
ДИСКУСІЯ

УДК 621.384.2.002

МИХАИЛ ИВАНОВИЧ ХВОРОСТЕНКО¹, ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ ТКАЧЕНКО²,
ИГОРЬ НИКОЛАЕВИЧ КИХТЕНКО¹, ЮЛИЯ МИХАЙЛОВНА ХВОРОСТЕНКО¹

¹ГУ «Днепропетровская медицинская академия Министерства здравоохранения Украины»

²Национальный центр аэрокосмического образования молодежи им. А. М. Макарова, Днепр

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы. Создание тонкопленочных материалов для защиты от проникающей радиации на основе использования дисперсных сред, включающих специальный порошковый наполнитель с частицами металла вольфрама и углерода.

Материалы и методы. Предложена технология создания тонкопленочных радиационно-защитных материалов, основанная на использовании дисперсных сред, усиленных порошкообразными наполнителями. В состав наполнителей входят вольфрам и углерод с размерами частиц менее 100 мкм, аномально поглощающих и рассеивающих ионизирующее излучение. Полученную дисперсную смесь наносим на матрицу (нитки, бумагу, ткани, полимеры, пластмассу, резину). Защитные свойства полученного материала сравнивали с эталоном из свинца при энергии источника излучения 1200 кэВ.

Результаты. Проведенными исследованиями тонких тканевых материалов, пропитанных разработанным модификатором, толщиной до 1 мм, при облучении кобальтовым источником (1200 кэВ), удалось обеспечить защиту, эквивалентную 0,11–0,15 см свинца. Новые разработки базируются на неизвестном ранее явлении избирательной массопередачи между существенно разноплотными многоэлементными фазами из частиц полидисперсных смесей.

Выводы. Полученные тонкопленочные покрытия обеспечивают максимальное ослабление заданной энергии излучения при одновременном сбережении высоких механических характеристик.

Ключевые слова: ионизирующее излучение, дисперсная среда, порошковый наполнитель, модификатор.

Создание материалов, обеспечивающих эффективную защиту от ионизирующих излучений, основано на открытиях аномально дискретной проницаемости для ряда наполнителей в виде дисперсных сред, включающих специально разработанный порошковый наполнитель с ультрадисперсными частицами (УДЧ) металла [1]. Физика процесса определяется граничными кванто-механическими эффектами взаимодействия наполнителя с энергией излучения [2]. При соотношении критических концентраций наполнителя и выбранной основы матрицы значительно уменьшается толщина и масса создаваемых материалов за счет организации частиц по размерам с образованием структурированного слоя. Проявление аномального эффекта используется для определения параметров компонентов дисперсных фаз при максимальных значениях поглощения излучения.

Наполнитель вводят в состав матриц-материалов, например, пластических масс, резин, клеев,

герметиков, лакокрасочных материалов, с целью повышения защитных свойств, модификации эксплуатационных свойств, а также снижения их стоимости.

Однако введение наполнителя связано с трудностями из-за высокой физико-химической активности, что влияет на получение заданного конечного результата [3]. В последние годы развитие радиационно-защитных материалов идет по пути усовершенствования состава материалов и технологии их смешения для получения однородной плотноупакованной структуры.

Впрочем, этот путь не позволяет получить тонкопленочные материалы для защиты от облучения средними и высокими энергиями (1200 кэВ). Для получения эффективных материалов увеличивают их толщину соответственно объему массы, что является главным негативным фактором, так как увеличение весовых характеристик изделия значительно сужает возможности использования материалов для защиты.

Целью работы было создание новых тонкопленочных радиационно-защитных материалов на основе

© М. И. Хворостенко, В. И. Ткаченко, И. Н. Кихтенко,
Ю. М. Хворостенко, 2017

композита дисперсных фаз, включающих ультрадисперсные частицы металла (УДЧ), обеспечивающих повышение радиационно-защитных свойств, эквивалентных защитному слою свинца до 4 мм при энергиях излучения ^{137}Cs , ^{60}Co .

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Предложена технология создания радиационно-защитных материалов, а также изготовление и эксплуатация разнообразных средств защиты от проникающей радиации, которая основана на использовании композиционных материалов, усиленных порошкообразными наполнителями.

Наполнители представляют собой композит, в состав которого входит вольфрам и углерод, аномально поглощающий и рассеивающий ионизирующее излучение. В композите использовали дисперсные системы, куда входят частицы размером менее 100 мкм. Наличие таких частиц обеспечивает аномальное поглощение рентгеновского и гамма-излучений.

Впервые на практике разработан новый, качественный, простой и эффективный метод, заключающийся в определении массы поглощающего композита, достаточного для изготовления материала, обеспечивающего значительное повышение защитного эквивалента фактической толщины защиты, относительно защиты металла, принятого за эквивалент для заданной кратности ослабления.

Для подтверждения уменьшения толщины и увеличения защитных свойств композита проведены сравнительные исследования на контрольном образце, например нити, полученном при нанесении композита на ее основу. По специальной технологии было нанесено тонкое покрытие для защиты нити от высоких энергий радиационного излучения (РИ). Для контроля количества покрытия образцы взвешивались до и после нанесения покрытия. Найденная путем вычитания разница в весе образцов ΔG использовалась для определения массовой толщины нанесенного покрытия по формуле:

$$y = \frac{\Delta G}{S},$$

где: y — массовая толщина покрытия, г/см²; S — площадь образца, см².

Так как все образцы представляли собой отрезки стеклянной нити известной длины и толщины, близкой к цилиндрической форме, поверхностная масса нанесенного на них покрытия определялась по формуле:

$$y = \frac{G_1 - G_2}{\pi \cdot d \cdot l},$$

где: G_1 и G_2 — вес образцов соответственно до и после нанесения покрытия; d — диаметр нити, см; l — длина нити, см.

Массовая толщина нанесенного покрытия на образце стеклянной нити с мокрым нанесением (веса усреднены по четырем образцам) составила:

$$y = 0,0010 \text{ г/см}^2.$$

Новые разработки базируются на неизвестном ранее явлении избирательной массопередачи между существенно разноплотными многоэлементными фазами из частиц полидисперсных смесей.

В результате экспериментов установили, что при оптимальном отношении массы сухой смеси и инертного к последнему увлажнителя возникает дифракционный максимум, который в условиях наличия на границе раздела фаз приводит, с одной стороны, к физико-химической активации полидисперсной смеси, а с другой — к последующей избирательной массопередаче частиц металла и, как следствие, к формированию структуры тонкого слоя покрытия [4].

Метод реализуется путем определения объемной массы поглощающего композита с необходимой матрицей, при взаимодействии с которой происходит аномальное поглощение излучения. Масса наполнителя определяется математическим путем (радиационно-защитный материал, патент Украины №59493) [5]. Поглощающий композит составлен в виде порошковой смеси, которая обеспечивает полное взаимодействие с любым из компонентов носителя (матрица), необходимого для получения материала с заданными физико-механическими характеристиками. На основании новой методики получены новые композиционные материалы, отличающиеся небольшим содержанием металла в виде порошков, обеспечивающих высокий защитный эквивалент при значительном снижении толщины защитного слоя.

В качестве матрицы могут применяться различные ткани, полимеры, пластмассы, резина. Изготовление эластичного радиационно-защитного материала проводится методом пропитки ткани путем помещения ее в реакционную смесь или нанесении слоев защитного покрытия на ткань либо комбинированным, который включает как пропитку, так и нанесение защитного покрытия.

Защитные свойства композиционных материалов (образцы) и их сравнение с существующими образцами определяли при помощи рентгенографии, заданной энергии излучения и компьютерной томографии (КТ).

Методика исследования количественного влияния структуры полидисперсного наполнителя на радиационно-защитные свойства композиционного материала представлена на рис. 1.



Рис. 1. Методика разработки радиационно-защитных материалов

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенными исследованиями тонких тканевых материалов, пропитанных разработанным модификатором, толщиной до 1 мм, при облучении кобальтовым источником (1200 кэВ) удалось обеспечить защиту, эквивалентную 0,11–0,15 см свинца. Данное достижение не имеет аналогов в мировой практике и позволяет разработать специальную защитную одежду для персонала, который работает в условиях повышенной радиации. При этом физико-химические характеристики модификатора, его практическая инертность по отношению к биологическим жидкостям и окислению, четвертый (наиболее низкий) класс опасности, а также незначительное количество в общей массе материалов (0,5...1,5 %) дают основание предположить его минимальное либо незначительное воздействие на живой организм при практическом использовании защитных материалов с наполнением дисперсными частицами [6].

Вес наполнителя (около 50 г на 1 м² ткани) практически не изменяет вес спецодежды и не влияет на санитарно-гигиенические показатели. Использование этих результатов актуально для создания спецодежды для персонала, работающего с атомными установками гражданского и военного назначения. Халаты, фартуки, головные уборы, обувь, прокладки

и др., изготовленные с использованием новой технологии, должны заменить свинецсодержащие соответствующие изделия для медицинского персонала и пациентов. Весьма актуальной является возможность создания скафандров для работы в зонах с повышенным уровнем радиации.

Создание средств индивидуальной защиты на основе многослойных конструкций позволяет путем перераспределения основной толщины защитить жизненно важные зоны организма и снизить толщину на других зонах. Например, до 70 % веса изделия на бедрах и до 30 % веса на плечах. Этим обеспечивается свобода движений, возможность сидеть, стоять на коленях. Защитные свойства могут усиливаться за счет дополнительных элементов (в виде накладок) на фронтальных частях жилетов, накидок, комбинезонов. Фартуки с облегченной спиной обеспечивают стандартную фронтальную защиту. Регулирование размеров изделий, в определенных пределах, обеспечивается за счет применения клапанов-липучек, поясов. Необходимое количество тонких слоев материала определяется при моделировании изделия.

В результате работы сконструированы следующие виды изделий из новых материалов: комбинезон; фартуки с облегченной спиной и регулируемые размеры; жилеты, юбки, обворачивающиеся вокруг

тела; гонадная защита, которая крепится с помощью эластичного пояса; воротники и пелерины с липучками для защиты зоны щитовидной железы; шапочки, перчатки, нарукавники, бахилы. Испытания санитарно-гигиенических свойств материалов и изделий определили их соответствие требованиям существующих санитарных норм.

Таким образом, цикл выполненных работ позволил создать образцы материалов для индивидуальных средств защиты, провести их испытания и санитарно-гигиеническую экспертизу. Положительные результаты испытаний и экспертизы (по защитным характеристикам и эколого-гигиеническим свойствам образцы

соответствуют мировому уровню) позволяют рекомендовать проведение:

- подготовки полупромышленного производства рентгенозащитных материалов с ультрадисперсным наполнителем для средств индивидуальной защиты;
- расширенных научных исследований по ультрадисперсным наполнителям с целью выяснения вопроса о применимости разработанных технических решений для создания радиационно-защитных материалов, пригодных для защиты от гамма-излучения с энергиями квантов ~ 1 МэВ.

Основные характеристики изделий приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики изделий

Наименование изделия	Свинцовый эквивалент, мм, не больше	Вес изделия, кг, не более
Комбинезон с распределенной защитой	0,2...0,4	6,2
Фартук двусторонний	Впереди 0,4 Сзади 0,2	5,4
Фартук односторонний	0,4	4,9
Полуфартук гонадный	0,5	0,8
Юбка, обворачивающаяся вокруг тела	Впереди 0,4 Сзади 0,2	2,8
Жилет	Впереди 0,4 Сзади 0,2	1,6
Воротник дентальный	0,25	0,35
Пелерина	0,25	0,5
Шапочка	0,4	0,6
Нарукавники	0,25	0,4 (пара)
Перчатки	На ладонях 0,3	0,3 (пара)
Экран (ширма)	0,8...1,0	6..8
Пеленка (пластина)	0,4	1,2

Открывается перспектива разработки и производства рентгеноконтрастных материалов для медицины: шовный материал, салфетки, катетеры и т.д. В частности, медицинское использование разработанной рентгеноконтрастной шовной нити на живом биологическом объекте показало, что ее эффективность выше на 20 %, чем у патентованной английской нити «Microsack-600».

Рентгеноконтрастная нитка, в том числе сверхтонкая, предназначенная для использования в качестве шовной при проведении нейрохирургических операций, может применяться как метка в хирургических материалах, при рентгенодиагностике. После придания рентгеноконтрастных свойств нитка сохраняет механические характеристики материала основы. На рисунке 2 приведен рентгеновский снимок (позитив) рентгеновской нитки «Microsack-600» (Англия) и разработанной авторами.

Рентгенозащитная нитка со свинцовым эквивалентом 0,2–0,3 мм пригодна для создания тканых материалов и изготовления средств индивидуальной защиты персонала, который обслуживает источники ионизирующих излучений.

Разработана технология модификации тканевых материалов из натуральных и искусственных волокон для придания им рентгенозащитных свойств

с сохранением основных характеристик: прочности, эластичности, гигроскопичности.

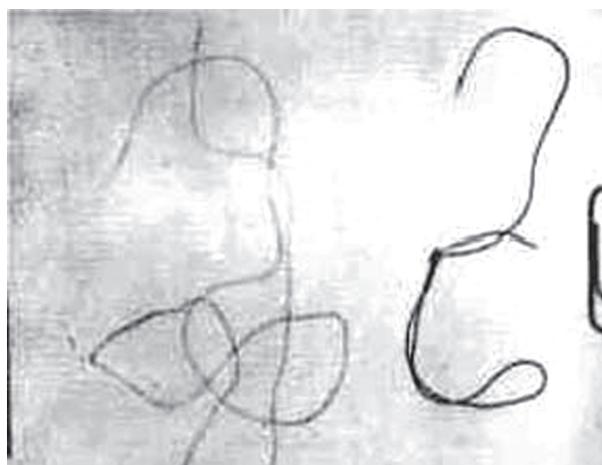


Рис. 2. Рентгенограмма контрастной нитки «Microsack-600» (Англия) и разработанной авторами

Результаты имитационных исследований на ускорителях заряженных частиц показали повышение радиационно-защитных свойств разработанных материалов по сравнению с традиционной защитой в 1,4–2,2 раза в зависимости от состава материала и типа облучения. Рентгеноконтрастная нить с поверхностной

плотностью покрытия 7×10^{-6} г/мм², эквивалентна контрастной стальной проволоке диаметром 1 мм.

ВЫВОДЫ

Получены покрытия, обеспечивающие максимальное ослабление заданной энергии излучения, при одновременном сохранении высоких механических характеристик.

Взаимодействие поверхности основы и пленкообразующей композиции покрытия не приводит к изменению структуры поверхности основы.

Проведенные экспериментальные работы по получению оптимального соотношения компонентов **многофункционального покрытия** на основу показали оптимальное соотношение вольфрама с углеродом.

В предполагаемом способе нанесения защитного покрытия на основу удалось оптимизировать материалы покрытия, их концентрацию и последовательность нанесения таким образом, что при достаточном пропускании излучения покрытие позволяет получить высокие защитные свойства от излучений в диапазоне 1200 кэВ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Явление аномального ослабления рентгеновского излучения ультрадисперсными средами.* № 4 / В. И. Ткаченко, В. А. Артемьев и др. // Приоритет 7.06.1987 г. // Научные открытия ученых. — 2008. — С. 87.
2. *Хворостенко М. И.* Явление избирательной массопередачи частиц полидисперсных смесей. № 598 / М. И. Хворостенко, В. И. Ткаченко // Наукові праці. 2014. — № 226. — С. 3–4.
3. *Козлов В. Д.* Основы радиационной технологии / В. Д. Козлов, А.В. Путилов // Учеб. пособие. — М., 2001. — С. 147–148.
4. Ткаченко В. А. Аномальные взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. Альманах в 7 книгах / В. А. Ткаченко, В. И. Ткаченко. — 2012. — Т. 6. — С. 202–262.
5. Патент Украины № 32469 / А. Ф. Булат, В. И. Ткаченко и др. Опубликовано 15.12.2000. Бюллетень № 7.
6. Ткаченко В. И. Тканые радиационно-защитные материалы / В. И. Ткаченко, В. А. Ткаченко // Альманах в 7 кн. — 2009. — Т. 2. — С. 99–100.

Статья поступила в редакцию 3.05.2017.

М. І. ХВОРОСТЕНКО¹, В. І. ТКАЧЕНКО², І. М. КІХТЕНКО¹, Ю. М. ХВОРОСТЕНКО¹

¹ДЗ «Дніпропетровська медична академія Міністерства охорони здоров'я України»

²Національний центр аерокосмічної освіти молоді ім. О. М. Макарова, Дніпро

ВИГОТОВЛЕННЯ ТОНКОПЛІВКОВИХ РАДІАЦІЙНО-ЗАХИСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи. Створення тонкоплівкових матеріалів для захисту від радіації на основі використання дисперсних середовищ, які включають спеціальний порошковий наповнювач з частинками металу вольфраму і вуглецю.

Матеріали і методи. Запропонована технологія створення тонкоплівкових радіаційно-захисних матеріалів, яка ґрунтується на використанні дисперсних середовищ, підсилених порошковими наповнювачами, до складу яких входять вольфрам і вуглець з розміром частинок менше 100 мкм, що аномально поглинають і розсіюють іонізуюче випромінювання. Одержану дисперсну суміш наносили на матрицю (нитки, папір, тканини, полімери, пластмасу, гуму). Захисні властивості одержаного матеріалу порівнювали з еталоном зі свинцю при енергії джерела 1200 кеВ.

Результати. Проведеними дослідженнями тонких тканинних матеріалів, на які нанесено розроблений модифікатор товщиною до 1мм, при опромінюванні кобальтовим джерелом (1200 кеВ), вдалося забезпечити захист, еквівалентний 0,11–0,15 см свинцю. Нові розробки базуються на невідомому раніше явищі вибіркової масопередачі між суттєво різнощільними багатоеlementними фазами із частинок полідисперсних сумішей.

Висновки. Одержані тонкоплівкові покриття забезпечують максимальне послаблення заданої енергії випромінювання при одночасному збереженні високих механічних характеристик.

Ключові слова: іонізуюче випромінювання, дисперсне середовище, порошковий накопичувач, модифікатор.

M. KHVOROSTENKO¹, V. TKACHENKO², I. KIKHTENKO¹, Y. KHVOROSTENKO¹

¹*State establishment «Dnipropetrovsk Medical Academy of Health Ministry of Ukraine»*

²*Makarov National Center for Aerospace Education of the Youth, Dnipro*

PRODUCTION OF THIN-FILM RADIATION-PROTECTIVE MATERIALS

Abstract. The technology of creation of thin-film protective materials as well as applying them in manufacturing and operation of various protection flames from a penetrating radiation has been suggested. The technology is based on opening of abnormal discrete permeability for a number of the disperse environments including specially developed powder basis with particles of metal.

Keywords: thin-film protective materials, radiation, disperse environment.

Контактная информация:

Хворостенко Михаил Иванович

доктор мед. наук, профессор кафедры онкологии и медицинской радиологии

ГУ «Днепропетровская медицинская академия МОЗ Украины»

ул. Вернадского, 9, г. Днепр, 49044, Украина

тел. +38 (066) 780-07-64

e-mail: Khvorostenko-M@mail.ru