

УДК 539.1.04

БАРАНОВ В.И., студент гр. 0A21 (ТПУ)
Научный руководитель БАЛАЧКОВ М.М., ассистент (ТПУ)
г. Томск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАМЕДЛИТЕЛЯ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА НА СПЕКТР БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ И ГАММА-КВАНТОВ

Быстрые нейтроны являются одним из наиболее проникающих видов ионизирующего излучения, что обуславливает необходимость разработки эффективных и доступных защитных материалов для обеспечения радиационной безопасности. Полиэтилен используется в качестве замедлителя нейтронов благодаря высокому содержанию водорода, обеспечивающему эффективное замедление быстрых нейтронов [1]. Перспективным направлением является использование вторичных полимерных материалов, что позволяет снизить стоимость защиты и решить экологические задачи утилизации полимерных отходов. Дополнительное введение борсодержащих соединений в состав полиэтилена способствует повышению эффективности защиты. В настоящей работе проведено экспериментальное исследование изменения спектра быстрых нейтронов при прохождении через образцы эталонного полиэтилена, переработанного полиэтилена, а также переработанного полиэтилена с добавлением 5 мас. % борной кислоты. Проведены количественный анализ ослабления полной плотности потока нейтронов и сравнение формы спектров для оценки эффективности исследованных материалов.

Для определения нейтронного спектра был использован спектрометр-дозиметр UNSD-15 со встроенным в него блоком высокочастотного аналого-цифрового преобразователя и сцинтилляционным стильбеновым блоком детектирования быстрых нейтронов и гамма-квантов [2]. Центр поверхности детектора устанавливался соосно с центром источника $^{239}\text{PuBe}$ на расстоянии один метр. Для исследования изменения спектра источника использовался набор образцов из лабораторного (эталонного) полиэтилена, набор образцов из переработанного полиэтилена, а также набор образцов из переработанного полиэтилена с добавлением 5 мас. % борной кислоты (H_3BO_3), общей толщиной 9,5 см, 10,8 см и 9,6 см соответственно.

Значения плотности потока для спектров переработанного и переработанного полиэтилена (рисунок 1), а также значения эквивалентной дозы, полученные с помощью детектора, были аппроксимированы для учета разной толщины наборов образцов, толщины всех наборов образцов приведены к толщине слоя лабораторного полиэтилена.

Методом трапеций рассчитана общая плотность потока нейтронов для каждого опыта. Эти значения, а также значения относительного ослабления плотности нейтронного потока приведены в таблице 1.

Таблица 1. Полная расчетная плотность потока нейтронов и относительное ослабление плотности потока

	Полная плотность потока, $1/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$	Относительное ослабление плотности потока, %
Источник	89,5	—
Лабораторный полиэтилен	31,8	64,5
Переработанный полиэтилен	28,7	68
Переработанный полиэтилен с добавлением бора	31,5	64,8

Относительное ослабление находится по формуле 1:

$$\frac{\Phi_{\text{ист}} - \Phi_i}{\Phi_{\text{ист}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $\Phi_{\text{ист}}$ — плотность потока нейтронов от источника;

Φ_i — плотность потока нейтронов от источника через слой образцов.

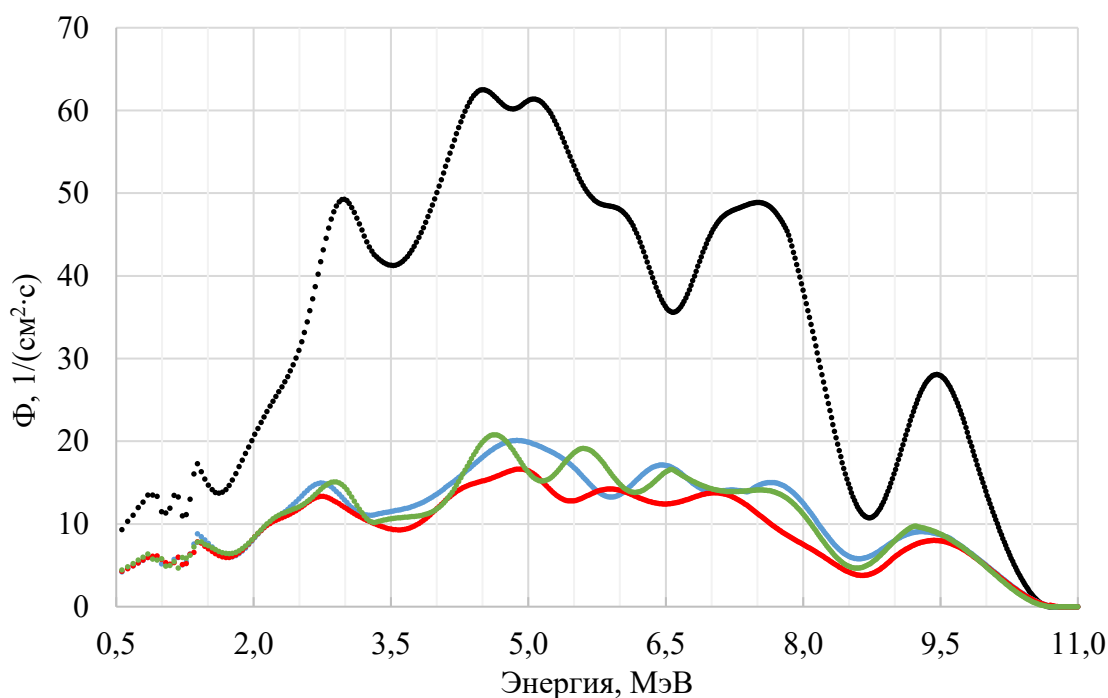


Рисунок 1. Спектры нейтронного излучения

Представленные образцы демонстрируют ослабление потока быстрых нейтронов во всем диапазоне энергии спектра, однако в области энергий 4-7 МэВ в спектре борированных образцов появляются флуктуации потока, не

характерные для других спектров, требующие дополнительного изучения, в том числе спектра гамма-излучения.

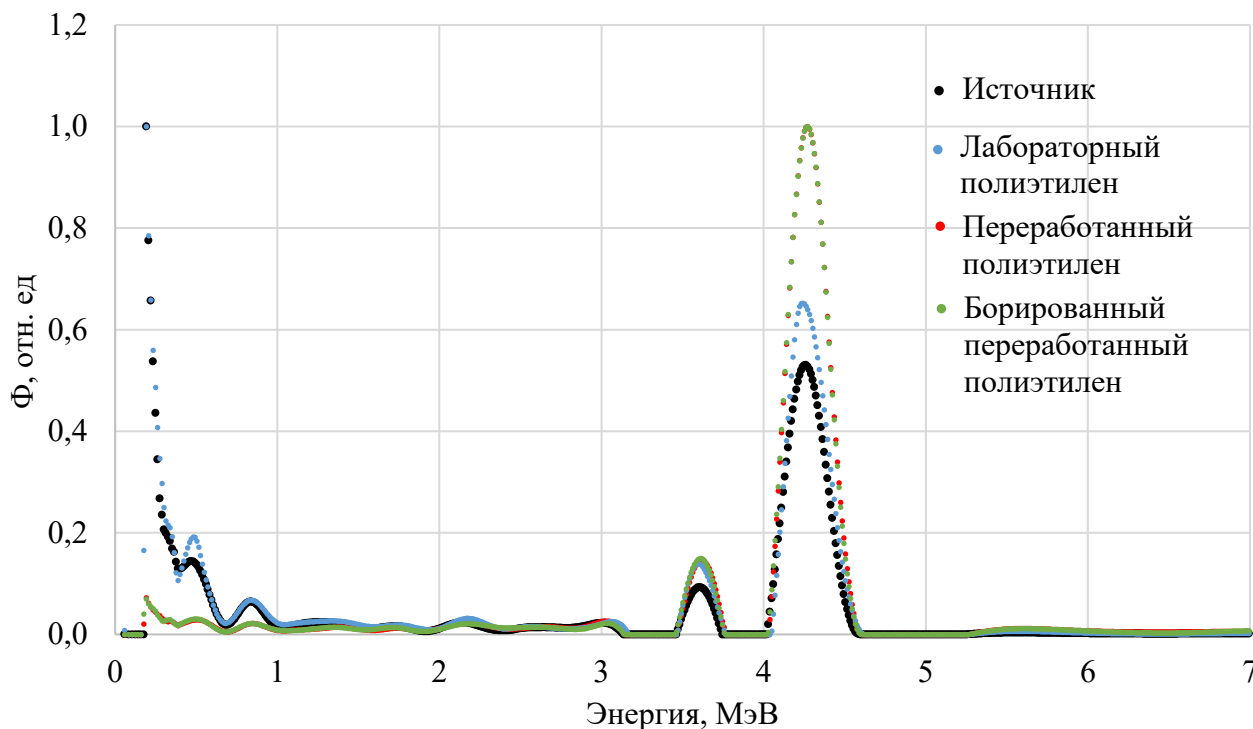
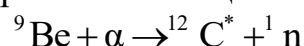


Рисунок 2. Спектры гамма-излучения

Как видно из рисунка 2, в области высоких энергий образцы не порождают сопутствующего тормозного излучения, ввиду чего спектр не изменяет свой вид, однако имеются заметные расхождения в области энергий < 1 МэВ. Данный вопрос требует уточнения путем повторных измерений иным оборудованием.

Наибольший пик на графике соответствует гамма-квантам с энергией $\sim 4,2$ МэВ, которые высвобождаются в ходе снятия возбуждения атома углерода после $(\alpha;n)$ реакции на ядре бериллия. В общем виде реакция выглядит так [3]:



В относительных единицах плотности потока при энергии $\sim 4,2$ МэВ значения плотности потока источника находятся ниже, чем аналогичные значения для спектров с образцами, что объясняется нормировкой плотности потока на максимальное значение для каждого спектра — в абсолютных величинах картина диаметрально противоположна, т.к. максимум плотности потока источника больше, чем максимумы спектров с образцами.

Данные о полной плотности потока спектров, а также относительном ослаблении плотности потока (в соответствии с формулой 1) представлены в таблице 2.

Таблица 2. Полная расчетная плотность потока гамма-квантов и относительное ослабление плотности потока

	Полная плотность потока, $1/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$	Относительное ослабление плотности потока, %
Источник	92,86	—
Лабораторный полиэтилен	82,81	10,8
Переработанный полиэтилен	82,94	10,7
Переработанный полиэтилен с добавлением бора	78,50	15,5

В результате экспериментального исследования влияния замедлителей из различных видов полиэтилена на спектр быстрых нейтронов от источника $^{239}\text{PuBe}$ были получены следующие основные результаты. Установлено, что все исследованные образцы — лабораторный (эталонный) полиэтилен, переработанный полиэтилен, а также переработанный полиэтилен с добавлением 5 мас. % борной кислоты — обеспечивают существенное ослабление полной плотности потока быстрых нейтронов. Наибольшее относительное ослабление (68 %) показал образец переработанного полиэтилена, что, вероятно, связано с его повышенной плотностью по сравнению с эталонным материалом. Данный факт подтверждает принципиальную возможность использования вторичных полимерных материалов для создания эффективной нейтронной защиты и замедлителей, что имеет значение как для радиационной безопасности, так и для утилизации полимерных отходов. При анализе спектров нейтронного излучения в области энергий 4–7 МэВ для борированного переработанного полиэтилена выявлены флуктуации потока, не характерные для других образцов. Эти аномалии требуют дополнительного изучения, в том числе с привлечением анализа сопутствующего гамма-излучения и проведения повторных измерений на другом оборудовании.

Анализ спектров гамма-излучения показал, что в области высоких энергий образцы не генерируют заметного тормозного излучения. Однако в области энергий менее 1 МэВ наблюдаются расхождения, природа которых также нуждается в уточнении.

Таким образом, переработанный полиэтилен (как в чистом виде, так и с борсодержащими добавками) является перспективным материалом для замедления быстрых нейтронов, но отдельные особенности его спектральных характеристик требуют дальнейших исследований.

Список литературы:

1. Абагян Л. П. Групповые константы для расчета реакторов и защиты. Справочник. – 1964.
2. Центр АЦП. Спектрометр-дозиметр UNSD-15 нейтронного и γ -излучения с цифровой идентификацией по форме импульса. – 2020.
3. Стогов Ю. В. Основы нейтронной физики: Учебное пособие //М.: МИФИ. – 2008. – С. 175.