зоны реактора/

Наименование детектора, методик	: Мощность эквивалентной дозы, \dot{H} , бэр/час		: Отношение показаний детектора к показанию нейтронной				
	$E \geq 0,5$ МэВ	$E < 0,5$ МэВ					
Ид:	: 10^{-8} рад/с		: 1977 г.				
Ид:	: 1974 г.						
1. \dot{H} - вычисленная с использованием спектра нейтронов	-	20	33,5	-	27	41	1,00
2. \dot{H} в подгруппе замедлителя Φ 25,4 см	-	-	-	57	35	37	1,30
3. \dot{H} в парафинном замедлителе Φ 28 см	-	-	-	43	34	-	1,26
4. Рекомендационный дозиметр РД	-	-	-	(53)	(33)	(45)	(1,12)
5. Дозиметр МЭК	(28)	(12)	(19)	(36)	(15)	(25)	(0,58) 0,36 г
6. в) ТД-600 + ТД-700 в кассете ИЭК	-	-	-	-	-	(152) 55	(3,45) 1,25
7. в) CaLiF - порошок	-	-	-	-	(18,0) 8,5	-	(0,67) 0,31

Примечания: В скобках указаны значения \dot{H} / бэр/час/ при облучении детекторов с фантомом. а/ Отношение усреднено по экспериментам 1975 и 1977 гг. б/ Из показаний РД вычитали показания графитовой камеры КГ. в/ Показания даны в Р/час. г/ Отношение показаний для дозы нейтронов с $E \geq 0,5$ МэВ.

Таблица 3

Сравнение показаний детекторов, регистрирующих суммарную дозу гамма-излучения и нейтронов
/R = 68,5 м от зоны реактора/

Наименование детектора, методик	: Мощность поглощенной дозы \dot{D} , рад/час		: Мощность эквивалентной дозы \dot{H} , бэр/час		: Отношение показаний детекторов к показанию РД	
	: 1974 г.	: 1975 г.	: 1977 г.	: 1975 г.		
	: 1974 г.	: 1975 г.	: 1977 г.	: 1975 г.	: 1977 г.	
1. Рекомендационный дозиметр (РД)	(6,0)	(4,5)	(5,8)	(34)	(46)	1,00
2. Рекомендационный дозиметр ИИ-2	-	-	8,3	-	81	1,76
3. Дозиметр ИФКн	-	-	-	(39)	(27)	(0,59)
4. CaLiF -порошок в кассете ИЭК (24) (аварийный дозиметр) 4,0	(20)	(26) 11	-	-	-	(4,89) 1,55
5. CaLiF -порошок	-	(19) 11	-	-	-	(0,60) 0,20
6. ТД-600 в кассете ИЭК	-	(154) 56	-	-	-	(3,78) 2,44
7. Дозиметр ИИД-2	-	(2,2) 1,8	-	-	-	(26,6) 9,65
8. Дозиметр ИКС-А	(2,0) 0,74	-	-	-	-	(0,49) 0,40
						(0,33) 0,12
						(0,04) 0,01

Примечание: В скобках указаны значения \dot{H} / бэр/час/ при облучении детекторов с фантомом. а/ Отношение усреднено по всем экспериментам. б/ Представлено отношение \dot{D} Р. час⁻¹ / \dot{H} рад. бэр. час⁻¹.

Данные по сравнению показаний детекторов при облучении их на расстоянии 8,8 м от активной зоны представлены в табл. 4. При оценках погрешностей в измерении мощностей эквивалентных доз с помощью индиевого детектора в замедлителе и спектра нейтронов учитывались только ошибки при градуировке $\sim 10\%$ и измерениями активностей детекторов $\sim 3-7\%$.

Ошибка в определении эквивалентной дозы с помощью рекомбинационного дозиметра РД не превышает 20% и обусловлена в основном методической ошибкой при определении коэффициента качества 14 .

Погрешность приведенных в таблицах результатов ИФКн составляет $\pm 10\%$ /среднеквадратичная ошибка/ и обусловлена статистической ошибкой $\sim 5\%$, погрешностью в определении градуировочного коэффициента по $Pu + Be$ источнику $\pm 7\%$ и неопределенностью в показаниях мониторов $\sim 3 \div 5\%$.

Показания детекторов ТЛД-600 и ТЛД-700 приведены с погрешностью $\sim 8\%$, обусловленной в основном неточностью при градуировке. Погрешность результатов, полученных с помощью $^{6,7}LiF$ -детекторов, не выходит за пределы 20% .

В экспериментах получено удовлетворительное согласие /в пределах $\pm 15\%$ / измерения дозы гамма-излучения с помощью графитовой камеры КГ, рентгеновской пленки ORWO в кассете ИФК, ^{7}LiF -детекторов /ТЛД-700/ и порошка $^{6,7}LiF$ в экране из B_4C .

Доза тепловых нейтронов, полученная по показаниям ТЛД-600 и ТЛД-700 с использованием чувствительности ТЛД-600 к тепловым нейтронам, равной $80 \div 84 P/бэр$ 15,16 , в пределах $\sim 15\%$ совпадает со значением дозы, определенной по активации детекторов из золота.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для выяснения причин расхождения результатов ИФКн с данными, полученными с помощью рекомбинационного дозиметра и спектра, была вычислена реакция дозиметра ИФКн на основании знания спектра нейтронов в пучке и зависимости чувствительности дозиметра от энергии

Таблица 4

Сравнение показаний детекторов при облучении их на расстоянии 8,8 м от зоны реактора

№: Наименование детекторов, методик	Мощность эквивалентной дозы нейтронов H_n , бэр/час		Мощность суммарной дозы $H_n + H_\gamma$, а) бэр/час		Отношение показаний детектора к значению $H_n + H_\gamma$ позиции I
	$E \geq 0,5 \text{ МэВ}$	$E \leq 15 \text{ МэВ}$	1974 г.	1975 г.	
1. H_n вычисленная с использованием спектра нейтронов	-	2740	-	3530	-
2. H_n в полиетиленовом замедлителе ϕ 25,4 см	-	-	-	4270	1,21
3. H_n в парафиновом замедлителе ϕ 28 см	-	-	4260	4100	1,16
4. Активационные пороговые детекторы	5600	3100	-	3160	$0,88$ $[1,13]$
5. в) $^{6,7}LiF$ -порошок в кассете ИФК (аварийный дозиметр)	-	-	-	(2660) 580	(0,62) 0,12
6. в) $^{6,7}LiF$ -порошок	-	-	-	(2000) 460	(0,45) 0,13
7. в) Дозиметр ИКС-А	-	-	-	(190) 79	-

Примечание: В скобках указаны значения H_n /бэр/час/ при облучении детекторов с фантомом. а) H_n для позиций 1-4 взята из данных ИФК по пленке ORWO. б) Отношение для эквивалентной дозы нейтронов с $E \geq 0,5 \text{ МэВ}$. в) Показания даны в $P/час$

падающих нейтронов. Хорошее соответствие /в пределах нескольких процентов/ полученного таким образом числа треков числу треков, зарегистрированных при просмотре эмульсий на микроскопе, указывает на удовлетворительное качество просмотра при обработке индивидуальных дозиметров. Однако применение градуировочного коэффициента, полученного с использованием $Pu+Be$ источника нейтронов, для определения индивидуальной эквивалентной дозы в данном случае некорректно. Из вычисления усредненной по спектру нейтронов чувствительности ИФКн к быстрым нейтронам $/E \geq 0,5 \text{ МэВ}/$, вклад которых в эквивалентную дозу нейтронов составляет примерно 75%, следует, что она в 1,5 раза ниже, чем для $Pu+Be$ источника. Этот фактор, а также то, что 20% полной дозы нейтронов практически не регистрируется дозиметром ИФКн ^{15/}, приводит к регистрации только 60% наиболее вероятной эквивалентной дозы нейтронов в пучке ИБРа-30.

Завышение поглощенной и эквивалентной дозы комбинационным дозиметром REM-2, вероятно, связано с повышенным /относительно тканезквивалентного состава/ содержанием водорода в газе, наполняющем камеру REM-2.

Данные, приведенные в табл. 2-4, свидетельствуют о перспективности использования ТЛД-детекторов на основе LiF в индивидуальной дозиметрии на реакторе, однако необходимы дальнейшие исследования показаний таких детекторов при облучении их в полях рассеянных нейтронов.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Широко используемый дозиметр ИФКн при градуировке с помощью $Pu+Be$ источника в 1,7 раза занижает эквивалентную дозу, получаемую сотрудниками при работе в полях, аналогичных полю нейтронов в пучке ИБРа-30. В этой связи градуировку следует проводить с источниками, спектр нейтронов которых более близок к спектру реактора.

2. Численное значение дозы в рентгенах аварийного дозиметра $^{60}Co \cdot LiF^{17/}$ может служить для оценки эквивалентной дозы /занижает дозу на 35-40%/.

3. Дозиметр КИД-2 завышает дозу гамма-излучения за счет регистрации дозиметром нейтронов.

4. Данные, полученные на основании энергетических спектров нейтронов, указывают на вполне удовлетворительное /в пределах ошибок/ согласие их с данными РД.

5. Широко используемый на практике метод определения эквивалентной дозы с помощью детектора тепловых нейтронов /в данном случае In / в полиэтиленовом шаре диаметром 25,4 см и в парафиновом шаре диаметром 28 см дает удовлетворительные результаты.

Авторы благодарят сотрудников групп радиационного контроля на установках Лаборатории нейтронной физики и индивидуального дозконтроля за помощь при проведении экспериментов и обработку показаний детекторов ИДК.

ЛИТЕРАТУРА

1. ICRU Rep. 20, Radiation Protection, Instrumentation and its Application. International Commission on Radiation Units and Measurements. Washington, D.C., 1971, p.7.
См. также: Радиационная безопасность. Величины, единицы, методы и приборы. Доклады XIX и XX МКРЕ /пер. с англ. под ред. И.Б.Кеурим-Маркуса/, Атомиздат, М., 1974.
2. Зельчинский М. и др. ОИЯИ, P16-5383, Дубна, 1970.
3. Zielczynski M., Zarnowiecki K. A Differential Recombination Chamber. In: Neutron Monitoring. IAEA, Vienna, 1966, p.125.
4. Золин Л.С., Лебедев В.Н., Салацкая М.И. АЭ, 1962, 13, с.467.
5. Комочков М.М., Салацкая М.И. ОИЯИ, P16-9780, Дубна, 1976.
6. Becker K. Solid State Dosimetry CRC Press, Cleveland, Ohio, USA, 1973.
7. Бочвар И.А. и др. Метод. дозиметрии ИКС. Атомиздат, М., 1977.
8. Zielczynski M. Report IBJ Nr. 148/XIX/D/B., Warszawa, 1973, p.8.

9. Скотников В.И., Лапкин В.В. Эксплуатация и ремонт аппаратуры для измерения ионизирующих излучений. Вып. 3, Дозиметры, под ред. Е.А.Левандовского. Атомиздат, М., 1973, с.8.
10. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-9123, Дубна, 1975.
11. Алейников В.И. и др. ОИЯИ, Р16-9621, Дубна, 1976.
12. Голиков В.В. и др. ОИЯИ, 3-5736, Дубна, 1971.
13. Бамблевский В.П., Гречко В.В. ОИЯИ, Б1-16-12123, Дубна, 1979.
14. Зельчинский М. Определение качества излучения рекомбинационными методами. In: *Biophysical Aspects of Radiation Quality. Second Panel Report. IAEA, Vienna, 1968, p.125.*
15. Harvey J.R. et al. *Personal Dosimeter for Measuring the Dose from Thermal and Intermediate-Energy Neutrons and from Gamma and Beta Radiations. In: Proc. of the Symposium of Neutron Monitoring for Radiation Protection Purposes, vol. II, IAEA, Vienna, 1973, p.199.*
16. Tanaka S., Furuta J. *Nucl. Instr. and Meth.*, 1976, 133, p.495.
17. Комочков М.М., Салацкая М.И. ОИЯИ, Р16-8175, Дубна, 1974.
18. Бамблевский В.П., Гречко В.В. ОИЯИ, Р16-12069, Дубна, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 декабря 1978 года.