

СПЕКТРЫ НЕЙТРОНОВ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ ПЕРСОНАЛА БАЛАКОВСКОЙ АЭСDOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2020.2.70.534](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.2.70.534)*Алексеев Александр Григорьевич**старший научный сотрудник,**«НИЦ Курчатовский институт»-ИФВЭ, г.Протвино**Алексеев Павел Александрович**старший научный сотрудник, ктн**АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»***NEUTRON SPECTRA AT THE PERSONAL WORKPLACE OF THE BALAKOVO NUCLEAR POWER PLANT***Alexeev A.G.**NRC «Kurchatov Institute» – IHEP**Alexeev P.A.**JSC "SSC RF – IPPE"***АННОТАЦИЯ**

Приведены результаты измерений и расчетов спектров нейтронов в помещениях временного и постоянного пребывания персонала Балаковской АЭС. Представлен способ измерения, дано описание используемых средств измерения и методика их калибровки.

ABSTRACT

The results of measurements and calculations of neutron spectra in the rooms of temporary and permanent stays of the personnel of the Balakovo NPP are presented. A measurement method is presented, a description of the measurement tools used and a method for calibrating them are given.

Ключевые слова: нейтроны, спектр, дозиметр, реактор, АЭС

Keywords: neutrons, spectrum, dosimeter, reactor, NPP

ВВЕДЕНИЕ

Измерение спектров нейтронов на рабочих местах персонала способствует созданию более точного методического обеспечения индивидуального дозиметрического контроля. На российских атомных электрических станциях (АЭС) в рутинном индивидуальном дозиметрическом контроле нейтронного излучения применяются альбедные индивидуальные дозиметры на основе термолюминесцентных (ТЛД) детекторов. Методические рекомендации по использованию таких дозиметров подробно представлены в [1]. Одной из особенностей этих дозиметров является необходимость использовать калибровку (поправочный коэффициент), величина, которого зависит от спектра нейтронов в месте облучения. Данная работа является продолжением исследований [2], где приведены результаты измерений спектров нейтронов на рабочих местах установок «НИЦ Курчатовский институт». В данной работе представлены результаты измерения и расчетов спектров нейтронов в помещениях временного и постоянного пребывания персонала Балаковской АЭС.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ

Метод измерения в данной работе тот же, что и в работе [2]. Для измерения характеристик нейтронного излучения использовались следующие средства измерения:

- ДКС96Н с блоком детектирования БДМН-96 и стандартным замедлителем;
- ДКС96Н с блоком детектирования БДМН-96 и набором замедлителей (ДСН-2) [2, 3], которые

обеспечивают возможность измерять спектр нейтронов (плотность потока нейтронов) в интервале энергий от тепловой до 10 МэВ;

Методика поверки и калибровка ДСН-2 описана в [2] и включает в себя несколько этапов. На первом этапе ДКС96Н поверяется на стандартизированной установке УКПН-М. Следующим шагом является выполнение измерений с ДКС96Н (блок детектирования БДМН-96 с разными замедлителями) в поле излучения Pu-Be источника в открытой геометрии. Источник находится в сферическом полиэтиленовом замедлителе диаметром 16,5 см. Дополнительно выполняется калибровка по чувствительности к тепловым нейтронам на установке УКПН-М, которая дополняется тепловой насадкой.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе рассматривается три вида работ персонала Балаковской АЭС (и соответственно три разных источника нейтронов), когда возможно облучение нейтронным излучением:

- осмотр оборудования в помещениях гермообъема (ГО) при работе реакторной установки на мощности;
- работы в помещениях, где находятся нейтронные радионуклидные источники нейтронов (типа ИБН-7 или ИБН-9) – работы по наладке и настройке концентратомеров бора;
- вывоз и хранение отработанного ядерного топлива (ОЯТ), работа рядом с транспортным контейнером (ТК-13) с ОЯТ.

На рисунках 1 и 2 показаны точки измерения в помещениях гермообъема. Измерения проводились на площадке осмотра главного циркуляционного насосного агрегата (ГЦНА) (помещение 1, см. рис.1.) на уровне пола рядом с ГЦНА, а также в различных точках вблизи реактора (см. рис.2).

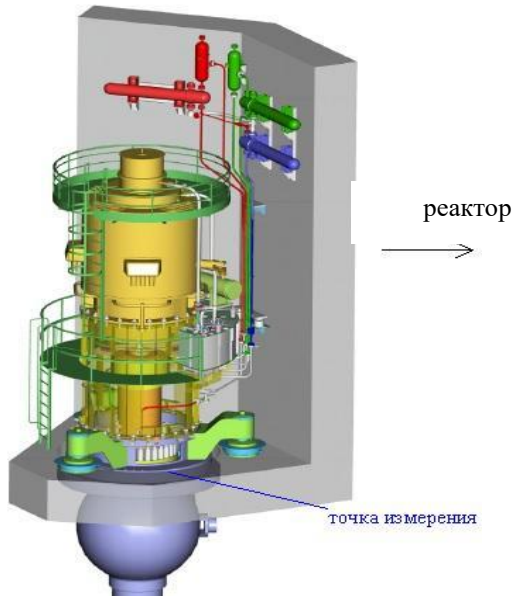


Рис.1.– Точка измерения рядом с ГЦНА (помещение 1)

В данной работе измерения были выполнены в точке 4 (возле двери в подреакторное пространство). В остальных точках показанных на рисунке 2 измерения спектров нейтронов были выполнены при проведении исследования эффективности биологической защиты при пуске 3-го блока Калининской АЭС [5].

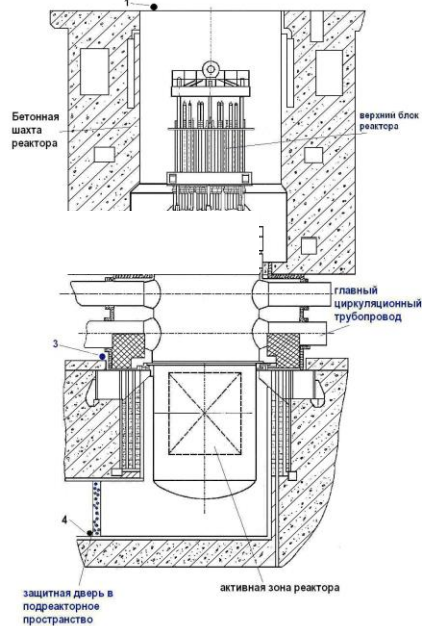


Рис.2. – Схема точек измерения спектров нейтронов рядом с реактором.

Точки измерения в помещениях, где выполняются работы с источниками нейтронов (помещение 2 – помещение настройки и ремонта систем контрадетометров бора) схематично представлены на рисунке 3. На рисунках 4 – 6

схематично показаны точки измерения в помещениях контроля концентрации бора в теплоносителе 1-го контура реактора обстройки 3-го энергоблока (помещения 3, 4, 5)

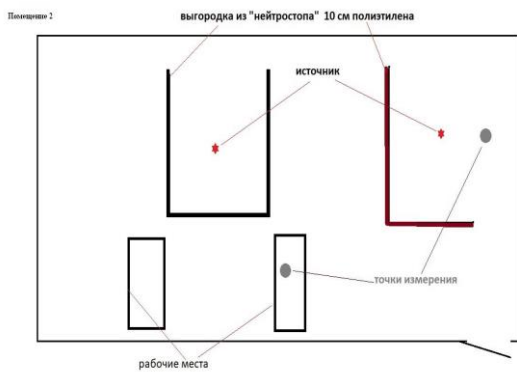
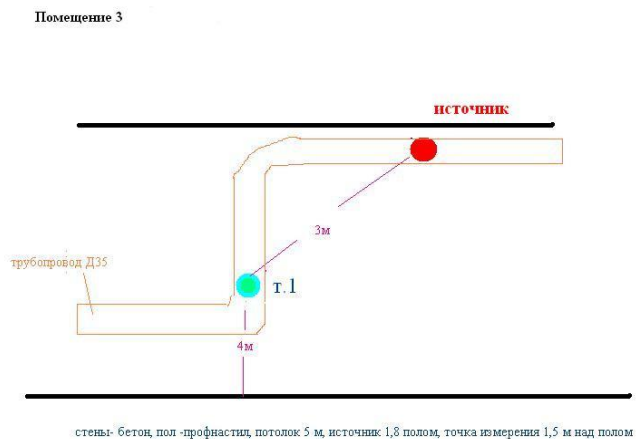


Рис. 3 – Точки измерения в помещении 2



стены- бетон, пол-профнастил, потолок 5 м, источник 1,8 м, точка измерения 1,5 м над полом

Рис. 4 – Точка измерения в помещении 3. Толстые линии –толстые бетонные стены

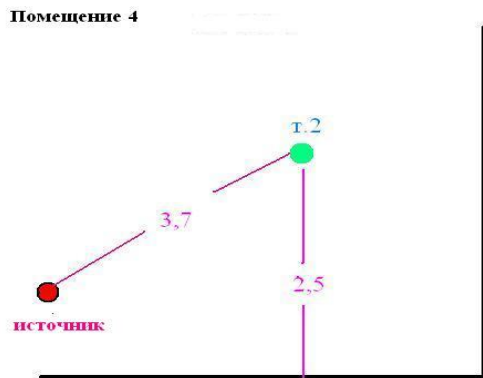


Рис. 5 – Точка измерения в помещении 4.
Толстые линии – бетонные стены

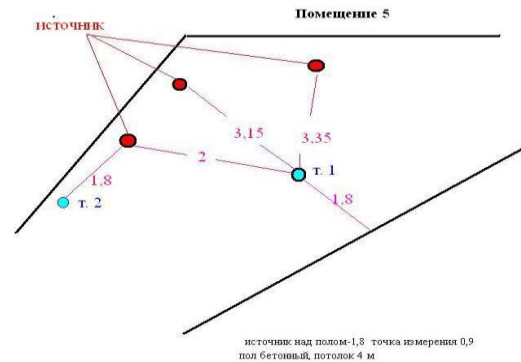


Рис. 6 – Точки измерения в помещении 5

Спектры нейтронов утечки из контейнеров ТК13 с ОЯТ были определены расчетным способом для двух случаев, когда ТК13 находится в транспортном коридоре энергоблока (бетонный

колодец) и ТК13 находится на открытой площадке. Для расчетов использовалась Монте-Карловская программа MCNP [4]. На рисунках 7 и 8 приведена геометрия расчета.

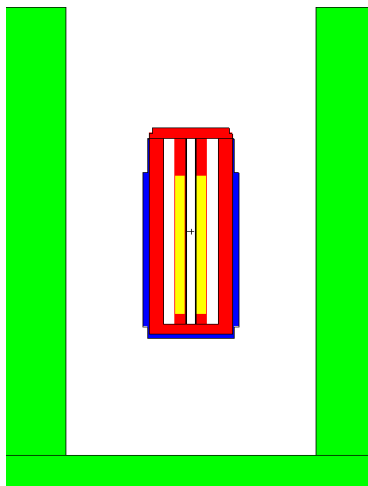


Рисунок 7 – Геометрия расчета спектров нейтронов утечки из ТК13.
ТК13 в бетонном коридоре – транспортный коридор под транспортным люком

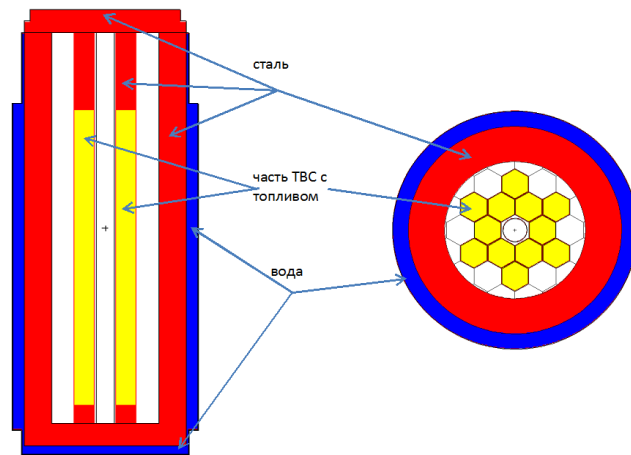


Рисунок 8 – Геометрия расчета для ТК13

Геометрия и материальный состав расчетной модели ТК13 для оценки спектра нейтронов расчетов представлены в работах [5,6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

В таблице 1 приведены отдельные результаты измерений с использованием блока детектирования

БДМН-96 в различных замедлителях. Результаты измерения амбиентного эквивалента дозы проведены с помощью дозиметра ДКС96Н. В таблице 2 и на рис. 9-13 приведены спектры нейтронов в отдельных точках измерения.

Таблица 1.

Показания блока детектирования БДМН-96 в используемых замедлителях.

Замедлитель	Точка измерения* и Показания Блок БДМН-96, мЗв/ч				
	Спектр1-ГО	Спектр2-ГО	Спектр1	Спектр 2	
ДКС-96Н	1,92	19,4	4,62	32,5	
10"	3,15	36,46	5,07	38,77	
8	6,69	80,36	7,05	39,73	
7	9,57	123,4	6,78	35,57	
5	13,40	152,8	6,84	33,63	
3	5,61	74,22	2,43	9,47	
К	0,77	4,73	0,6	4,85	
Г	3,40	27,8	2,31	7,25	
Замедлитель	Точка измерения и Показания Блок БДМН-96, мЗв/ч				
	Спектр 3	Спектр 4	Спектр 5	Спектр 6	Спектр 7
ДКС-96Н	0,38	13,50	7,23	48,52	60
10"	0,83	15,58	7,23	65,42	76,96
8	0,81	21,27	9,43	78,18	94,64
7	0,95	20,55	12,30	91,34	103,04
5	0,73	16,47	11,35	78,92	90,66
3	0,38	6,67	10,37	29,62	35,04
К	0,07	1,50	4,73	6,24	6,80
Г	0,75	3,60	0,78	24,60	28,02

*Спектр 1-ГО – Помещение машины осмотра корпуса реактора; Спектр 2-ГО – Помещение ГА504/2; Спектр 1 – Помещение 2. Рядом с настроечным стендом (источник нейтронов в рабочем положении); Спектр 2 – Там же, источник нейтронов в 60 см от точки измерения; Спектр 3 – Там же, на рабочем столе; Спектр 4 – Помещение 4, точка 1; Спектр 5 – Помещение 4, точка 2; Спектр 6 – Помещение 5, точка 1; Спектр 7 – Помещение 5, точка 2

Таблица 2

Значения плотности потока нейтронов в точках измерения

Верхняя граница группы, МэВ	Плотность потока нейтронов в группе, н/(см ² с)			
	Точка измерения*			
	1	2	3	4
4,67E-07	683,8	5,9982	3,49E-08	9,51E-08
1,00E-06	1,30E+02	1,57E+00	4,35E-10	7,59E-10
2,15E-06	1,28E+02	1,56E+00	3,25E-10	4,71E-10
4,65E-06	1,49E+02	1,63E+00	2,86E-10	1,13E-09
1,00E-05	1,65E+02	1,63E+00	2,79E-10	9,38E-10
2,15E-05	1,56E+02	1,64E+00	2,51E-10	2,81E-09
4,64E-05	1,90E+02	1,87E+00	2,35E-10	1,70E-09
1,00E-04	1,82E+02	2,00E+00	2,33E-10	1,37E-09
2,15E-04	2,22E+02	2,44E+00	2,20E-10	1,28E-09
4,64E-04	2,72E+02	2,99E+00	1,98E-10	3,58E-10
1,00E-03	2,99E+02	3,29E+00	1,87E-10	6,72E-10
2,15E-03	4,02E+02	4,42E+00	1,65E-10	2,75E-09
4,64E-03	5,15E+02	5,67E+00	1,95E-10	2,33E-10
1,00E-02	5,85E+02	6,43E+00	1,48E-10	1,80E-10
2,15E-02	7,19E+02	7,91E+00	1,53E-10	5,80E-10
4,62E-02	7,43E+02	8,17E+00	1,54E-10	1,40E-10
1,00E-01	7,73E+02	8,50E+00	1,88E-10	3,49E-10
2,00E-01	7,73E+02	8,50E+00	2,14E-10	4,92E-10
4,00E-01	6,03E+02	5,90E+00	2,45E-10	3,77E-09
8,00E-01	4,05E+02	4,10E+00	2,69E-10	9,08E-10

1,40E+00	2,38E+02	2,31E+00	1,32E-10	3,87E-10
2,50E+00	1,22E+02	1,39E+00	9,13E-11	3,66E-10
4,00E+00	2,26E+01	3,59E-01	2,69E-11	5,77E-11
6,50E+00	1,34E-01	9,94E-02	1,51E-11	5,02E-11
1,05E+01	7,79E-03	4,04E-03	6,94E-12	3,66E-11
1,40E+01	8,65E-03	8,42E-03	2,30E-13	8,79E-13
1,45E+01	3,75E-03	3,73E-03	1,51E-15	2,48E-14
Верхняя граница группы, МэВ	Плотность потока нейтронов в группе, н/(см ² с)			
	Точка измерения*			
	5	6	7	8
4,67E-07	0,445	0,178	0,546	5,52
1,00E-06	9,27E-02	2,28E-02	2,53E-01	1,52E+00
2,15E-06	9,27E-02	2,28E-02	2,53E-01	1,52E+00
4,65E-06	9,39E-02	2,31E-02	2,56E-01	1,54E+00
1,00E-05	9,38E-02	2,30E-02	2,56E-01	1,54E+00
2,15E-05	9,44E-02	2,15E-02	2,57E-01	1,54E+00
4,64E-05	9,57E-02	1,48E-02	2,61E-01	1,57E+00
1,00E-04	9,67E-02	1,41E-02	2,64E-01	1,58E+00
2,15E-04	9,79E-02	9,79E-03	2,67E-01	1,60E+00
4,64E-04	9,98E-02	9,98E-03	2,72E-01	1,63E+00
1,00E-03	1,02E-01	1,02E-02	2,77E-01	1,66E+00
2,15E-03	1,04E-01	9,47E-03	2,84E-01	1,71E+00
4,64E-03	1,02E-01	1,02E-02	2,93E-01	1,84E+00
1,00E-02	1,02E-01	8,47E-03	2,82E-01	1,82E+00
2,15E-02	1,25E-01	6,83E-03	3,42E-01	2,07E+00
4,62E-02	1,19E-01	7,27E-03	3,57E-01	1,81E+00
1,00E-01	1,20E-01	6,52E-03	4,63E-01	2,40E+00
2,00E-01	1,31E-01	7,44E-03	4,37E-01	3,06E+00
4,00E-01	2,03E-01	8,53E-03	6,72E-01	4,70E+00
8,00E-01	3,40E-01	1,78E-02	1,11E+00	6,14E+00
1,40E+00	5,28E-01	3,95E-02	1,41E+00	6,72E+00
2,50E+00	6,02E-01	1,10E-01	1,57E+00	7,13E+00
4,00E+00	6,28E-01	1,09E-01	1,68E+00	7,06E+00
6,50E+00	3,33E-01	4,27E-02	1,03E+00	4,46E+00
1,05E+01	1,23E-02	2,43E-04	1,23E-02	1,56E-02
1,40E+01	8,41E-03	3,37E-04	8,41E-03	8,41E-03
1,45E+01	3,73E-03	1,49E-04	3,73E-03	3,73E-03

*1– спектр, ГО точка 4; 2 -спектр ГО помещение 1; 3 – спектр нейтронов утечки с на 1 м от поверхности ТК13 в бетонном коридоре; 4 – спектр нейтронов утечки с поверхности ТК13 в бетонном коридоре; 5 – Помещение 3, рядом с настроечным стендом, источник нейтронов в рабочем положении; 6 – там же на рабочем столе; 7– помещение 4, точка 1; 8 – помещение 5 точка 2.

На рисунке 9 приведены спектры нейтронов, в помещении 1 и в точке 4 (см. рис. 2), для сравнения приведен спектр, измеренный в точке 4 на 3-м энергоблоке Калининской АЭС. Небольшое

различие спектров в диапазоне 2-3 МэВ между настоящими измерениями и представленными в работе [7] можно объяснить разным методическим

подходом к восстановлению спектра (различие в априорной информации).

Как было показано в работе [7] спектры нейтронов в помещениях ГО практически мало отличаются. На рисунке 10 приведено сравнение измеренной плотности потока нейтронов (помещение 1) и расчетной (точка 2, рис. 2) из работы [8]. Различие в «мягкой» части спектра между расчетом и измерением можно объяснить

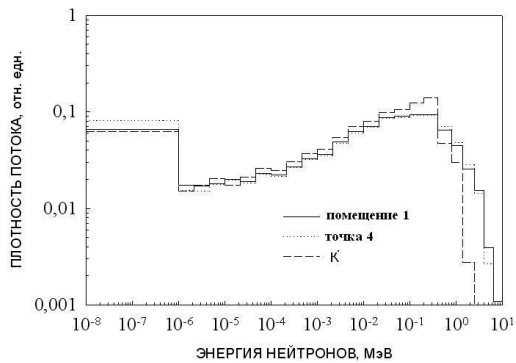


Рисунок 9 – Спектры нейтронов, в помещении 1 и точки 4 (рис.2) для сравнения приведен спектр «К»- на 3-м энергоблоке Калининской АЭС

На рис 12 приведены спектры нейтронов в помещении 2 вблизи источника нейтронов (работа персонала при перегрузке источника из контейнера

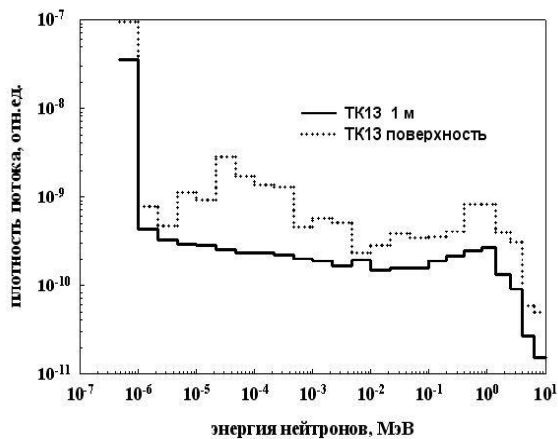


Рисунок 11 – Плотность потока нейтронов, спектр 3 (ТК 1м) и 4 (ТК13 поверхность) из таблицы 2.

На рис. 13 приведены спектры нейтронов в помещениях 4 (точка 1) и помещении 5 (точка 2, рис. 4-6), где находятся установки по измерению концентрации бора в 1-м контуре реактора. Точки

разной геометрией, где выполнялись измерения и расчет.

На рис.11 приведены расчетные спектры утечки нейтронов из ТК13. В работе [9] показано, что спектры нейтронов вблизи ТК13 (на 1 м) практически не зависят от ситуации, находится ли ТК13 в бетонном транспортном коридоре или на открытой площадке, что объясняется размерами контейнера.

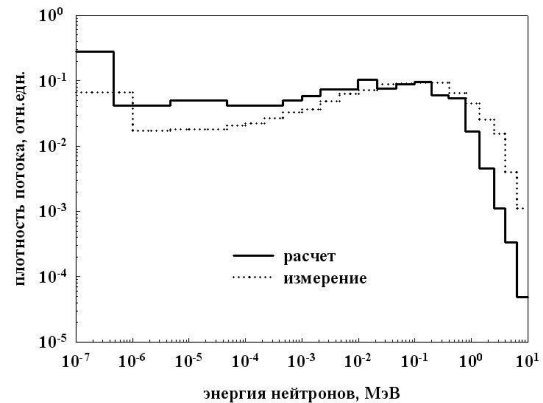


Рисунок 10 – плотность потока нейтронов «измерение» спектр ГО помещение 1», «расчет» -расчет спектра точка 2 (рис. 2).

в установку) и на рабочем месте персонала. Спектры различаются вкладом рассеянного излучения (нейтроны ниже 0,1 МэВ).

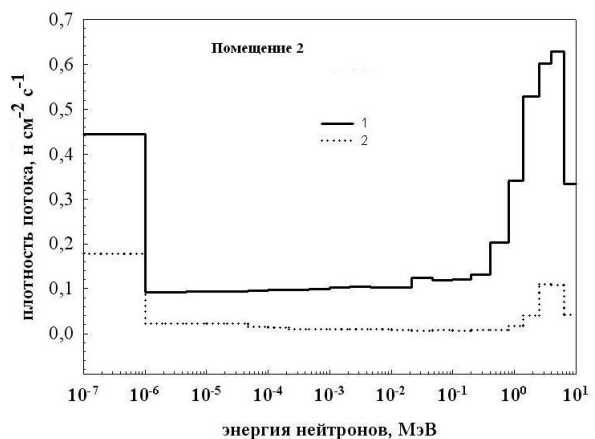


Рисунок 12 – Плотность потока нейтронов в помещении 3; 1- вблизи источника; 2- на рабочем месте. (рис. 3)

измерения выбраны в тех местах, где обычно находится персонал, при настройке приборов. В работе [9] показано, что спектры в этих помещениях не сильно отличаются друг от друга.

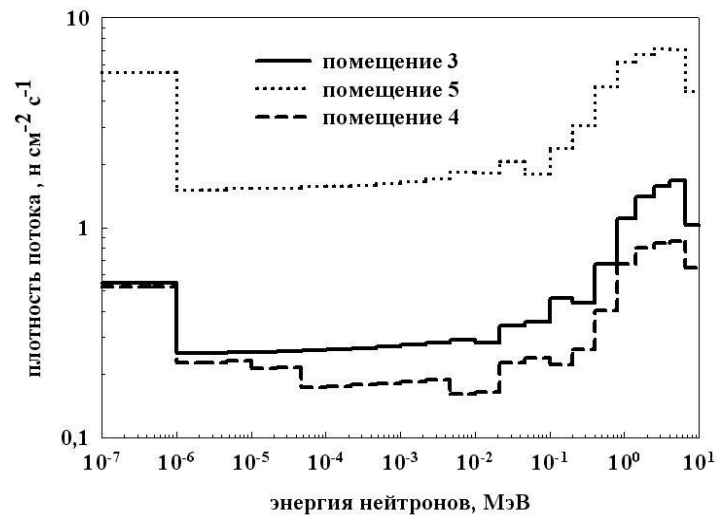


Рисунок 12 – Плотность потока нейтронов в помещениях 3, 4, 5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы получены спектры нейтронов в помещениях постоянного и временного пребывания персонала Балаковской АЭС. Спектры нейтронов можно сгруппировать в 3 группы: в помещениях гермообъема, в помещениях для работ с радионуклидными нейтронными источниками, помещения и зоны, где находятся транспортные контейнеры с ОЯТ. Учитывая это, в рекомендациях по проведению индивидуального дозиметрического контроля предложено вводить единую поправку при измерениях индивидуальной дозы нейтронов с помощью альбедных нейтронных дозиметров для всех работ для каждой из этих трех групп помещений [10].

Работа выполнена в рамках контракта ООО «АтомПромИнжиниринг» и Балаковской АЭС, при поддержке А.Ю.Соколова (ген. директора ООО «АПИ»). Отдельная благодарность Е.А.Зотову (начальнику лаборатории БалАЭС) за помощь в измерениях, В.А.Пикалову и Н.Н.Бараненкову за проведение измерений.

ССЫЛКИ:

1.«Дозиметрия. Определение индивидуальной эффективной дозы нейтронного излучения». Методические указания МУ 2.6.5.052-2017. Методическое обеспечение радиационного контроля в атомной отрасли. Том.5. Москва. 2018.

2.А.Г.Алексеев, П.А.Алексеев, А.А.Янович-Измерение спектров нейтронов за биологической защитой реакторов и ускорителя НИЦ «Курчатовского института»-DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2019.6.67.378- Журнал «Евразийский Союз Ученых (ЕСУ) №10,(67), 2019 стр.10-16.

3.А.Г.Алексеев, В.А.Пикалов, О.В.Суманеев, Е.В.Косьяненко, Г.И.Бритвич, Е.Г.Спириков, Н.В.Кирякова, С.А.Глазунов, В.В.Александров,

С.Ф.Пономарев, А.П.Куликов, П.Ф.Масляев/ «Измерение спектров нейтронного излучения на рабочих местах разделительного производства завода по обогащению урана», журнал «АНРИ», №4, 2005г., стр.49-60.

4.Denise B. Pelowitz, MCNPX User's Manual Version 2.6.0, April 2008 LA-CP-07-1473.

5.А.В. Курындин «Информационная система поддержки принятия регулирующих решений при транспортировании ОЯТ реакторов типа ВВЭР-440, ВВЭР-1000 и РБМК-1000» /Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук./ Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, Москва - 2013г,с.- 109

6.Характеристика ОЯТ и задачи радиохимической технологии URL: <https://studylib.ru/doc/4945260/1-harakteristika-oyat--tomskij-politehnicheskij-universitet> (дата обращения 01.02.2020)

7.А.Г.Алексеев, Е.В.Косьяненко, О.В.Суманеев, В.П.Крючков. -«Измерение спектров нейтронного излучения при пуске 3-го блока Калининской АЭС», в журнале АНРИ, №2, стр.55-61, 2006г.

8.«Установка реакторная В-320. Расчет радиационной защиты. Источники и уровни излучений при номинальном режиме. 320.00.00.00.000 РР20" ОКБ "Гидропресс", 1987.

9. Спектры нейтронов на рабочих местах Балаковской АЭС -Отчет№1/Бал-12. ООО «АПИ», Протвино,2019г.

10.Рекомендации об объеме и способах контроля индивидуальных доз облучения нейтронным и слабопроникающим (бета-, фотонным) излучениями персонала Балаковской АЭС, мощностей доз нейтронного и слабопроникающего (бета-, фотонного) излучения- Отчет № 2/Бал -12. ООО «АПИ», Протвино, 2019г.