

**Ткаченко В. И.,**

*ведущий специалист Аэрокосмического центра  
молодежного образования, г. Днепропетровск, Украина*

**Хворостенко М. И.,**

*д. мед. н., профессор кафедры онкологии и медицинской радиологии Днепропетровской  
Государственной медицинской академии, г. Днепропетровск, Украина*

**Кихтенко И. Н.,**

*к. мед. н., ассистент кафедры онкологии и медицинской радиологии Днепропетровской  
Государственной медицинской академии, г. Днепропетровск, Украина*

**Хворостенко Ю. М.,**

*к. мед. н., ассистент кафедры онкологии и медицинской радиологии Днепропетровской  
Государственной медицинской академии, г. Днепропетровск, Украина*

---

## **ТЕХНОЛОГИИ РАДИАЦИОННОЗАЩИТНЫХ МОДИФИКАТОРОВ И МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ**

*Обоснована возможность создания защитных материалов на основе радиозащитных модификаторов.*

**Ключевые слова:** *модификатор; ионизирующее излучение; материал.*

Важнейшей задачей защиты людей, зданий, техники от ионизирующих излучений является создание радиозащитных средств.

Проведенные в Приднепровском регионе в последнее время исследования выявили, что северные и юго-восточные гранитные карьеры, а в Днепропетровской области (Томаковский, Чаплинский, Волосский и Токовский), выпускающие щебень для изготовления железобетонных и облицовочных конструкций, имеют повышенный  $\gamma$ -фон – 70-120 мкр/час при норме 10-20 мкр/час.

За время работы домостроительных комбинатов в г. Днепропетровске и г. Кривом Роге построено и введено в эксплуатацию более 2,5 млн кв. м жилой площади. По данным юго-восточных региональных экологических организаций, свыше 60 % эксплуатируемых жилых и производственных помещений имеют повышенный радиационный фон, свыше 30 мкр/час. Вместе с тем, как показали исследования, радиационный фон можно снизить на 30-50 %, используя для отделки внутренних поверхностей зданий материалы с радиационнозащитными свойствами [1]. Это позволило бы уменьшить дозовые нагрузки на людей в помещениях с повышенным уровнем радиации.

В настоящее время для этих целей используют свинец, который применяют, как в виде металла, так и наполнителя резин, пластмасс, синтетических смол, а также в виде химических соединений, например, в составе стекла [2]. Недостатки свинца широко известны: токсичность, низкая ударная прочность, малый срок службы содержащих свинец материалов из-за быстрого старения при высоком содержании наполнителя. Практическим неудобством, кроме того, является значительный вес и повышенная жесткость просвинцованных изделий.

Нами в результате исследований открыто ранее неизвестное явление аномального (на порядок) ослабления ионизирующего излучения ультрадисперсными средами [3]. Это открытие внесло коренные изменения в представления о взаимодействии ионизирующего излучения с мелкодисперсными модификаторами и позволило создать целый ряд принципиально новых, не имеющих аналогов в мире, материалов с уникальными радиационнозащитными и рентгено-контрастными свойствами.

В отличие от свинца, материалы, полученные на основе созданных модификаторов, практически не изменяют собственный вес и механические свойства, а приобретенные в зависимости от использованного инженерного решения, значительно превосходят по эффективности эквивалентные радиозащитные материалы, содержащие свинец.

### **Области применения материалов на основе радиационнозащитного модификатора**

1. Средства индивидуальной защиты, в том числе на АЭС.

#### *Тканевые радиационнозащитные материалы.*

Проведенными исследованиями материалов из тканей, при их обработке ультрадисперсными наполнителями установлено, что нити и образцы тканей, толщиной около 1 мм при излучении до 660 кэВ, обеспечивают защиту, эквивалентную 0,15-0,20 мм свинца [4]. Это достижение не имеет аналогов в мировой практике и позволяет разработать специальную защитную одежду для персонала, который работает в условиях повышенной радиации. Вес тканевого наполнителя 50 г/м<sup>2</sup>, практически не изменяет вес спецодежды, а сама спецодежда как показали исследования, удовлетворяет санитарно-гигиеническим нормам для одежды персонала,

работающего в сфере ионизирующего излучения – халаты, фартуки, головные уборы, обувь, прокладки и др., соответствующие свинцоводержащим изделиям [5]. Весьма актуальным является создание скафандра для работы на АЭС, основой которого мог бы стать автономный комплект горноспасателя, разрабатываемый Донецким институтом горноспасательной службы. Обработка тканей, которые входят в состав базового комплекта, позволила бы прибавить к его функциональным свойствам радиационнозащитные эквивалентные защите свинца при излучении до 660 кэВ.

2. Средства коллективной защиты, устраняющие воздействие рассеянного излучения от элементов

строительных конструкций в жилых домах и промышленных зданиях: клеи, краски, обои, отражающие экраны, покрытия полов.

3. Средства защиты техники: замазки, краски, шпатлевки, плиты для установок медицинского и промышленного назначения.

4. Изоляция радиоактивных отходов: контейнеры для транспортировки изотопов медицинского назначения, позволяющих обеспечить радиационную защиту и улучшить технологические параметры – весовые, механические, химические, биологические и др.

5. Рентгенконтрастные материалы в медицине: катетеры, салфетки, хирургический шовный материал.

Таблица 1

**Радиационнозащитные материалы, обеспечивающие защиту до 660 кэВ**

Образец	Толщина, мм	Коэффициент ослабления (при энергии)	Соответствующий свинцовый эквивалент, мм
1. Плита с РЗ покрытием, силикатный кирпич	10	2,92	9,1
2. Штукатурка	10	1,29	2,8
3. Шпатлевка	4	1,17	1,5
4. Обои, пленки, ткани	1		0,22

Общеизвестно, что независимо от физического состояния среды, в частности от ее дисперсности, степень уплотнения элементарного состава и др., ослабление потока квантов  $\gamma$ - и рентгеновского излучения должно подчиняться экспоненциальному закону Бугера. Кроме того, непоколебимыми считались научные представления об изменении направления потока квантов проникающего излучения.

Однако, было теоретически обосновано и экспериментально доказано наличие ряда аномальных отклонений при взаимодействии квантов проникающего излучения с дисперсными средами, что внесло коренные изменения в существующие законы и научные представления. На основе новых представлений нами был разработан метод УП-4-282 (ТУ 6-10-56-012) получения композиционных материалов нового поколения. В современной технике уже известна методика введения в полимерные материалы порошков окислов редкоземельных материалов с целью защиты от проникающих излучений, отработана технология нанесения порошков тяжелых металлов на поверхность стеклянных наполнителей с использованием растворов и дисперсии полимерных связующих. Это позволило нанести модификатор – вольфрамового порошка на стеклоткань Т-II и пропитки с эпиксидным связующим [6].

В частности, методика позволяет определить пропорции компонентов, из которых состоит многофункциональная система материала, характеризующегося заданными защитными свойствами при минимальной стоимости и малой толщине среды. Процесс оптимизации включает комбинацию системных моделей, которые точно отражают характеристики защитных сред, основанные на характеристике одного компонента.

Результатом разработки является получение принципиально новых тонких покрытий, которые создавались как альтернатива использованию свинца, бария и их соединений в растянтом пике поглощения (18-1020) кэВ, т. е. аномального ослабления проникающей радиации. Такой эффект достигается применением тонко-слоистых матриц.

На основе разработок получен простой и удобный метод не только получения новых материалов, но и совершенствования их свойств (механических, химических) без изменения технологии изготовления.

Предлагаемый метод позволяет получить изделия с заданными свойствами.

Например:

– радиозащитная нить применяется для изготовления сверхтонкой защитной ткани с поверхностной плотностью покрытия модификатора  $7 \cdot 10^{-6}$  г/мм, которая эквивалентна стальной проволоке, диаметром 1 мм, при этом сохраняется гибкость основы;

– антикоррозионные радиационно-защитные покрытия со свинцовым эквивалентом 2-4 мм при облучении до 100 кэВ, которые наносятся на изделие из различных материалов (сталь, бетон и др.).

На основе этой методики возможно получение новых радиационнозащитных систем, которые обеспечивают требуемые характеристики и другие свойства.

С использованием этой методики реализован проект по разработке новых композиционных радиационно-защитных материалов с минимальным содержанием металла, которые обеспечивают высокий защитный эквивалент при значительном снижении толщины и уменьшении их стоимости.

Разработаны технологии и запатентованы тонкостенные контейнеры для хранения изотопов. Масса таких контейнеров составляет 15-20 % от массы применяемых в настоящее время защитных средств (металл, бетон и др.).

По указанной методике впервые разработано вещество, в котором пространственное упорядочение структуры и расположение структурных ансамблей может управляться и изменяться средой. Это открывает принципиально новые технологические возможности для получения радиационнозащитных тонкопленчатых материалов и покрытий, которые могут использоваться в медицине, промышленности и в других отраслях, где необходима защита от радиации любого уровня, в том числе и от космической.

Разработана технология управляемого, контролируемого физико-химического синтеза полидисперсных и структурных ансамблей в плоскости молекулярного слоя на границе раздела твердой и жидкой фаз и формирования соответствующих систем при помощи указанного вещества для получения материалов при соотношении диапазона толщины защиты и уровня защиты от излучения с новыми технологическими возможностями.

Использование данного метода позволяет наиболее простым, удобным эффективным и экономичным способом определять свинцовым эквивалентом и устанавливать его соответствие нормативным требованиям, что существенно облегчает получение радиационно-защитных материалов. Например, это позволяет осуществлять поглощение вредного излучения при одновременном пропуске излучения видимого спектра.

Особый интерес для применения представляет лакокрасочная композиция. За счет внесения недорогих модифицирующих материалов, которые позволяют улучшить механические, химические, технологические свойства композиции, а также обеспечить аномальные радиационнозащитные свойства. Это достигается добавлением модификатора, содержащего смесь защитных элементов с тонко измельченным носителем – матрицей (краской). В результате повышаются технологические характеристики и улучшаются защитные свойства при облучении излучением до 86 кэВ:

- исходный материал (краска),  $\mu = 0,016 \text{ см}^{-1}$ ;
- модифицированный материал (краска, с внесенным модификатором),  $\mu = 1,91 \text{ см}^{-1}$ ; увеличение защиты в 120 раз.

Таблица 2

**Показатели качества композиции**

№	Показатели качества	Композиция	
		Предлагаемая	Прототип
1	Цвет композиции	Черный	Черный
2	Условная вязкость по вискозиметру ВЗ 246 с диаметром сопла 1,0 мм при температуре 20° С	35	25
3	Массовая доля нелетучих веществ	53,7	46,70
4	Термостойкость пленки композиции при 600° С	3	3
5	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	1,8	2,34
6	Прочность при ударе на приборе У-1, см	40	40
7	Адгезия пленки, МПа	130	115

Аналогичные свойства были получены для состава покрытия «Эндотерм ХТ-150» по техническим условиям ТУ У 13481691.01-97. Модифицирование материала осуществлялось за счет технологических допущений,  $\pm 5 \%$ .

Создана принципиально новая, не имеющая аналогов пленка ПХВ радиационно-защитная (ТУ У 25.1-31655768-003-2004).

Таблица 3

**Радиационно-защитные свойства**

Плотность, г/см <sup>3</sup>	Коэффициент линейного ослабления, см <sup>-1</sup>		
	<sup>241</sup> Am	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co
	60 кэВ	661 кэВ	1210 кэВ
2,04	2,481	0,191	0,156

Материалы на основе ПХВ (поливинилхлорид) являются одними из самых распространенных материалов, используемых в области радиационной защиты. Они используются как для изготовления средств индивидуальной защиты (костюмы, полукombineзоны, халаты, фартуки, куртки, плащи, перчатки и т. д.), так и средств коллективной защиты (экраны, ширмы и т. п.). Отличительной чертой данного материала, разработанного Южмашем на основе ПХВ, является использование в качестве наполнителя специального модификатора на основе ультрадисперсных средств, что позволяет обеспечить повышенные радиационно-защитные свойства материала по сравнению с его исходным состоянием.

Одежда из ПХВ герметична, используется как дополнительное защитное средство и одевается поверх основной спецодежды и спецобуви при выполнении ремонтных, монтажных и дезактивационных работ на АЭС.

Толщина одного слоя радиационно-защитного ПХВ материала составляет 0,4 мм.

Таким образом, проведенные исследования позволили создать новые радиационно-защитные материалы и гарантировать высокие стабильные защитные свойства с применением модификаторов. Такие типы материалов и технологий доведены до уровня, который позволяет переходить к изготовлению экспериментальных образцов:

- рентгеноконтрастная нитка, в том числе сверхтонкая, предназначенная для использования в качестве шовной при проведении некоторых хирургических операций, может быть использована как метка в хирургических материалах, при рентгенодиагностике. После придания рентгеноконтрастных свойств нитка сберегает механические характеристики материала основы;
- 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 тканых материалов из натуральных и штучных (искусственных) волокон для придания им рентгенозащитных свойств с сохранением основных характеристик выходных тканей (прочности, эластичности, гироскопичности). Модифицированные материалы в зависимости от типа основы и плотности переплетения могут использоваться для изготовления защитной одежды, изоляции

трубопроводов АЭС (в данном случае исключается применение дополнительной свинцовой фольги);

– разработаны радиационно-защитные наполнители с различными типами промежуточных носителей ультрадисперсных частиц. Наполнители могут использоваться, как отдельно, так и в составе различных материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ткаченко В. И. Материалы на основе радиационно-защитных модификаторов / В. И. Ткаченко // Научный сборник. – 2009. – Т. 2. – С. 87–88.
2. Хворостенко М. И. Новые радиозащитные медицинские материалы / М. И. Хворостенко, В. И. Ткаченко // Сборник к основам физического взаимодействия. – 2013. – С. 94–98.
3. Ткаченко В. И. Явление аномального изменения потока квантов излучения в многоэлементных средах / В. И. Ткаченко, В. А. Иванов // Научные открытия. – 2008. – С. 112–113.
4. Ткаченко В. И. Тканые радиационно-защитные материалы. Альманах в 7 книгах / В. И. Ткаченко. – 2009. – Т. 2. – С. 89.
5. Ткаченко В. И. Общая характеристика новых радиационно-защитных материалов / В. И. Ткаченко. – Т. 2. – С. 93.
6. Хворостенко М. И. Особенности создания новых защитных материалов от ионизирующего излучения / М. И. Хворостенко, В. И. Ткаченко // Наукові праці. – 2013. – Вып. 203. – С. 161–164.

**В. І. Ткаченко,**  
*Національний центр Аерокосмічної освіти України, м. Дніпропетровськ, Україна*  
**М. І. Хворостенко, І. М. Кіхтенко, Ю. М. Хворостенко,**  
*Дніпропетровська державна медична академія, м. Дніпропетровськ, Україна*

## ТЕХНОЛОГІЇ РАДІОЗАХИСНІ МОДИФІКАТОРІВ І МАТЕРІАЛІВ НА ЇХНІЙ ОСНОВІ

*Обґрунтовано можливість створення захисних матеріалів на основі радіозахисних модифікаторів.*

**Ключові слова:** *модифікатор; іонізуюче випромінювання; матеріал.*

**V. I. Tkachenko,**  
*National Center for Aerospace Education Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine*  
**M. I. Hovorostenko, I. M. Kikhtenko, Y. M. Hovorostenko,**  
*Dnepropetrovsk medical Academy of Health Ministry of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine*

## RADIOPROTECTIVE TECHNOLOGY MODIFIERS AND MATERIALS BASED ON THEM

*Possibility of creation of protective materials on the basis of radio protective modifiers is proved.*

**Keywords:** *the modifier; an ionising radiation; a material.*

**Рецензенти:** *Бондаренко І. Н.,* д. мед. н., професор;  
*Сухина Е. Н.,* д. мед. н., професор.

© Ткаченко В. И., Хворостенко М. И.,  
Кихтенко И. Н., Хворостенко Ю. М., 2014

*Дата надходження статті до редколегії 15.05.2014*