

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

960/2-80

3/3-80  
16 - 12858

Г.А.Комендантова, М.М.Комочков, М.И.Салацкая,  
В.И.Цовбун

ИССЛЕДОВАНИЕ АДЕКВАТНОСТИ ПОКАЗАНИЙ  
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ  
ФОТОЭМУЛЬСИОННЫХ ДОЗИМЕТРОВ  
ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЕ НЕЙТРОНОВ  
ВБЛИЗИ УСКОРИТЕЛЕЙ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

Направлено на VI Отраслевую конференцию  
по организации и методам дозиметрического  
контроля условий труда /Обнинск,  
24-27 декабря 1979 г./

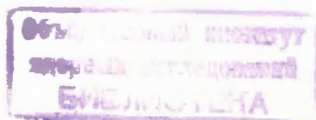
1979

Анализ <sup>1/</sup> характеристик дозиметров для индивидуального контроля дозы облучения нейтронами показал наибольшую конкурентоспособность в настоящее время метода, основанного на регистрации треков протонов в ядерной эмульсии - ИФКн <sup>2,3/</sup>. Однако достоверность определения эквивалентной дозы нейтронов с помощью ИФКн еще не отвечает рекомендациям МКРЕ <sup>4/</sup>.

Настоящая работа продолжает исследования <sup>5,6/</sup>, выполненные с целью установления адекватности показаний ИФКн эквивалентной дозе нейтронов в полях излучений реактора ИБР-30. Мы проводили облучение дозиметров вблизи циклотронов У-300 и У-200 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Измерения на ускорителях тяжелых ионов предоставляют нам возможность расширить исследования адекватности показаний ИФКн эквивалентной дозе нейтронов вблизи ядерно-физических установок на средние энергии, к которым можно отнести установки, генерирующие быстрые нейтроны (но только в случаях, когда вклад в эквивалентную дозу нейтронов с энергией более 20 МэВ не превышает 5% <sup>7,8/</sup>). Адекватность устанавливали путем сравнения показаний ИФКн, отградуированных с помощью (Pu-Be) источника нейтронов в единицах эквивалентной дозы, с эквивалентной дозой, полученной на основе измерений со спектрометром Боннера /СБ/ <sup>9/</sup>.

## ЭКСПЕРИМЕНТ

При выборе точек, в которых проводились измерения /рис.1/, мы стремились рассмотреть такой набор нейтронных спектров, от "мягкого" до "жесткого" / по вкладу в эквивалентную дозу быстрых нейтронов/, который бы охватывал по возможности все реальные спектральные распределения нейтронов вблизи ускорителей У-300 и У-200. Полагалось, что в точках 1,3,4 спектры - "мягкие", а в точке 2 - в прямой видимости мишени, где вклад рассеянных нейтронов в эквивалентную дозу невелик, - спектр нейтронов более "жесткий".



В местах измерений определялись:

- реакции детектора спектрометра Боннера с шаровыми замедлителями диаметром 5,0; 7,6; 12,7; 25,4; 30,4 см;
- плотности потока тепловых нейтронов-счетчиком СМ-9<sup>/10/</sup>;
- верхнее значение плотности потока нейтронов с энергией более 20 МэВ-по активации углерода в толуоле в реакции  $^{12}\text{C}(n, 2n)^{11}\text{C}$ <sup>/11/</sup> /точка №2/.

Мониторинг производился двумя датчиками тепловых нейтронов на базе счетчиков СМ-9 и СМ-14 в парафиновых замедлителях.

Кассеты ИФК-2,3<sup>/12/</sup> с ядерной эмульсией типа К толщиной 20 мкм в корректирующем пакете для регистрации нейтронов /ИФКн<sup>2,3/</sup> / облучались в местах измерений на двух поверхностях тканезквивалентного фантома: на "груди"-в направлении предполагаемого источника излучения, на "спине" - противоположной стороне фантома. Облучение кассет производилось также и без фантома.

Циклотрон У-300 работал в режиме вывода  $^{15}\text{N}$ ,  $^{16}\text{O}$  и  $^{12}\text{C}$  в физическую кабину, измерения производились соответственно в 1,2 и 3 точках /рис. 1/. Энергии ионов составляли от 7 до 10 МэВ/нуклон. Ускоренный в циклотроне У-200 пучок ионов  $^4\text{He}$  сбрасывался на внутреннюю мишень. Энергия  $\alpha$ -частиц составляла около 9 МэВ/нуклон.

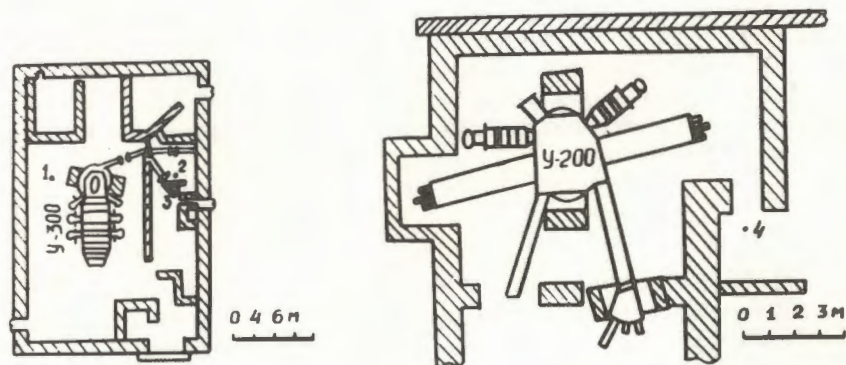


Рис. 1. Планы помещений вблизи ускорителей У-200, У-300, расположение мест измерений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Восстановление энергетических распределений нейтронов выполнялось с помощью программы, использующей метод статистической регуляризации<sup>/9/</sup>. При восстановлении распределений кроме показаний детектора спектрометра Боннера с шаровыми замедлителями использовалась информация о плотности потока тепловых нейтронов, определенной с помощью счетчика СМ-9. Кроме того, при восстановлении спектрального распределения учитывалась оценка верхней границы потока нейтронов с энергией более 20 МэВ, полученная путем измерений активации углерода. Максимальная энергия спектра нейтронов принималась равной энергии иона при измерениях в точке 2 и примерно половине этой энергии при измерениях в других точках.

Энергетические распределения потока нейтронов и распределения эквивалентной дозы с энергией выше заданной в относительных единицах приведены на рис. 2. Как и ожидалось, наиболее "жесткий" спектр имеет место в точке 2, а наиболее "мягкий" - в точке 3.

В таблице представлены данные о мощностях эквивалентной дозы, определенной по энергетическим распределениям и удельной эквивалентной дозе на один нейтрон /Н/. Мощность дозы, измеренная с помощью ИФКн на фантоме, сравнивалась с наиболее достоверной мощностью эквивалентной дозы, которую бы мог получить сотрудник при работе в исследуемом поле.

Эту дозу определяли как  $H_1 = \frac{H}{K}$ , K - коэффициент, учитывающий направленность излучения. Он получен из данных по облучению кассет на "груди" /А/ и "спине" /В/ фантома:  $K = \frac{A+B}{A}$ .

Дозу нейтронов с помощью ИФКн находили по числу треков в эмульсии, облученной на "груди" фантома, с использованием градуировочного коэффициента, определенного при облучении кассет нейтронами Рс-Ве источника<sup>/1/</sup>. Просмотр пленок осуществлялся тремя лаборантами; для вычисления использовали данные, усредненные по трем результатам просмотра. Учет угловой зависимости чувствительности ИФКн производили с помощью коэффициента  $K_y$  /см. таблицу/<sup>/2/</sup>.

Погрешность определения мощностей доз с помощью СБ обусловлена в основном ошибкой восстановления энергетических распределений нейтронов и составляла 20-30%. Значительные ошибки в измерении доз с помощью ИФКн связаны в основном с погрешностью при просмотре эмульсий.

Для анализа данных измерений и понимания причин полученных расхождений был проведен расчет реакции дозиметра ИФКн на облучение нейтронами со спектральными распределениями,

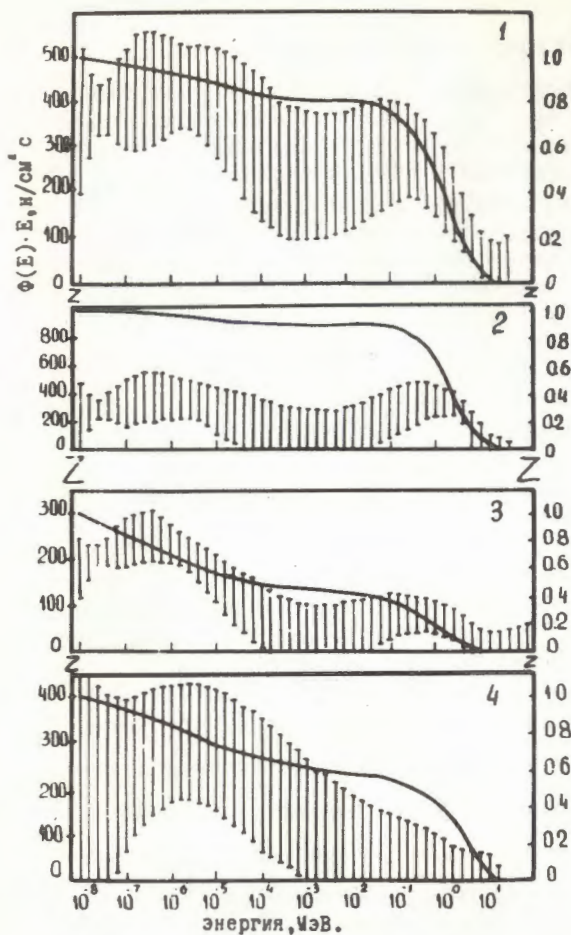


Рис. 2. Спектральные распределения плотности потока нейтронов и энергетические распределения эквивалентной дозы с энергией выше заданной.

приведенными на рис. 2. Зависимость чувствительностей ИФКн при облучении их на фантоме и без фантома от энергии нейтронов заимствовалась из работ <sup>1,8/</sup>. По рассчитанной таким образом реакции дозиметра /в треках/см<sup>2</sup> / с помощью градуировочного коэффициента, определенного при использовании Pu - Be источника нейтронов, вычислялась доза. Полученные мощности доз  $\dot{H}_T$  приведены в таблице.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Эквивалентная доза нейтронов, определенная по показаниям ИФКн, в среднем занижена в  $K_1 = 2,5$  раза по сравнению

Таблица

Сравнение наиболее вероятной эквивалентной дозы с показаниями ИФКн

| Условия облучения                      | I          |             |            |             | 2          |             |            |             | 3          |             |            |             | 4          |             |  |  |
|--|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|--|--|
|  | на фантоме | без фантома | на фантоме | без фантома | на фантоме | без фантома | на фантоме | без фантома | на фантоме | без фантома | на фантоме | без фантома | на фантоме | без фантома |  |  |
| СБ, мбэр/час                           | 98 ± 30    | 143 ± 36    | 35 ± 14    | 29 ± 11     | 98 ± 30    | 143 ± 36    | 35 ± 14    | 29 ± 11     | 98 ± 30    | 143 ± 36    | 35 ± 14    | 29 ± 11     | 98 ± 30    | 143 ± 36    |  |  |
| $K = \frac{A}{B}$                      | 1,25 ± 0,2 | 1,0         | 1,2 ± 0,1  | 1,0         | 1,7 ± 0,2  | 1,0         | 1,4 ± 0,3  | 1,0         | 1,25 ± 0,2 | 1,0         | 1,7 ± 0,2  | 1,0         | 1,4 ± 0,3  | 1,0         |  |  |
| $K_y$ ИФКн                             | 0,87       | 0,87        | 0,87       | 0,75        | 0,87       | 0,75        | 0,87       | 0,75        | 0,87       | 0,75        | 0,87       | 0,75        | 0,87       | 0,75        |  |  |
| $\dot{H}_d = \dot{H}_k : K$ , мбэр/час | 78 ± 30    | 121 ± 33    | 68 ± 15    | 7,8 ± 3,7   | 78 ± 30    | 121 ± 33    | 68 ± 15    | 7,8 ± 3,7   | 78 ± 30    | 121 ± 33    | 68 ± 15    | 7,8 ± 3,7   | 78 ± 30    | 121 ± 33    |  |  |
| $\dot{H}_g$ , мбэр/час                 | 24 ± 7     | 54 ± 8      | 47         | 82          | 24 ± 7     | 54 ± 8      | 47         | 82          | 24 ± 7     | 54 ± 8      | 47         | 82          | 24 ± 7     | 54 ± 8      |  |  |
| $\dot{H}_T$ , мбэр/час                 | 47         | 84          | 47         | 84          | 47         | 84          | 47         | 84          | 47         | 84          | 47         | 84          | 47         | 84          |  |  |
| $K_1 = \dot{H}_I : \dot{H}_g$          | 3,2        | 4,4         | 2,2        | 2,2         | 3,2        | 4,4         | 2,2        | 2,2         | 3,2        | 4,4         | 2,2        | 2,2         | 3,2        | 4,4         |  |  |
| $K_2 = \dot{H}_d : \dot{H}_T$          | 1,7        | 2,1         | 1,5        | 1,4         | 1,7        | 2,1         | 1,5        | 1,4         | 1,7        | 2,1         | 1,5        | 1,4         | 1,7        | 2,1         |  |  |
| $K_3 = \dot{H}_T : \dot{H}_g$          | 1,9        | 2,1         | 1,5        | 1,4         | 1,9        | 2,1         | 1,5        | 1,4         | 1,9        | 2,1         | 1,5        | 1,4         | 1,9        | 2,1         |  |  |

Средние значения:

на фантоме  
 $\bar{K}_1 = 2,5$   
 $\bar{K}_2 = 1,6$   
 $\bar{K}_3 = 1,6$

без фантома

$\bar{K}_1 = 3,4$   
 $\bar{K}_2 = 2,0$   
 $\bar{K}_3 = 1,7$

с дозой, которую бы мог получить сотрудник при работе в местах, где проводились измерения.

Коэффициенты  $K_2 = \frac{N_1}{N_T}$  относятся к той части расхождения, которая связана с некорректностью градуировки ИФКн в поле Pu-Be источника нейтронов и малой чувствительностью дозиметра к нейтронам промежуточных энергий. Средняя величина  $\bar{K}_2 = 1,6$ . Использование в качестве градуировочного источника  $^{252}\text{Cf}$  со средней энергией около 2,1 МэВ вместо Pu-Be уменьшит величину  $K_2$  в 1,2 раза.

В дополнение к набору коэффициентов  $K_2$ , полученных в <sup>5,6/</sup> и настоящей работе, были рассчитаны коэффициенты  $K_2$  для спектра фотонейтронов из вольфрамовой мишени при бомбардировке ее электронами с энергией 45 МэВ <sup>13,14/</sup> и спектра нейтронов, полученного в экспериментах вблизи нейтронного генератора на энергию 14 МэВ <sup>15/</sup>. Значения рассчитанных коэффициентов равны 2,0 и 1,1 соответственно для спектра фотонейтронов и нейтронов вблизи нейтронного генератора. Усредненное по 14 величинам из трех работ значение коэффициента  $K_2$ , относящегося к неидеальной зависимости чувствительности ИФКн от энергии нейтронов, близко к 1,5, и максимальное отклонение значений  $K_2$  от среднего равно +0,5. Эта неопределенность соответствует рекомендациям МКРЕ <sup>4/</sup> относительно измерения доз на уровне предельно допустимых.

Коэффициенты  $K_3 = \frac{N_T}{N_3}$  характеризуют расхождения, обусловленные "потерями" треков при просмотре эмульсий на микроскопе. Средняя величина  $\bar{K}_3 = 1,6$ . Можно ожидать, что использование для градуировки дозиметров  $^{252}\text{Cf}$  источника нейтронов со спектром, более близким к приведенным на рис. 2, чем спектр нейтронов Pu-Be источника, будет более корректным благодаря большей схожести распределений треков по их длине в градуировочных и рабочих эмульсиях.

Для дозиметров ИФКн, облученных без фантома, занижение дозы в сравнении с дозой, определенной по СБ, больше и составляет в среднем  $\bar{K}_1 = 3,4$ . Увеличение расхождения показаний связано в основном с очень низким значением чувствительности ИФКн к промежуточным нейтронам при облучении дозиметров без фантома.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для коррекции погрешности, систематически занижающей эквивалентную дозу, авторы рекомендуют при определении полной эквивалентной дозы нейтронов по показаниям отградуиро-

ванного по Pu-Be источнику нейтронов дозиметра ИФКн в полях излучений вблизи ускорителей тяжелых ионов на средние энергии ввести поправочный коэффициент 2,5. Разброс показаний ИФКн при одной и той же дозе облучения в полях нейтронов с различными спектрами, рассмотренными в данной работе, составляет около 30% вследствие неидеальной зависимости чувствительности от энергии нейтронов. Дополнительный разброс показаний, связанный с субъективными ошибками при просмотре эмульсий, приводит к увеличению случайной ошибки до 60% /при однократном просмотре/.

Для градуировки дозиметров ИФКн желательно использовать источник нейтронов с более "мягким", чем у Pu-Be, спектром нейтронов. Путь к уменьшению субъективных ошибок при просмотре эмульсий авторы видят также в использовании для этой цели проекционных микроскопов.

Авторы благодарят сотрудников группы индивидуального дозконтроля за просмотр эмульсий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Комочков М.М., Салацкая М.И. ОИЯИ, Р16-9780, Дубна, 1976.
2. Золин Я.С., Лебедев В.Н., Салацкая М.И. АЭ, 1962, 13, с.462.
3. Комочков М.М., Салацкая М.И. В кн.: Труды IV Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Москва, 18-20 ноября, 1974. "Наука", М., 1975; ОИЯИ, Р16-8175, Дубна, 1974.
4. Радиационная безопасность. Величины, единицы, методы и приборы. Под ред. Кеирим-Маркуса И.Б. Атомиздат, М., 1974.
5. Архипов В.А. и др. ОИЯИ, 16-11817, Дубна, 1978.
6. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-12122, Дубна, 1979.
7. Алейников В.Е. и др. Neutron Monitoring for Radiation Protection Purpose, vol.11, p.363. IAEA, Vienna, 1973. Proceedings of Symposium, Vienna, 11-15 December, 1972.
8. Гелев М.Г. и др. ОИЯИ, 16-6243, Дубна, 1972.
9. Алейников В.Е., Гердт В.П., Комочков М.М. В кн.: Труды IV Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Москва, 18-20 ноября, 1974. "Наука", М., 1975. ОИЯИ, Р16-8176, Дубна, 1976.
10. Толченнов Ю.М., Чайковский В.Г. ПТЭ, 1963, 6, с.5.
11. Лебедев В.Н., Салацкая М.И. В сб. Дозиметрические и радиометрические методики. Под ред. Сивинцева Ю.В. Атомиздат, М., 1966.

12. Козлов В.Ф. Фотографическая дозиметрия ионизирующих излучений. Атомиздат, М., 1964.
13. Gayther D.V., Goode P.D. Journal of Nuclear Energy, 1967, 21(9), p.733-747.
14. Цовбун В.И. ОИЯИ, 16-7104, Дубна, 1973.
15. Barrall R.C., Holmes J.A., Silbergeld M. In: Proc. of the Second International Conference on Accelerator Dosimetry and Experience, 5-7 November, Stanford, 1969, p.566-586.

Рукопись поступила в издательский отдел  
12 октября 1979 года.