

УДК 533.9.08:534.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ТИПА ПОВ В УСЛОВИЯХ ОБЛУЧЕНИЯ НЕЙТРОНАМИ И ГАММА-КВАНТАМИ ОТ ВОДНОГО ФАНТОМА

В. В. Сиксин

Экспериментально исследованы защитные свойства материала, в состав которого входят ферробор и полиэтилен. Получены коэффициенты кратности ослабления при воздействии потока быстрых нейтронов и гамма-квантов, излучаемых водным фантомом, через который пропускался пучок протонов с энергией 50, 100 и 130 МэВ.

Ключевые слова: водный фантом, детектор телевизионного типа, композиционный защитный материал, коэффициент ослабления, МЭД.

Введение. При прохождении протонного пучка через водный фантом генерируется вторичное излучение: ядра отдачи, ядерные осколки и нейтроны [1]. Обычно терапевтический диапазон энергий при лучевой терапии находится в диапазоне от 30 до 260 МэВ, а ядерные реакции между протонами и водной средой фантома идут при энергиях протонов выше 10 МэВ, что также приводит к образованию короткоживущих радионуклидов – β - и γ -излучателей.

Наиболее радиационно-чувствительной частью электронных устройств являются фотоприемники типа ПЗС матриц, основную опасность для которых представляет остаточный поток нейтронов, вызывающий локальные разрушения структуры пикселей. Здесь требуется принятие защитных мер, позволяющих снизить эффекты бомбардировки ПЗС матрицы нейтронами, а также убрать ее засветку γ -квантами. Обычно разрабатывается специальная защита, в некоторых случаях представляющая собой массивные бетонные сооружения [2].

Детектор телевизионного типа ДТет, разработанный автором и испытанный для применения при калибровочных работах на ускорителе типа “Прометеус” [3], предназначен для быстрой и оперативной оценки качества протонных пучков в терапевтическом диапазоне энергий. Он портативен и малогабаритен, что не позволяет использовать традиционную защиту, применяемую на ускорителях – типа бетон и т.д. Проведенные

ФИАН, 119991 Россия, Москва, Ленинский пр-т, 53; e-mail: antktech@yandex.ru.

в работе [3] испытания на радиационную стойкость электронного тракта ДТет выявили специфические эффекты поражения ПЗС фотоприемника через ~ 2.5 часа после непрерывного облучения водного фантома при максимальной рабочей терапевтической энергии, равной 260 МэВ.

Учитывая рабочие режимы эксплуатации детектора, срок его службы в лучшем случае может составлять не более полугода, если не принимать меры по радиационной защите.

Анализ решений по радиационной защите электронного тракта детектора ДТет показал, что наиболее предпочтительным является использование материалов типа ПОВ, разработанных ранее в СССР для радиационной защиты спецтехники. Это композитные материалы, обладающие преимуществами многослойной защиты по массогабаритным показателям и состоящие одновременно из легких (водородосодержащих компонент – полиэтилен) и тяжелых компонент – типа ферробора, которые сначала замедляют быстрые нейтроны до тепловых энергий, а затем поглощают их боросодержащей компонентой. Сопутствующее нейтронам гамма-излучение поглощается ферробором. Кроме того, материалы типа ПОВ устойчивы к термоударным нагрузкам и устойчивы к возгоранию при выделении тепла, возникающего в его объеме при термализации энергии частиц и излучения.

Аналогичные материалы исследовались ранее в работе [4], наряду с исследованиями основных путей технологического процесса получения многослойных защитных материалов с определением оптимального сочетания последовательности и толщин слоев.

Экспериментальные исследования. В качестве защитного материала был выбран материал ПОВ-40, выпускаемый Сафоновским АО “Авангард”, с обозначением 21ф с прослойкой 17ф на ткани бельтинг ОСТ В 36038-86, относящийся к композициям на основе полиэтилена, обеспечивающий самозатухание потока нейтронов и предназначенный для использования в качестве материала биологической защиты от нейтронного излучения на терапевтических ускорителях и в других условиях применения.

Образцы ПОВ-40 толщиной 30 мм были нам переданы для исследований по определению коэффициента ослабления и оценки возможности применения для проектирования защитных элементов детектора ДТет. При исследовании измерялась мощность амбиентного эквивалента дозы – МЭД.

Схема эксперимента при измерениях МЭД от нейтронного излучения приведена на рис. 1.

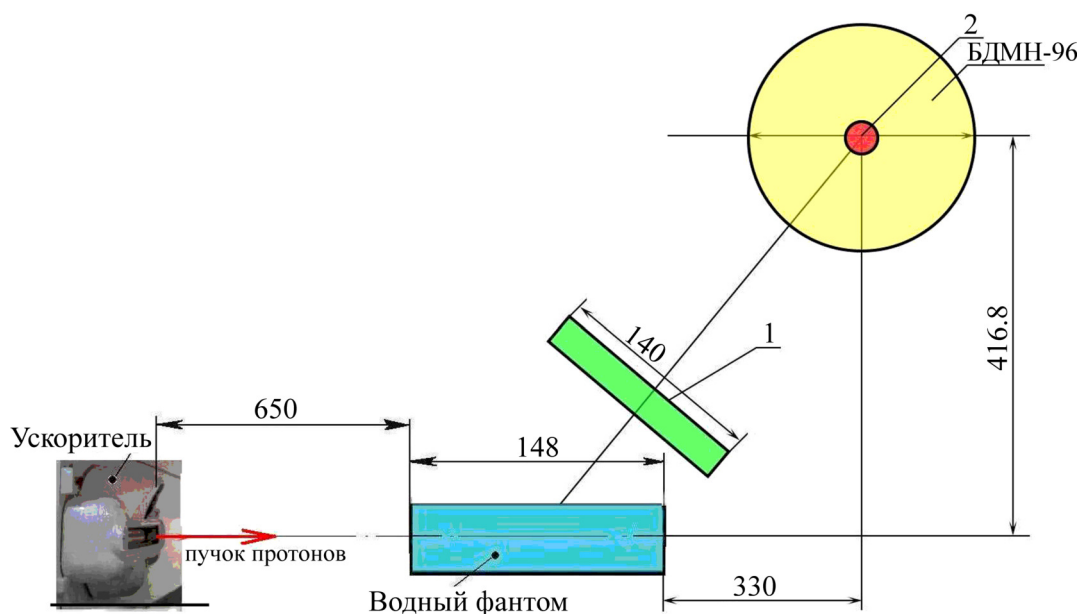


Рис. 1: Схема эксперимента при измерениях МЭД от нейтронного излучения.

Между водным фантомом и нейтронным детектором 2 устанавливалась защитная пластина 1. Для измерения МЭД от нейтронного излучения при наличии защитной пластины и без нее применялся промышленный дозиметр 2 фирмы “ДОЗА” – ДКС-96 с детектором БДМН-96.

Для всех энергий протонного ускорителя интенсивность пучка протонов, проходящих по оси водного фантома, составляла 10^9 протонов за импульс, длительность которого равнялась 300 мсек. Диаметр пучка на полувысоте по интенсивности при входе в фантом составлял 3 мм.

Основные результаты по измерению МЭД от нейтронного излучения для случая без защитной пластины 1 и с пластиной приведены в табл. 1.

Таблица 1 содержит результаты вычисления коэффициентов ослабления потока нейтронов K_N при энергиях протонного пучка 50, 100 и 130 МэВ.

Погрешность измерения МЭД по паспортным данным дозиметра-радиометра ДКС-96 составляет 25%.

Схема эксперимента при измерениях МЭД от γ -излучения совпадает с рис. 1, только вместо детектора нейтронов БДМН-96 использовался промышленный дозиметр марки ДКС-АТ-1123 фирмы “АТОМТЕХ”.

Т а б л и ц а 1

Энергия нейтронов, МЭД и полученный K_H . Сеанс 13-15 марта 2019 г.

Энергия, МэВ	Мощность дозы, МЭД, мЗв/ч	Защита	Коэффициент ослабления, K_H
130	1.390	нет	–
100	0.723		–
50	0.0292		–
130	1.260	есть	1.10
100	0.647		1.12
50	0.0217		1.35

Основные результаты по измерениям МЭД от γ -излучения для случая без защитной пластины 1 и с пластиной приведены в табл. 2.

Таблица 2 содержит результаты вычисления коэффициентов ослабления γ -излучения K_γ при энергиях протонного пучка 50, 100 и 130 МэВ.

Т а б л и ц а 2

Энергия γ -квантов, МЭД и полученный K_γ . Сеанс от 13-15 марта 2019 г.

Энергия, МэВ	Мощность дозы, МЭД, мЗв/ч	Защита	Коэффициент ослабления, K_γ
130	6.350	нет	–
100	2.350		–
50	0.055		–
130	0.630	есть	10.08
100	0.255		9.22
50	0.060		0.92 (нет ослабления)

Погрешность измерения МЭД по паспортным данным дозиметра ДКС-АТ-1123 составляет 5%.

Перед проведением экспериментов были проведены расчеты численным методом с помощью программы FLUKA и определены энергетические спектры нейтронов и гамма-квантов, вылетающих в области телесных углов, где проводились измерения. Для нейтронов спектры лежат в диапазоне энергий от 0.025 эВ до 20 МэВ. На эти энергии приходится основной поток нейтронов, повреждающих электронику. Для вторичного гамма-фона спектр лежит в основном в области выше 0.1 МэВ.

Основные результаты. Результаты испытаний защитного материала типа ПОВ позволили сделать вывод, что работоспособность электронных блоков детектора ДТеТ может быть обеспечена на длительный срок (более 5 лет) при рациональном расположении защитных пластин и подборе их необходимого количества.

Проведенные эксперименты показывают возможность применения многослойного экрана, составленного из материала ПОВ-40, обеспечивающего радиационную защиту электронного тракта детектора телевизионного типа ДТеТ, использующего ПЗС матрицу, от двух критических видов вторичного излучения – нейтронов и гамма-излучения. Получены коэффициенты ослабления K_N для нейтронов и K_γ для гамма-квантов, позволяющие вести расчеты защитных устройств.

Автор выражает благодарность В. Е. Балакину за возможность проведения исследований защитного материала в сеансе 13–15 марта 2019 г. на ускорителе “Прометеус”. Автор выражает благодарность А. И. Львову за консультации по проведению сеанса в г. Протвино в марте 2019 г. и за поддержку работы.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] И. Н. Бекман, *Радиационная и ядерная медицина: физические и химические аспекты. Радиохимия*. Том 7 (МО, Щелково, Издатель Мархотин П.Ю., 2012).
- [2] С. А. Гаврилов, Дисс. на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук (ИЯИ РАН, Москва–Троицк, 2014).
- [3] В. В. Сиксин, Краткие сообщения по физике ФИАН **45**(2), 47 (2019).
- [4] В. И. Бойко, Д. Г. Демянюк, О. Ю. Долматов и др., Известия Томского политехнического университета **308**(5), 77 (2005).

Поступила в редакцию 2 апреля 2019 г.

После доработки 26 апреля 2019 г.

Принята к публикации 26 апреля 2019 г.