

УДК: 699.887

***ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ, НАПОЛНЕННЫЕ
ВЫСОКОДИСПЕРСНЫМИ ВОЛЬФРАМСОДЕРЖАЩИМИ ПОРОШКАМИ***

Гавриш В.

*К.т.н., доцент кафедры «Технологии машиностроения»,
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
Севастополь, Россия*

Чайка Т.

*Старший преподаватель кафедры «Строительство и землеустройство»
Института развития города,
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
Севастополь, Россия*

Фролова М. А.

*К.х.н., доцент кафедры «Строительство и землеустройство» Института
развития города,
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
Севастополь, Россия*

Аннотация

Исследованы радиационно-защитные свойства композиционного материала на основе полиуретана с добавлением высокодисперсных вольфрамсодержащих порошков (карбид вольфрама WC, оксид вольфрама WO₃ и вольфрам W). В диапазоне энергий гамма-излучения от 59 до 1408 кэВ определены линейные коэффициенты ослабления данных материалов в диапазоне концентраций наполнителя 20, 40, 60, 80 масс. %. Выявлено значительное увеличение плотности материала при введении данных наполнителей, что напрямую влияет на защитные характеристики и позволит существенно снизить толщину защитных материалов. Полученные результаты подчеркивают потенциал

применения вольфрамсодержащих добавок для создания высокоэффективных защитных композитов в области радиационной безопасности.

Ключевые слова: композиционный материал, гамма-излучение, линейный коэффициент ослабления, высокодисперсный порошок, карбид вольфрама, оксид вольфрама, вольфрам.

POLYMER COMPOSITES FILLED WITH HIGHLY DISPERSED TUNGSTEN-CONTAINING POWDERS

Gavrish V.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Technology,

Sevastopol State University

Sevastopol, Russia

Chaika T.

Lecturer at the Department of Construction and Land Management at the Institute of Urban Development,

Sevastopol State University

Sevastopol, Russia

Frolova M.A.

PhD, Associate Professor at the Department of Construction and Land Management at the Institute of Urban Development,

Sevastopol State University

Sevastopol, Russia

Abstract

The radiation-protective properties of a composite material based on polyurethane with the addition of highly dispersed tungsten-containing powders (tungsten carbide WC, tungsten oxide WO₃ and tungsten W) have been studied. In the range of gamma

radiation energies from 59 to 1408 keV, linear attenuation coefficients of these materials have been determined in the range of filler concentrations of 20, 40, 60, 80 wt. %. A significant increase in material density has been revealed with the introduction of these fillers, which directly affects the protective characteristics and will significantly reduce the thickness of protective materials. The results obtained highlight the potential of using tungsten-containing additives to create highly effective protective composites in the field of radiation safety.

Keywords: composite material, gamma radiation, linear attenuation coefficient, highly dispersed powder, tungsten carbide, tungsten oxide, tungsten.

Введение

В области радиационной защиты свинец и железобетон зарекомендовали себя как эффективные материалы для ослабления гамма- и нейтронного излучения различных энергий. Тем не менее, использование свинцовых и железобетонных конструкций сопряжено с рядом ограничений: высокая стоимость производства, прямая зависимость массы изделия от его габаритов, что делает их применение целесообразным преимущественно в качестве стационарной защиты на объектах, работающих с высокоэнергетическим излучением.

Наряду с традиционными материалами, полимеры, такие как полиуретан, каучук и полипропилен [1-4], находят широкое применение в качестве защитных материалов благодаря своим функциональным характеристикам: механической прочности, эластичности, стабильности формы, гибкости, износостойкости, долговечности, устойчивости к воздействию кислот и растворителей, широкому диапазону рабочих температур и возможности механической обработки [5]. Все это дает возможность изготавливать защитные композиции в любой геометрии и любой форме [6], что невозможно применить при изготовлении защит из традиционных материалов [7]. Однако,

полимеры эффективно ослабляют поток нейтронного и среднеэнергетического гамма-излучения, но не обеспечивают достаточной защиты от высокоэнергетических нейтронов и гамма-лучей.

Поэтому повышение радиационно-защитных свойств полимера является на сегодня весьма актуальной задачей. В данной работе авторами предложено использование модифицирующих добавок в виде вольфрамсодержащих нанопорошков для улучшения защиты от высокоэнергетического излучения].

Экспериментальная часть

В качестве полимера для композиционного материала использовали полиуретан марки ARTCAST70, характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика полиуретана марки ARTCAST70

Наименование показателя	Числовое значение показателя
плотность, г·см ⁻³	1,03
усреднённая вязкость, mPas	150 (при температуре 25 °С)
прочность на разрыв, kgf·cm ⁻²	27
Линейная усадка, %	≤0,2
Твёрдость по Шору (D)	68

В качестве наполнителя использовали высокодисперсные порошки вольфрама (W), оксида вольфрама (WO₃) и карбида вольфрама (WC). Порошки получены из твердосплавных вольфрам-кобальтовых отходов с использованием технологии, описанной в работе [8]. Микроструктура вольфрамсодержащих частиц представлена на электронных микроснимках (рис.1), выполненных с помощью сканирующего электронного микроскопа PHENOMproX фирмы Phenom–WorldB.V. (Нидерланды) с интегрированной системой энергодисперсионного анализа. Средний размер частиц WC и WO₃ менее 150 нм, частиц W менее 800 нм, размер агломератов до 2,0 мкм в количестве не более 15% [9-10].

а) карбид вольфрама WC; б) оксид вольфрама WO₃; в) вольфрам W

Источником гамма квантов были взяты образцовые спектрометрические гамма излучатели (далее – ОСГИ): америций $^{241}_{95}\text{Am}$ и европий $^{152}_{63}\text{Eu}$. Диапазон энергий данных источников ионизирующего излучения находится в пределах 59,93 кэВ...1408 кэВ.

Линейный коэффициент ослабления (μ) – это основной параметр, характеризующий радиационно-защитные свойства материала. Физический смысл данного параметра – относительное ослабление гамма-излучения на единицу длины пути в см. Данный коэффициент зависит от энергии гамма-квантов и химического состава материала защиты.

При анализе экспериментальных данных необходимо учитывать, что μ возрастает с увеличением атомного номера поглотителя, то есть, чем больше протонов в ядре атома, следовательно, и количество электронов на орбитальных оболочках, тем вероятность взаимодействия гамма-квантов с

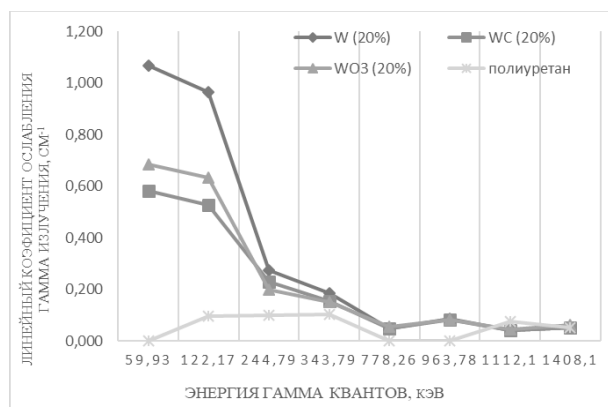
Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМН ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

веществом больше; для всех защитных материалов μ уменьшается при увеличении энергии гамма лучей.

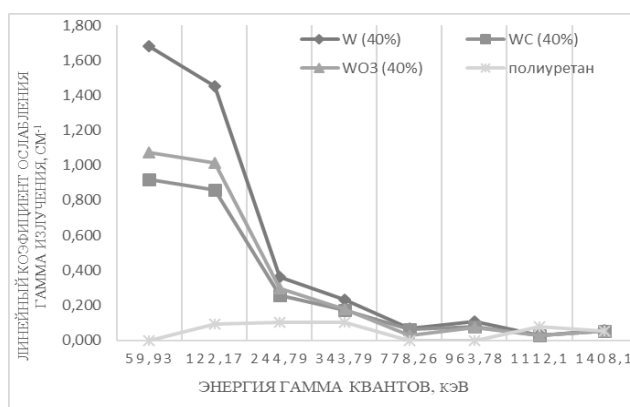
Линейный коэффициент ослабления имеет размерность см^{-1} , а величина, обратная линейному коэффициенту ослабления – средняя длина свободного пробега – это среднее расстояние, которое проходит гамма-квант, прежде чем испытать взаимодействие, которое выведет его из пучка.

Экспериментально определенные коэффициенты линейного ослабления гамма излучения при различном содержании порошков (20, 40, 60, 80 масс.%) представлены на рисунке 2.

Как видно на рисунке 2, исследования прохождения гамма-квантов через модифицированный пластик демонстрируют однородный характер распределения, не зависящий от концентрации порошка. При этом сохраняются общие закономерности независимо от типа и количества добавленного материала.



а)



б)

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

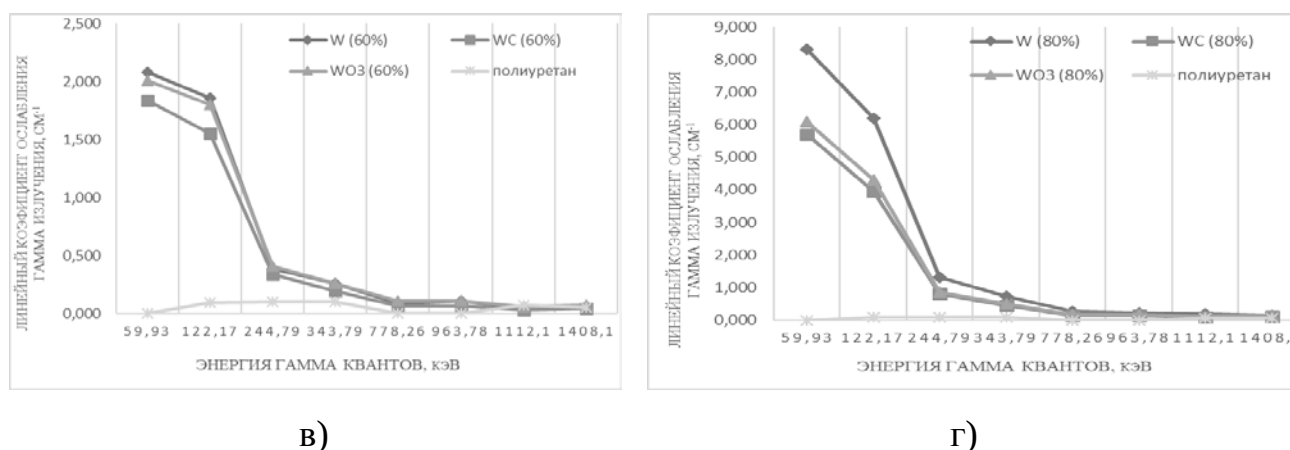


Рисунок 2 – Зависимость линейного коэффициента ослабления гамма излучения при прохождении пластика, модифицированного порошками W, WC, WO₃ при концентрациях:

а) 20% масс.% б) 40 масс.% в) 60 масс.% г) 80 масс.%

Проведенные исследования прохождения гамма квантов через модифицированный пластик показали однородность характера распределения не зависимо от содержания порошка. При этом сохраняются некоторые закономерности не зависимо от вида и количества добавленного сокодисперсного порошка. Максимальные значения линейного коэффициента ослабления существенно различаются: наибольшие значения наблюдаются при низких энергиях (59,93 кэВ и 122,7 кэВ), в то время как при энергиях свыше 244,79 кэВ значения μ минимальны:

– при концентрации порошка в матрице композита 20 масс.% наблюдается увеличение линейного коэффициента ослабления (при энергиях 59,93 ... 122,7 кэВ): добавление карбида вольфрама приводит к увеличению μ более чем в 16,3 раза; вольфрама – более чем в 10,6 раз; оксида вольфрама – более чем в 6,9 раз по сравнению с контрольным образцом;

– при увеличении содержания порошков до 40 мас.% общее поведение гамма-квантов в защитных композитах остается прежним, однако защитные свойства композитов улучшаются – коэффициент ослабления составляет 1,682 см⁻¹ при энергии 59,93 кэВ и 1,451 см⁻¹ при энергии 122,7 кэВ;

– при концентрации нанопорошка 60 масс.% все модификаторы демонстрируют сравнимые защитные свойства: значение линейного коэффициента ослабления гамма-излучения возрастает в 18...20 раз по сравнению с чистым полиуретаном;

– наибольшими защитными свойствами обладают композиты, в матрицу которых введено 80 мас.% порошков, при этом добавка вольфрама увеличивает значение линейного коэффициента ослабления до $8,3 \text{ см}^{-1}$ ($0,1 \text{ см}^{-1}$ для чистого полимера) при энергии кванта 59,93 кэВ. Однако при увеличении энергии в 2 раза значение коэффициента резко уменьшается – до $1,3 \text{ см}^{-1}$.

Полученные результаты (рис. 2) подтверждают, что линейный коэффициент ослабления гамма-излучения зависит от энергии излучения и от плотности материала защиты. Характер распределения сохраняется одинаковым для любого типа и содержания вольфрамсодержащих порошков в полиуретановой основе. Наибольшая эффективность защиты достигается для квантов с энергией 59,93 и 122,17 кэВ. Это объясняется тем, что при данных энергиях в материале защиты наиболее вероятно протекание взаимодействия гамма излучения с электронами атомов по схеме комптоновского рассеяния (эффект Комптона) и фотоэффекта. Это значит, что гамма квант, претерпевая ряд соударений с электронами атома (рассеиваясь) в конечном итоге прекращает свое существование (то есть поглощается материалом защиты).

При энергиях гамма-квантов свыше 244,7 кэВ комптоновское рассеяние становится менее вероятным из-за высокой энергии, а следовательно, и скорости кванта. Образование электрон-позитронных пар в поле ядра требует энергии гамма-квантов свыше 3 МэВ [11]. Несмотря на это, защитные свойства модифицированных пластмасс с добавками (карбид вольфрама, оксид вольфрама и вольфрам) более чем в 6 раз превышают защитные свойства чистого полиуретана.

Как отмечено ранее, физический смысл коэффициента μ – это доля гамма-квантов, которые проходя через защитный материал толщиной в 1 см претерпевая взаимодействия, выбывают из пучка. Плотность защитного материала прямо пропорционально влияет на величину μ , поскольку гамма-кванты взаимодействуют преимущественно с электронами атомов. Чем больше электронов на электронных оболочках, тем вероятность взаимодействия гамма-кванта с электроном выше, а, следовательно, кратность ослабления потока ионизирующих частиц также вырастает.

В таблице 1 представлены плотности образцов, использованных в экспериментах.

Таблица 1 – Плотность пластика на основе полиуретана с добавлением нанопорошков

%, нано добавка	ρ , г·см ⁻³	%, добавка	ρ , г·см ⁻³	%, добавка	ρ , г·см ⁻³
0%	1,03	0%	1,03	0%	1,03
20%W	1,5	20%WO ₃	1,35	20%WC	1,2
40% W	1,98	40% WO ₃	1,46	40% WC	1,46
60%W	2,2	60%WO ₃	2,17	60%WC	2,02
80% W	2,4	80% WO ₃	3,8	80% WC	4,012

Вольфрамсодержащие добавки существенно увеличивают плотность материала по сравнению с контрольным образцом: при увеличении концентрации порошка в композите с 20 до 80 масс.% плотность полимера увеличивается в 1,45–2,33 раза (вольфрам), в 1,3–3,68 раза (оксид вольфрама) и в 1,16–3,89 раза (карбид вольфрама). Таким образом, чем выше плотность защитного композита, тем меньшая толщина защиты требуется для поглощения заданного количества гамма-квантов.

Выводы

Таким образом, исследование подтверждает, что модификация полимеров вольфрамсодержащими высокодисперсными добавками значительно повышает их радиационно-защитные свойства. Более того, увеличение плотности

защитного композита ведет к снижению необходимой толщины защиты от гамма-излучения. Эффективность материалов определяется их составом, что открывает новые перспективы для разработки высокоэффективных защитных материалов в области радиационной безопасности.

Библиографический список:

1. Gokuc YT and Turunç S 2019 Use of Nanotechnological building materials in the Turkish construction industry. J. J Sustain. Construct. Mater. Technol 4(1) 296-305.
2. da Silva Freitas DM, Araujo PLB, Araujo ES, daS Aquino KA 2017 Effect of copper sulfide nanoparticles in poly (vinyl chloride) exposed to gamma irradiation. Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials 27(5) 1546-55.
3. Li R, Gu Y, Wang Y, Li M, Zhang Z 2017 Effect of particle size on gamma radiation shielding property of gadolinium oxide dispersed epoxy resin matrix composite Materials Research Express 4(3) 035035.
4. Giménez M A N , Lopasso E M 2018 Tungsten carbide compact primary shielding for small medium reactor Annals of Nuclear Energy 116 210-23.
5. Brito A 2020 How polyurethane can be used in today's manufacturing industry Reinforced Plastics 64 (5) 268-70.
6. Manigandan S, Praveenkumar TR, Amal M. Al-Mohaimeed , Kathirvel Brindhadevi, Arivalagan Pugazhendhi 2020 Characterization of polyurethane coating on high performance concrete reinforced with chemically treated Ananas erectifolius fiber Progress in Organic Coatings 150.
7. Kargin V A 1977 Encyclopedia of polymers. Polyoxadiazoles vol 3 (Moscow: Soviet encyclopedia) p 575.
8. Gavrish V, Gavrish M, Baranov G, Chayka T and Derbasova N 2014 Pat UA9142.

9. Gavrish V, Chayka T, Baranov G 2019 On the issue of the techniques to produce mass and low-price tungsten oxide nanopowder Procedia Manufacturing 37 306–10.

10. Gavrish V, Chayka T, Baranov G 2019 The study on agglomerates of WC, TiC, TaC nanopowder mixtures obtained from hard-alloy waste products Journal of Physics: Conference Series 1410 01201.

11. Взаимодействие излучения высокой энергии с веществом [Текст] : [учебное пособие] / Е. А. Мурзина ; МГУ им. М. В. Ломоносова, НИИ ядер. физики, Физ. фак., Каф. косм. лучей и физики космоса. - [Москва] : Изд-во МГУ, 1990. - 82 с. : ил.; 20 см.; ISBN 5-211-02007-3.

Оригинальность 90%