

УДК 537.533.9

А.А. Роткович¹, А.А. Бондарук¹, С.А. Герман^{1,2}, Т.И. Зубарь¹,
А.В. Труханов¹, Е.С. Дашкевич¹, Д.И. Тишкевич¹

¹Научно-практический центр НАН Беларуси
по материаловедению, Минск, Беларусь;

²Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ОТ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ ЭПОКСИДНАЯ СМОЛА/ВОЛЬФРАМ

Введение. Ионизирующее излучение разрушает молекулы и молекулярные связи, что ведет к изменению химической структуры соединений. Это отрицательно сказывается на жизнедеятельности человека и состоянии окружающей среды [1]. Для защиты от ионизирующего излучения применяют радиационные экраны [2], содержащие в своем составе высокоплотные материалы, например, свинец. Однако, свинец имеет серьезный минус – значительные показатели токсичности. В данной работе предлагается использование другого материала – нанопорошка вольфрама. Указанный металл считается так называемым «зеленым» материалом и превосходит свинец по значению плотности.

В качестве матрицы для создания радиационных экранов может применяться эпоксидная смола, являющаяся бюджетным и прочным материалом, а также отличным связующим [3]. Эпоксидная смола позволяет заметно уменьшить вес образцов, что перспективно для ее использования в авиационной промышленности, а также в микроэлектронике и космической отрасли.

Цель работы – путем моделирования в программном комплексе Phy-X/PSD определить характеристики эффективности экранирования композиционных материалов системы эпоксидная/смола, по которым можно судить о возможности применения композитов в качестве радиационных экранов.

Материалы и методы. Композиционные материалы изготавливались из эпоксидной смолы ЭД-20 и нанопорошка вольфрама ПВЧ. Массовое содержание вольфрама варьировалось от 0 до 80% с шагом в 20%. Экспериментальные образцы были закодированы согласно шифру, приведенному в таблице 1.

Технология получения заключалась в смешении двух компонентов на магнитной мешалке в течение 5 минут. В дальнейшем смесь помещалась на водяную баню, нагретую до 50 °С, где гомогенизируются.

валась 10 минут. После остывания образца композита к нему добавляли отвердитель ПЭПА, перемешивали и заливали в силиконовую форму с размерами ячейки $4,8 \times 4,8 \text{ см}^2$. Отверждение происходило в течение 24 часов.

Таблица 1 – Кодовые названия композиционных материалов

Кодовое Название	Содержание эпоксидной смолы, %	Содержание вольфрама, %
ЭП100	100	0
ЭП80В20	80	20
ЭП60В40	60	40
ЭП40В60	40	60
ЭП20В80	20	80

Исследование морфологии и химического состава полученных композитов проводили методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с использованием Carl Zeiss EVO10 и приставки Oxford. Эффективную плотность образцов рассчитывали по методу Архимеда [4]. Моделирование эффективности экранирования осуществлялось в ПО Phy-X/PSD, где рассчитывались такие основные характеристики, как линейный коэффициент ослабления и слой половинного ослабления [5]. Указанные расчеты проводились в диапазоне энергий 0,0-2,0 МэВ.

Результаты и выводы.

Результаты моделирования эффективности экранирования от гамма-излучения (рис. 1а) показали, что использование экспериментальных образцов возможно при энергии излучения не выше 1 МэВ. Для полного же поглощения энергии 0,4 МэВ потребуется образец с содержанием наполнителя в 80% (ЭП20В80) с толщиной в 1 см, а для экранирования такой же величины энергии образец из чистой эпоксидной смолы (ЭП100) должен быть толщиной 5 см (рис. 1б).

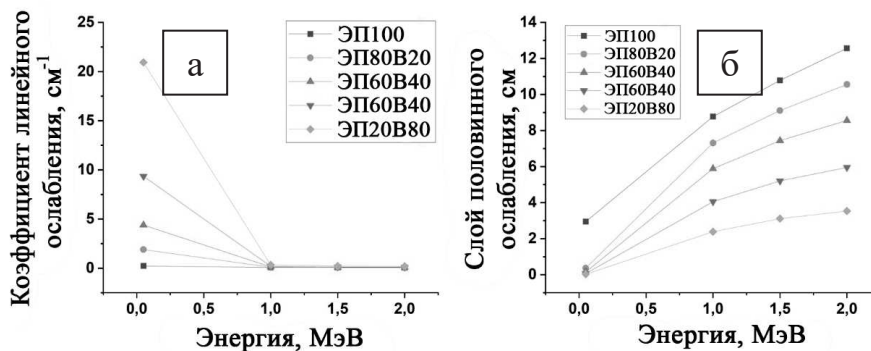


Рисунок 1 – Графики зависимости линейного коэффициента ослабления (а) и слоя половинного ослабления (б) от энергии гамма-излучения

Образец с содержанием вольфрама в 80% в наибольшей степени подходит для создания экранов радиационной защиты, так как он обладает лучшими характеристиками экранирования по сравнению с другими образцами. Применение данных композиционных материалов позволяет уменьшить толщину образца в 5 раз по сравнению с образцом без наполнителя вольфрама и допускает их эксплуатацию при энергии облучения до 1 МэВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Low cost radiation shielding material for low energy radiation applications: Epoxy/Yahyali Stone composites / N. Sahin [et al.] // Prog. Nucl. Energy – 2021. – Vol. 135. – P. 103703. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2021.103703>

2. Physical, optical and gamma radiation shielding competence of newly boro-tellurite based glasses: $\text{TeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-ZnO-Li}_2\text{O}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3$ / M. Sayyed [et al.] // Ceram. Int. – 2021. – Vol. 47(1). – P. 611-618. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.08.168>

3. Gamma Ray Shielding Property of Tungsten Powder Modified Continuous Basalt Fiber Reinforced Epoxy Matrix Composites / H. Yingwei [et al.] // Polym. Compos. – 2017. – Vol. 39. – P. 2106–2115. <https://doi.org/10.1002/pc.24469>

4. Композиты полимерные. Метод определения пустот: ГОСТ Р 56679–2015. – М.: Стандартинформ, 2017. – 12 с.

5. Phy-X / PSD: Development of a user friendly online software for calculation of parameters relevant to radiation shielding and dosimetry / E. Şakar [et al.] // Radiat. Phys. Chem. – 2020. – Vol. 166. – P. 108496. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108496>