

УДК 539.1.074

МИХАЛЁВ Д.В., студент гр. 0A21 (ТПУ)
Научный руководитель: БАЛАЧКОВ М.М., ассистент (ТПУ)
Томский политехнический университет
г. Томск

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ПЕРЕРАБОТАННОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ОТ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МЕТОДОМ СФЕР БОННЕРА И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Традиционные защитные материалы, используемые в атомной промышленности (свинец, обедненный уран, тяжелые бетоны) обладают высокой эффективностью ослабления гамма-излучения, однако их применение ограничено высокой токсичностью, значительным весом и сложностью утилизации после окончания срока службы.

Полиэтилен, благодаря высокому содержанию водорода, является эффективным замедлителем нейтронов. Переработка вторичного полиэтилена в радиационно-защитные композиты позволяет решить одновременно две задачи: утилизацию отходов и создание легких, экономичных материалов для защиты персонала и оборудования. Введение наполнителей (бор, кадмий, тяжелые металлы) потенциально способно расширить функциональность таких композитов, обеспечивая ослабление гамма-излучения и захват тепловых нейтронов [1].

Цель исследования – экспериментальная оценка защитных характеристик переработанного полиэтилена, модифицированного борной кислотой, в полях гамма-излучения различных энергий (26–661 кэВ) и нейтронного излучения источника $^{239}\text{PuBe}$.

Исходным сырьем служили крышки от пластиковой тары. После механической очистки, удаления загрязнений и измельчения до фракции 1-1,5 см гранулы подвергались плавлению в электропечи СНОЛ-6/11-В при температуре 195°C в течение 1,5 часов. Расплав помещался в цилиндрическую пресс-форму диаметром 70 мм и выдерживался под давлением 2,6 МПа на лабораторном гидравлическом прессе ПЛГ-12 в течение 2 минут.

Для модификации образцов в расплав вводилось 5 мас. % борной кислоты (H_3BO_3) при температуре 210°C. Равномерность распределения обеспечивалась многократным перемешиванием расплава. Полученные образцы имели толщину от 1,5 до 2,5 см.

Для гамма-спектрометрических измерений использовались источники: ОСГИ-Cs 137 ($E_\gamma = 661$ кэВ) и ОСАИ-Am 241 ($E_\gamma = 26$ и 59 кэВ). Регистрация излучения осуществлялась сцинтилляционным детектором NaI (БДКГ-05) в коллимированной геометрии, спектрометром Canberra с NaI детектором. Обработка пиков полного поглощения выполнялась аппроксимацией функцией Гаусса.

Обработка данных базировалась на экспоненциальной модели ослабления гамма-излучения.

Массовый коэффициент ослабления определялся из зависимости площади пика от массовой толщины образца.

Интенсивность пучка после прохождения защиты может быть представлена соотношением:

$$I = I_0 \cdot \exp(-\mu_x \cdot x); I = I_0 \cdot \exp(-\mu_m \cdot d), \quad (1)$$

где I – интенсивность пучка после прохождения защиты; I_0 – начальная интенсивность пучка; μ_x – линейный коэффициент поглощения, см^{-1} ; x – толщина защитного слоя, см ; d – массовая толщина поглотителя, г/см^2 ; μ_m – массовый коэффициент поглощения, $\text{см}^2/\text{г}$.

Для нейтронных измерений применялся лабораторный источник $^{239}\text{PuBe}$. Измерения плотности потока нейтронов, средней энергии нейтронного излучения по спектру, средней энергии нейтронного излучения по дозе, эквивалентной мощности дозы излучения проводились с использованием дозиметра-радиометра нейтронов МКС-АТ1117М с блоком детектирования БДКН-06 и набором сфер Боннера из полиэтилена [2]. Все измерения проводились на расстоянии одного метра от источника $^{239}\text{PuBe}$. Аналогичные измерения проведены для идеального полиэтилена – лабораторного полиэтилена без добавления бора.

Экспериментальные значения массовых коэффициентов ослабления гамма-излучения, полученные путем аппроксимации экспериментальных данных, представлены в таблице 1. Для верификации методики приведены справочные данные NIST для полиэтилена [3].

Ослабление эквивалентной мощности дозы нейтронного излучения для полиэтилена с добавлением бора представлено на рисунке 1.

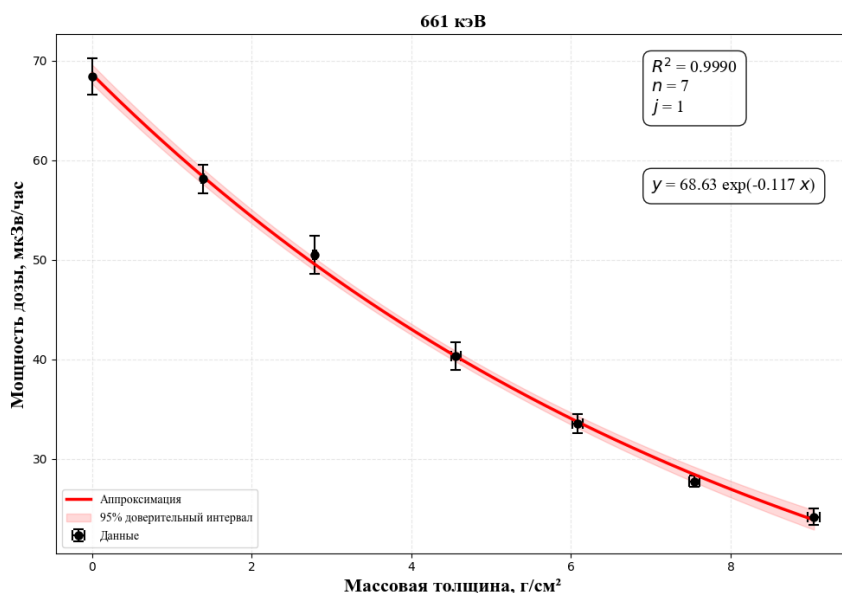


Рисунок 1. Ослабление эквивалентной мощности дозы нейтронного излучения переработанным пластиком с добавлением 5 мас.% борной кислоты

Ослабление интенсивности гамма-излучения для полиэтилена с добавлением бора представлено на рисунке 2.

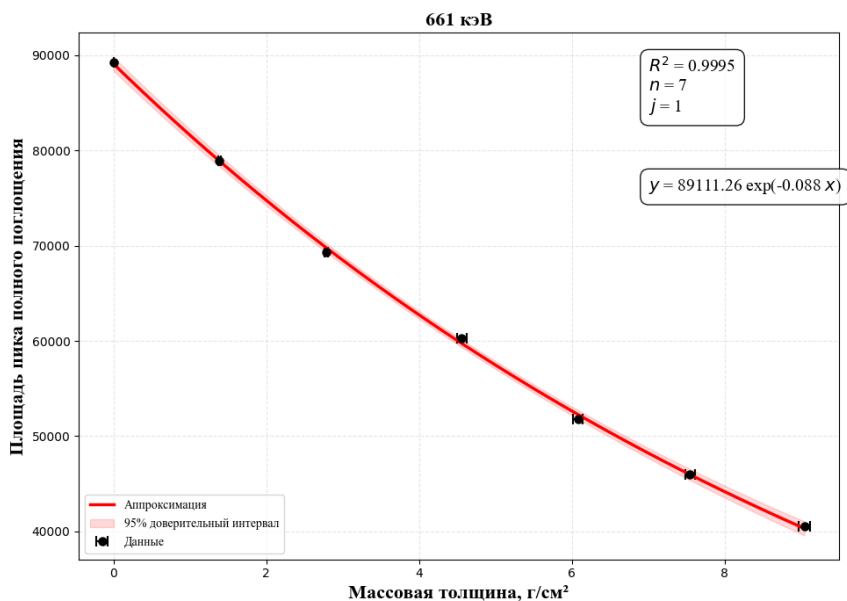


Рисунок 2. Ослабление интенсивности гамма-излучения переработанным пластиком с добавлением 5 мас. % борной кислоты

Результаты измерений массового коэффициента ослабления для гамма-квантов различных энергий представлены в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициенты ослабления гамма-квантов

Тип полиэтилена	Энергия гамма-квантов, кэВ	Экспериментальный массовый коэффициент ослабления, см²/Г	Справочный массовый коэффициент ослабления, см²/Г
Переработанный полиэтилен без добавления бора	26	$0,31 \pm 0,08$	0,33
	59	$0,23 \pm 0,04$	0,20
	661	$0,0885 \pm 0,0003$	0,0886
Переработанный полиэтилен с добавлением бора	26	$(1,9 \pm 0,0)$	0,3
	59	$0,31 \pm 0,05$	0,20
	661	$0,0877 \pm 0,0009$	0,088

Для энергии 26 кэВ значение коэффициента ослабления для переработанного полиэтилена с добавлением бора было определено по двум экспериментальным точкам, так как скорость счёта гамма-квантов, измеренная после трёх образцов, обращалась в ноль.

Для переработанного полиэтилена без добавления бора при энергиях 26, 59 кэВ и 661 кэВ значение массового коэффициента ослабления не отличается от табличного.

Результаты нейтронных измерений от источника $^{239}\text{PuBe}$ представлены в таблице 2.

Таблица 2. Коэффициенты ослабления нейтронного излучения

Тип полиэтилена	Экспериментальный массовый коэффициент ослабления плотности потока нейтронного излучения, $\text{см}^2/\text{г}$	Экспериментальный массовый коэффициент ослабления эквивалентной мощности дозы нейтронного излучения, $\text{см}^2/\text{г}$
Идеальный полиэтилен	$0,086 \pm 0,005$	$0,1262 \pm 0,0023$
Переработанный полиэтилен без добавления бора	$0,0757 \pm 0,0024$	$0,116 \pm 0,003$
Переработанный полиэтилен с добавлением бора	$0,083 \pm 0,004$	$0,1169 \pm 0,0018$

Массовый коэффициент ослабления плотности потока нейтронов для переработанного полиэтилена составляет $0,0757 \text{ см}^2/\text{г}$, что несколько ниже значения для идеального полиэтилена ($0,0860 \text{ см}^2/\text{г}$), что может быть связано с наличием примесей и неоднородностей структуры вторичного материала. Добавка борной кислоты увеличивает массовый коэффициент ослабления плотности потока до $0,0830 \text{ см}^2/\text{г}$ (прирост 9,6% относительно чистого переработанного полиэтилена). Это обусловлено дополнительным захватом тепловых нейтронов изотопом ^{10}B .

Для эквивалентной мощности дозы массовый коэффициент ослабления идеального полиэтилена составляет $0,1262 \text{ см}^2/\text{г}$, тогда как для переработанного полиэтилена этот показатель равен $0,1160 \text{ см}^2/\text{г}$. Введение бора практически не влияет на ослабление мощности дозы ($0,1169 \text{ см}^2/\text{г}$), что свидетельствует о том, что необходимо использование образцов с большим содержанием бора.

Экспериментально подтверждена возможность использования переработанного полиэтилена высокой плотности в качестве основы для радиационно-защитных материалов. Модификация состава путем введения 5 мас. % борной кислоты приводит к улучшению защитных свойств. Для низкоэнергетического гамма-излучения (59 кэВ) массовый коэффициент ослабления возрастает на 34,8%; для нейтронного излучения PuBe массовый коэффициент ослабления плотности потока увеличивается на 9,6%; влияние на ослабление мощности дозы нейтронного излучения практически отсутствует. Незначительное изменение коэффициентов ослабления для гамма-излучения высокой энергии свидетельствует о необходимости проведения опытов с другой добавкой, например, порошками тяжелых металлов (вольфрам, свинец).

Список литературы:

1. Бондалетова Л.И. Полимерные композиционные материалы (часть 1): учебное пособие / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 118 с.
2. Восстановление энергетического спектра распределения плотности потока нейтронного излучения. Определение средней плотности потока нейтронного излучения (Методика (метод) измерений МТ АААА.7031.004-2020) : утверждены директором УП «АТОМТЕХ» В.А. Кожемякиным от 03.06.2020 / разработаны Научно-производственным унитарным предприятием «АТОМТЕХ» открытого акционерного общества «МНИПИ» – 2023 – 25 с
3. Hubbell J. H., Seltzer S. M. Tables of X-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients 1 keV to 20 MeV for elements Z= 1 to 92 and 48 additional substances of dosimetric interest. – National Inst. of Standards and Technology-PL, Gaithersburg, MD (United States). Ionizing Radiation Div., 1995. – №. PB--95-220539/XAB; NISTIR--5632.