

УДК 54-76

## РАЗРАБОТКА РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНОГО КОМПОЗИТА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ГАММА- ИЗЛУЧЕНИЯ

**Соколенко И.В., Ястребинский Р.Н., Матюхин П.В., Иваницкий Д.А.**

*ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,  
Белгород, e-mail: yrndo@mail.ru*

В работе представлены исследования по синтезу радиационно-защитного композита. В качестве связующего материала для радиационно-защитного композита использовали стекломатрицу, а в качестве защитного наполнителя использовали нанотрубчатый хризотил, модифицированный путем введения в структуру нанотрубок вольфрамата свинца  $PbWO_4$  в количестве до 30 масс. %. В результате исследований был синтезирован композиционный материал, содержащий в себе 10% нанотрубчатого хризотила, 50% вольфрамата свинца, остальное – стекломатрица со следующими физико-механическими показателями: плотность 6,3 г/см<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии 280 МПа, микротвердость 355 МПа, пористость 0,4%. Анализ всех проведенных результатов показал высокую радиационную стойкость разработанного композита на основе стекломатрицы и нанотрубчатого хризотила, модифицированного путем введения в структуру нанотрубок вольфрамата свинца  $PbWO_4$ .

**Ключевые слова:** вольфрамат свинца, стекломатрица, нанотрубчатый хризотил, линейный коэффициент ослабления, радиационная стойкость, радиационная защита

## DEVELOPMENT OF RADIATION PROTECTION COMPOSITE PROTECTION GAMMA RADIATION

**Sokolenko I.V., Yastrebinsky R.N., Matyuhin P.V., Ivanitskyi D.A.**

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, e-mail: yrndo@mail.ru*

The paper presents the research on the synthesis of radiation-protective composite. As a binder for radiation shielding composite steklomatrity used, and as protective filler used chrysotile nanotube modified by introducing into the structure of nanotubes  $PbWO_4$  lead tungstate in an amount up to 30 wt.%. As a result, research was synthesized composite material comprising a 10% chrysotile nanotube, 50% lead tungstate, rest – steklomatrity with the following physical-mechanical characteristics: Density 6,3 g / cm<sup>3</sup>, a compressive strength of 280 MPa and 355 MPa microhardness, porosity of 0,4%. Analysis of the results showed all held high radiation resistance developed based composite steklomatrity and chrysotile nanotube modified by introducing into the structure of nanotubes lead tungstate  $PbWO_4$ .

**Keywords:** tungstate of lead, glass matrix, nano tube chrysotile, the linear attenuation coefficient, radiation resistance, radiation protection

В настоящее время широкое использование получили композиционные материалы для защиты от ионизирующего излучения (ИИ). Как известно, для создания защиты от каждого вида ИИ требуется свой подход. Тяжелые элементы хорошо защищают от гамма-излучения, тогда как легкие элементы (водород, бор) лучше использовать для защиты от нейтронного излучения [6–8, 11, 24].

В космосе другая ситуация. Там нужно защищаться от вакуумного ультрафиолета, набегающего потока атомарных частиц, в особенности атомарного кислорода, резкого перепада температур и т.д. Имеется множество работ по повышению устойчивости полимерных композиционных материалов к негативным факторам космоса [3, 4, 10–19].

К настоящему моменту создано много материалов радиационно-защитного назначения. Однако, большинство из них способны защитить только от одного вида ИИ

и имеют ряд других физико-механических и эксплуатационных недостатков [1, 2, 5, 9, 13, 23]. К ним можно отнести малый температурный диапазон использования, невысокую прочность при сжатии и изгибе, повышенную себестоимость.

В некоторых случаях, к примеру, при разработке радиационной защиты для перспективных космических аппаратов, оснащенных ядерными энергетическими установками, требования к защитным материалам особенно высоки [20–22, 25–32]. В случае же проектирования радиационной защиты атомных подводных лодок требования снижаются, но все же следует уделять внимание максимальному снижению объема, занимаемого защитными конструкциями, и повышению температурного интервала их эксплуатации.

Таким образом, разработка радиационно-защитного композита для защиты от гамма-излучения является перспективным направлением.

**Цель исследования**

Изучить возможность синтеза радиационно-защитного композита для защиты от гамма-излучения.

**Материалы и методы исследования**

В качестве связующего материала для радиационно-защитного композита была выбрана стекломатрица, химический состав которой представлен в табл. 1.

**Таблица 1**

Химический состав стекломатрицы

Содержание, масс. %					
PbO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	ZnO	PbO <sub>2</sub>	CeO <sub>2</sub>
78,5	13,2	4,2	3,1	0,4	0,6

В качестве защитного наполнителя использовали нанотрубчатый хризотил, модифицированный путем введения в структуру нанотрубок вольфрамата свинца PbWO<sub>4</sub> в количестве до 30 масс.%. Применение данного наполнителя обусловлено сочетанием улучшенных физико-химических и механических свойств гидросиликатных нанотрубок, а также повышением физико-механических показателей, температурно- и радиационной стойкости композита по сравнению с обычным дисперсным наполнителем.

**Результаты исследования и их обсуждение**

В результате исследований был синтезирован композиционный материал, содержащий в себе 10% нанотрубчатого хризотила, 50% вольфрамата свинца, остальное – стекломатрица.

Физико-механические характеристики разработанного материала представлены в табл. 2.

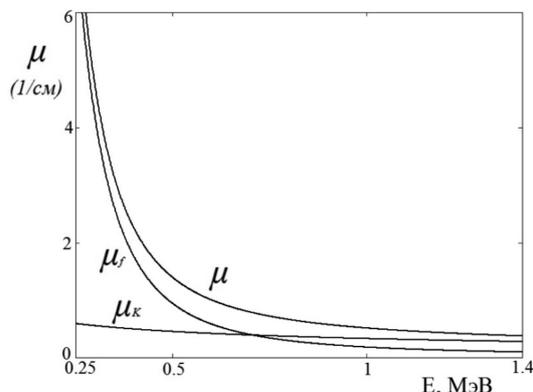
**Таблица 2**

Основные характеристики разработанного композита

№ п/п	Параметр	Значение
1	Плотность, г/см <sup>3</sup>	6,3
2	Предел прочности при сжатии, МПа	280
3	Микротвердость HV, МПа	355
4	Пористость, %	0,4
5	Водопоглощение, %	0
6	Температуростойкость, °С	400
7	Термостойкость, °С	> 370

Методом математического моделирования были проведены расчеты линейного коэффициента ослабления гамма-излучения для рассматриваемого состава композита.

Расчеты производились по стандартным методикам в программе MathCad. На рис. 1 представлена зависимость полученного линейного коэффициента ослабления от энергии излучения.



*Рис. 1. Кривая зависимости линейного коэффициента ослабления в разработанном композите от энергии излучения*

Анализ рис. 1 показывает, что линейный коэффициент ослабления уменьшается при увеличении энергии излучения. Для достоверности разработанной модели по вычислению линейного коэффициента ослабления был экспериментально по интенсивности поглощения без материала и с защитным материалом вычислен линейный коэффициент ослабления. Исследования проводили на специализированном оборудовании Гамма-дефектоскоп «Гаммарид-192/120МД». Использовали источник излучения на основе радионуклида <sup>192</sup>Ir, эффективная энергия  $\gamma$ -излучения составила 0,4 МэВ. На рис. 2 представлены основные радиационно-защитные характеристики разработанного композита (СХВ 10-50), а также для сравнения железа и свинца.

Анализ линейного коэффициента ослабления по моделированию и расчетного при одной и той же энергии 0,4 МэВ достаточно близки. Погрешность составляет не более 7%. Поэтому можно сказать, что разработанная модель по расчету линейного коэффициента ослабления является достоверной.

Анализ всех проведенных результатов показал высокую радиационную стойкость разработанного композита на основе стекломатрицы и нанотрубчатого хризотила, модифицированного путем введения в структуру нанотрубок вольфрамата свинца PbWO<sub>4</sub>.

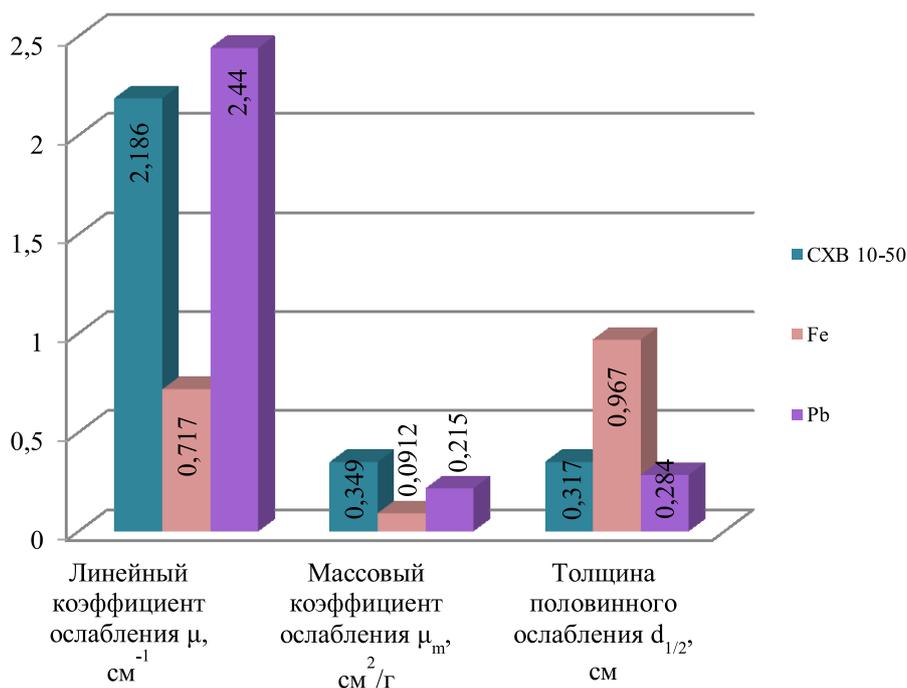


Рис. 2. Основные радиационно-защитные характеристики разработанного композита (CXB 10-50), железа и свинца

### Заключение

В работе представлены исследования по синтезу радиационно-защитного композита. В качестве связующего материала для радиационно-защитного композита использовали стекломатрицу, а в качестве защитного наполнителя использовали нанотрубчатый хризотил, модифицированный путем введения в структуру нанотрубок вольфрамата свинца  $\text{PbWO}_4$  в количестве до 30 масс. %.

В результате исследований был синтезирован композиционный материал, содержащий в себе 10% нанотрубчатого хризотила, 50% вольфрамата свинца, остальное – стекломатрица со следующими физико-механическими показателями: плотность  $6,3 \text{ г/см}^3$ , предел прочности при сжатии 280 МПа, микротвердость 355 МПа, пористость 0,4%.

Методом математического моделирования были проведены расчеты линейного коэффициента ослабления гамма-излучения для рассматриваемого состава композита. Анализ линейного коэффициента ослабления по моделированию и расчетного при одной и той же энергии 0,4 МэВ достаточно близки. Погрешность составляет не более 7%. Поэтому можно сказать, что разработанная модель по расчету линейного коэффициента ослабления является достоверной.

Анализ всех проведенных результатов показал высокую радиационную стойкость разработанного композита на основе стекломатрицы и нанотрубчатого хризотила, модифицированного путем введения в структуру нанотрубок вольфрамата свинца  $\text{PbWO}_4$ .

Работа выполнена при поддержке проектной части Государственного задания Минобрнауки РФ, проект № 11.2034.2014/К.

### Список литературы

1. Матюхин П.В. Жаропрочный радиационно-защитный композиционный материал конструкционного назначения / П.В. Матюхин, В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, Н.И. Черкашина, В.А. Дороганов, Е.И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 10. – С. 32–36.
2. Матюхин П.В. Термостойкие радиационно-защитные композиционные материалы, эксплуатируемые при высоких температурах / П.В. Матюхин, В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, В.А. Дороганов, Н.И. Черкашина, Е.И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 7–8. – С. 23–25.
3. Павленко В.И. Влияние вакуумного ультрафиолета на микро- и наноструктуру поверхности модифицированных полистирольных композитов / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Перспективные материалы. – 2013. – № 3. – С. 14–19.
4. Павленко В.И. Влияние вакуумного ультрафиолета на поверхностные свойства высоконаполненных композитов / В.И. Павленко, В.Т. Заболотный, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Физика и химия обработки материалов. – 2013. – № 2. – С. 19–24.
5. Павленко В.И. Влияние содержания кремнийорганического наполнителя на физико-механические и поверх-

- ностные свойства полимерных композитов / В.И. Павленко, Н.И. Черкашина, В.В. Сухорослова, Ю.М. Бондаренко // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 95.
6. Павленко В.И. Дефектность кристаллов модифицированного гидроксида титана, подвергнутого термической обработке / В.И. Павленко, О.В. Куприева, Н.И. Черкашина, Р.Н. Ястребинский // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58. № 5. – С. 125–129.
7. Павленко В.И. Изучение коэффициентов ослабления фотонного и нейтронного пучков при прохождении через гидрид титана / В.И. Павленко, О.Д. Едаменко, Н.И. Черкашина, О.В. Куприева, А.В. Носков // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2015. – № 6. – С. 21.
8. Павленко В.И. Модифицирование поверхности гидроксида титана боросиликатом натрия / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, О.В. Куприева, Р.Н. Ястребинский, Н.И. Черкашина // Перспективные материалы. – 2014. – № 6. – С. 19–24.
9. Павленко В.И. Радиационно-защитный композиционный материал на основе полистирольной матрицы / В.И. Павленко, О.Д. Едаменко, Р.Н. Ястребинский, Н.И. Черкашина // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 113–116.
10. Павленко В.И. Расчет ионизационных и радиационных энергетических потерь быстрых электронов в полистирольном композите / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, Н.И. Черкашина // Перспективные материалы. – 2015. – № 8. – С. 5–11.
11. Павленко В.И. Повышение эффективности антикоррозионной обработки ядерного энергетического оборудования путем пассивации в алюминийсодержащих растворах / В.И. Павленко, В.В. Прозоров, Л.Л. Лебедев, Ю.И. Слепоконь, Н.И. Черкашина // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2013. – Т. 56. № 4. – С. 67–70.
12. Павленко В.И. Экспериментальное и физико-математическое моделирование воздействия набегающего потока атомарного кислорода на высоконаполненные полимерные композиты / В.И. Павленко, Л.С. Новиков, Г.Г. Бондаренко, В.Н. Черник, А.И. Гайдар, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Перспективные материалы. – 2012. – № 4. – С. 92–98.
13. Павленко В.И. Эффективный способ получения термостойкого кристаллического нанопорошка вольфрама свинца для жаростойких радиационно-защитных материалов / В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, В.А. Дороганов, И.В. Соколенко, Н.И. Черкашина, Е.И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 7–8. – С. 32–36.
14. Павленко В.И. Явления электризации диэлектрического полимерного композита под действием потока высокоэнергетических протонов / В.И. Павленко, А.И. Акишин, О.Д. Едаменко, Р.Н. Ястребинский, Д.Г. Тарасов, Н.И. Черкашина // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. – Т. 12. № 4–3. – С. 677–681.
15. Павленко В.И. Суммарные потери энергии релятивистского электрона при прохождении через полимерный композиционный материал / Павленко В.И., Едаменко О.Д., Черкашина Н.И., Носков А.В. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2014. – № 4. – С. 101–106.
16. Черкашина Н.И. Воздействие вакуумного ультрафиолета и кислородной плазмы на структуру и устойчивость полистирольного композита с органосилоксановым наполнителем: диссертация ... кандидата технических наук. – Белгород, 2013.
17. Черкашина Н.И. Исследование влияния вакуумного ультрафиолета на морфологию поверхности нанонаполненных полимерных композиционных материалов в условиях, приближенных к условиям околоземного космического пространства / Черкашина Н.И., Павленко В.И., Едаменко А.С., Матюхин П.В. // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 130.
18. Черкашина Н.И. Воздействие вакуумного ультрафиолета на полимерные нанокompозиты // Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения): Материалы Межд. научно-практич. конференции. – 2010. – С. 246–249.
19. Черкашина Н.И. Моделирование воздействия космического излучения на полимерные композиты с применением программного комплекса GEANT4 // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. – С. 122.
20. Черкашина Н.И. Перспективы создания радиационно-защитных полимерных композитов для космической техники в Белгородской области / Н.И. Черкашина, В.И. Павленко / Белгородская область: прошлое, настоящее, будущее. Материалы областной научно-практической конференции в 3-х частях. – 2011. – С. 192–196.
21. Черкашина Н.И. Разработка наноструктурированных вяжущих на основе местного сырья Белгородской области для штукатурных растворов // В сборнике: Материалы I Международной научно-практической конференции «Проблемы строительного производства и управления недвижимостью». – Кемерово, 2010. – С. 67–70.
22. Черкашина Н.И. Синтез высокодисперсного гидрофобного наполнителя для полимерных матриц / Н.И. Черкашина, А.А. Карнаухов, А.В. Бурков, В.В. Сухорослова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 6. – С. 156–159.
23. Ястребинский Р.Н. Модифицированные железокислотные системы – эффективные сорбенты радионуклидов / Р.Н. Ястребинский, В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, А.В. Ястребинская, Н.И. Черкашина // Перспективные материалы. – 2013. – № 5. – С. 39–43.
24. Ястребинский Р.Н. Структурно-фазовая характеристика боросиликатного покрытия // Р.Н. Ястребинский, О.В. Куприева, Н.И. Черкашина // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2014. – Т. 57. – № 9. – С. 20–23.
25. Matyukhin P.V. The high-energy radiation effect on the modified iron-containing composite material / P.V. Matyukhin, V.I. Pavlenko, R.N. Yastrebinsky, N.I. Cherkashina // Middle East Journal of Scientific Research. – 2013. – Т. 17. № 9. – P. 1343–1349.
26. Pavlenko V.I. Effect of vacuum ultraviolet on the surface properties of high-filled polymer composites / V.I. Pavlenko, N.I. Cherkashina, O.D. Edamenko, V.T. Zabolotny // Inorganic Materials: Applied Research. – 2014. – Т. 5. № 3. – P. 219–223.
27. Pavlenko V.I. Modification of titanium hydride surface with sodium borosilicate / V.I. Pavlenko, O.V. Kuprieva, R.N. Yastrebinskii, N.I. Cherkashina, G.G. Bondarenko // Inorganic Materials: Applied Research. – 2014. – Т. 5. № 5. – P. 494–497.
28. Pavlenko V.I. Total energy losses of relativistic electrons passing through a polymer composite / V.I. Pavlenko, O.D. Edamenko, N.I. Cherkashina, A.V. Noskov // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2014. – Т. 8. № 2. – P. 398–403.
29. Pavlenko V.I. Using the high-dispersity  $[\alpha]\text{-Al}_2\text{O}_3$  as a filler for polymer matrices, resistant against the atomic oxygen / V.I. Pavlenko, N.I. Cherkashina, A.V. Yastrebinskaya, P.V. Matyukhin, O.V. Kuprieva // World Applied Sciences Journal. – 2013. – Т. 25. № 12. – P. 1740–1746.
30. Pavlenko V.I. Study of the attenuation coefficients of photon and neutron beams passing through titanium hydride / V.I. Pavlenko, O.D. Edamenko, N.I. Cherkashina, O.V. Kuprieva, A.V. Noskov // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2015. – Т. 9. № 3. – P. 546–549.
31. Slyusar' O.A. Effect of additives on dispersed system structure formation / O.A. Slyusar', R.N. Yastrebinskii, N.I. Cherkashina, V.A. Doroganov, A.V. Yastrebinskaya // Refractories and Industrial Ceramics. – 2015.
32. Yastrebinsky R.N. Modifying the surface of iron-oxide minerals with organic and inorganic modifiers/ R.N. Yastrebinsky, V.I. Pavlenko, P.V. Matyukhin, N.I. Cherkashina, O.V. Kuprieva // Middle East Journal of Scientific Research. – 2013. – Т. 18. № 10. – P. 1455–1462.