

Ткаченко В. И.,

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

Хворостенко М. И.,

*д-р мед. наук, проф. кафедры онкологии и медицинской радиологии,
Днепропетровская медицинская академия
МЗО Украины, г. Днепропетровск, Украина*

Межуев Н. Н.,

*директор научно-производственного предприятия
«Контакт», г. Днепропетровск, Украина*

Кихтенко И. Н.,

*канд. мед. наук, ассистент кафедры онкологии и медицинской радиологии,
Днепропетровская медицинская академия
МЗО Украины, г. Днепропетровск, Украина*

Хворостенко Ю. М.,

*канд. мед. наук, ассистент кафедры онкологии и медицинской радиологии
Днепропетровская медицинская академия
МЗО Украины, г. Днепропетровск, Украина*

Скляр Н. В.,

*врач-радиолог областного онкологического диспансера,
Днепропетровская медицинская академия
МЗО Украины, г. Днепропетровск, Украина*

РАЗРАБОТКА ЭЛАСТИЧНЫХ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Представлена разработка новых радиационно-защитных эластичных материалов, основанная на избирательной масса передачи между разноплотными многоэлементными средами, за счет оптимального соотношения критических масс компонентов полидисперсных сред, включающих ультрадисперсные частицы материала, обеспечивающего максимальное поглощение ионизирующего излучения.

Ключевые слова: радио-защитные материалы; масса передача; полидисперсные среды; ионизирующее излучение.

В настоящее время актуальной задачей является создание эластичных материалов для защиты от ионизирующего излучения.

Наиболее эффективная защита от проникающего воздействия рентгеновского и гамма – излучения осуществляется материалами, в состав которых входят элементы с большим атомным номером, то есть тяжелые элементы.

Одним из наиболее широко используемых элементов является свинец. Свинец используют как в виде металлических изделий, так и в качестве дисперсного наполнителя различных композиционных материалов (резины, пластмасс, синтетических смол и др.). Однако свинец обладает значительным весом, повышенной токсичностью, небольшой долговечностью свинцово-содержащих материалов (из-за быстрого старения, особенно при большом содержании свинца в материале). Альтернативой свинцу служат редкоземельные элементы. Однако, в виду их повышенной стоимости применение их ограничено.

Разработка новых радиационно-защитных материалов основывается на открытии украинских ученых, в котором приведены экспериментальные результаты, показывающие аномальное взаимодействие рентгеновского и гамма излучения с дисперсными средами.

Установлено, что дисперсные среды при определенных условиях проявляют способность (аномально сильно) ослаблять проникающую способность рентгеновского и гамма излучения, что обусловлено самоорганизацией дисперсных частиц размером от тысячных долей до сотен микронов в энергетически взаимосвязанные радиационно-поглощающие ансамбли. На основании указанного свойства разработана технология вариантов изготовления радиационно-защитных материалов с применением порошковых металлодержающих наполнителей.

Порошковые наполнители 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 толщины и стоимости.

При расчете толщины защиты от ионизирующего излучения для какого-либо материала предварительно определяют необходимую толщину металла для заданных условий работы, а затем находят эквивалентную толщину радиационного защитного слоя.

Подготовка композиции покрытия. Новые разработки относятся к области радиационного и общего материаловедения, сущность которых состоит в том,

что впервые в мировой практике обнаружено неизвестное ранее явление избирательной массопередачи между разноплотными моно – или многоэлементными фазами из частиц полидисперсных смесей [1].

Предлагается уникальная технология создания композитного материала радиационной защиты, для реализации которой применялись дисперсные системы, в состав которых входят частицы размером менее 100 мкм. Наличие таких частиц обеспечивает аномальное поглощение рентгеновского и гамма-излучений, что уже довольно широко используется при производстве защитных материалов.

В результате экспериментов установлено, что при оптимальном отношении массы сухой смеси и инертного к последнему увлажнителя возникает дифракционный максимум, который на границе раздела фаз приводит, с одной стороны, к физико-химической активации полидисперсной смеси, а с другой стороны, к последующей избирательной массопередаче ультрадисперсных частиц (УДЧ) тяжелого наполнителя и, как следствие, к формированию структуры покрытия.

Защитные покрытия в виде многослойных пленок в комбинации с объемными материалами, полученными на основе предлагаемой технологии, позволяют образовывать одно – или многоэлементные системы, самонастраивающиеся на воздействие заданной мощности излучения и обеспечивающие поглощение излучения, рассеивания, туннелирование и создание квантовых ловушек при прохождении излучения через эту систему.

Технология предполагает приготовление реакционной смеси, включающую получение дисперсной системы из исходных компонентов и соединений, регулирующих процессы синтеза та стабилизации частиц. При этом процесс синтеза частиц и формиро-

вание структур, может включать жидкую, конденсированную фазы и границу их раздела, или твердотельную поверхность в виде основы [1; 2].

В лабораторных условиях апробированы образцы, в которых использовали ткани и композиционные покрытия для производства относительно легкой защитной одежды, содержащие металлонаполненные материалы дисперсных сред способных аномально сильно ослаблять излучения низких, средних и высоких энергий.

В композиции различают матрицу и наполнитель. В качестве матрицы у композиционных материалов могут применяться различные ткани, полимеры, пластмассы, резины. Для наполнителя используется смесь марки «С-8» (вольфрам и силикатная масса).

Технология изготовления эластичного радиационно-защитного материала. На данном этапе ведется разработка трех методов изготовления эластичного радиационно-защитного материала:

- метод пропитки ткани путем помещения ее в реакционную смесь;
- метод, основанный на нанесении слоев защитного покрытия на ткань;
- комбинированный метод, включающий как пропитку ткани, так и нанесение на нее защитного покрытия.

Результатом работ, выполненных в условиях отработки технологии, являются 12 образцов материалов из ткани (на каждый метод по 4 образца), предназначенных для изготовления средств индивидуальной защиты от рентгеновского и гамма излучения. Способы их получения опробованы в лабораторных условиях на образцах небольших размеров (до 20 x 30 см). В таблице 1 указана поверхностная плотность выбранных образцов тканей серийного изготовления.

Таблица 1

Поверхностная плотность выбранных образцов тканей серийного производства

№ з/п	Модель ткани, №	Поверхностная плотность, кг/м ²
1	467	0,198
2	436	0,392
3	425	0,282
4	430	0,262

При отработке методов нанесения покрытия на ткань были опробованы все четыре модели.

Получение радиационно-защитного материала методом пропитки.

Данная технология изготовления эластичного радиационно-защитного материала основывается на нанесении покрытия на ткань методом пропитки путем помещения в реакционную смесь.

Преимуществом метода является возможность равномерного распределения композиции по всей поверхности ткани, причем ткань не теряет своих физико-химических свойств и использование несложного технологического оборудования и оснастки.

Данным методом изготовлены образцы № 21–24, весовые характеристики которых приведены в таблице 2.

Таблица 2

Весовые параметры образцов, изготовленных методом пропитки

№ образца	Модель ткани	Поверхностная плотность кг/м ²	Отношение поверхностной плотности образца к поверхностной плотности ткани	Содержание смеси в ткани, %
21	467	0,608	3	67
22	436	1,058	2,7	63
23	425	1,092	3,9	74
24	430	0,933	3,6	72

Как видно из таблицы 2 поверхностная плотность всех образцов, изготовленных методом пропитки, не превышает 1,1 кг/м². Содержание в объеме материала в зависимости от модели ткани колеблется в пределах 63–74 %.

Получение радиационно-защитного материала методом нанесения покрытия.

Метод получения радиационно-защитного материала основан на поверхностном нанесении на ткань покрытия, содержащего выбранную композицию компонентов.

Связующее вещество представляет собой клей на каучуковой основе.

Покрытие на стадии отработки технологии осуществляется кистью несколькими слоями.

Количество слоев и процентное соотношение компонентов покрытия определяется обеспечением заданной защитой от ионизирующего излучения

Существенным преимуществом метода является устойчивое закрепление покрытия на поверхности ткани.

Принятая пропорция определялась результатами предыдущих опытов, в которых было установлено наиболее оптимальное содержание сухой смеси в объеме покрытия, обеспечивающих аномальный эффект.

Полученный материал сравнивали с различными значениями толщины свинцовых эталонов (таблица 3, 4).

Таблица 3

Относительная оптическая плотность свинцовых эталонов

№ образца	Наименование	Замеры, P_i					Среднее $P_{ср}$	Отклонение	
		1	2	3	4	5		Абсолютн. D_p	Относи $D_{p_i}/P_{ср}$
СЭ02	Свинцовый эталон 0,5 мм	6,5	7	6	7	6	6,5	0,400	0,0615
С2	Свинцовый эталон 0,5 мм	6	6,5	7	6,5	7	6,6	0,320	0,0485
С3	Свинцовый эталон 1,0 мм	15	14,5	15,5	16	14	15,0	0,600	0,0400
С4	Свинцовый эталон 1,5 мм	24	22,5	22	22	22,5	22,6	0,560	0,0248
С5	Свинцовый эталон 2,0 мм	32	31	29,5	31	30	30,7	0,760	0,0248
С6	Свинцовый эталон 2,5 мм	36,5	35,5	37,5	35	33	35,5	1,200	0,0338
С7	Свинцовый эталон 3,0 мм	40	41	37	38,5	37	38,7	1,440	0,0372
С8	Свинцовый эталон 3,5 мм	42	41,5	41	40	41	41,1	0,520	0,0127
С9	Свинцовый эталон 4,0 мм	41,5	43	43	40	40,5	41,6	1,120	0,0269
С11	Свинцовый эталон 0,03 мм	10	9	9,5	10	9	9,5	0,400	0,0421
С12	Свинцовый эталон 0,06 мм	23,5	23	21,5	21	22	22,2	0,840	0,0378
С13	Свинцовый эталон 0,09 мм	34	34	33,5	31,5	36	33,8	1,040	0,0308
С14	Свинцовый эталон 0,12 мм	41,5	36	37	41,5	41,5	39,5	2,400	0,0608

Таблица 4

Относительная оптическая плотность исследуемых образцов

№ образца	Наименование	Замеры, P_i					Среднее $P_{ср}$	Отклонение	
		1	2	3	4	5		Абсолютн. D_p	Относи $D_{p_i}/P_{ср}$
22	Пропитанный 2	7	9	7	9	10	8,4	1,120	0,1333
23	Пропитанный 3	15,5	18	8	10	16,5	13,6	3,680	0,2706
24	Пропитанный 4	4,5	5	5,5	4	5	4,8	0,440	0,0917
31	Комбинированный 1	15	14,5	12,5	12,5	14	13,7	0,960	0,0701
32	Комбинированный 2	12	11,5	18	12,5	13,5	13,5	1,800	0,1333
33	Комбинированный 3	21,5	11	8	18,5	22,5	16,3	5,440	0,3337
34	Комбинированный 4	18	16,5	17,5	15	19,5	17,3	1,240	0,0717
41	С покрытием 1	8	9	7,5	9	9	8,5	0,600	0,0706
42	С покрытием 2	3,5	3	5	3,5	2,5	3,5	0,600	0,1714
43	С покрытием 3	3	2,5	2,5	2	2	2,4	0,320	0,1333
44	С покрытием 4	6	5,5	3,5	4,5	6	5,1	0,880	0,1725

Из этого видно, что образцы, выполненные комбинированным методом (№ 31–34) и один из пропитанных образцов (образец № 23) соответствуют 1 мм свинцового эквивалента. Образцы № 41 и № 22 соответствуют 0,5 мм свинцового эквивалента. Эти результаты значительно превышают 0,125 мм свинцового эквивалента. Только два образца (с покрытием № 42, № 43) из двенадцати не соответствуют 0,125 мм свинцового эквивалента.

Для некоторых образцов характерна неравномерность оптической плотности (соответственно рентгенозащитных свойств) по площади. Неравномерность

оптической плотности можно оценить по рентгенограмме образцов визуально, или аналитически по абсолютному и относительному отклонению, указанному в таблице 3 и 4.

Образец № 61 обладает уникальными рентгенопоглощающими свойствами. Толщина материала составляет 3–4 мм. Плотность материала составляет 1,–2 г/см³. Толщина нанесения защиты волокнистый материал равна 100 мк.

По результатам определения оптической плотности образец соответствует свинцовому эквиваленту более 4–х мм.

Таблица 5

Результаты определения оптической плотности образца № 61

№	Наименование	Замеры, P_i					Среднее $P_{ср}$
		1	2	3	4	5	
61	Волокнистый материал	75	55	64	70	79	68,6
С 11	Свинец с примесью сурьмы 0,12"	49	49	47	42	47	46,8
С 9	Свинцовый эталон 4 мм	51	52	50	51	50	50,8
С 8	Свинцовый эталон 4,5 мм	46	47	49	45	45	46,4

Анализ результатов определения коэффициентов линейного и массового ослабления.

Коэффициент линейного и массового ослабления определяется по формуле:

$$D, / 2 = 0,693 / \rho, \quad (1)$$

где ρ – коэффициент линейного ослабления, см⁻¹.

Значение свинцового эквивалента определяется исходя из равенства

$$X_{\text{ро-экв}} = X_{\text{покр}} \times \mu_{\text{ро}} / \mu_{\text{обр}}, \quad (2)$$

где $X_{\text{покр}}$ – толщина покрытия, мм;

$\mu_{\text{обр}}$ – коэффициент линейного ослабления исследуемого образца, см;

$\mu_{\text{рб}}$ – коэффициент линейного ослабления свинца, см.

Исходя из коэффициента линейного ослабления, лучшими являются образцы, полученные методом пропитки.

Причем только один из образцов (образец № 32), выполненных комбинированным методом, превосходит свой прототип (образец № 22), полученный методом пропитки и образец № 41, полученный методом нанесения.

Результаты определения коэффициента линейного ослабления при рассмотрении любого образца подтверждают способность дисперсных сред аномально сильно ослаблять гамма – излучение в широком диапазоне энергий (²⁴¹Am, ¹³⁷Cs).

Выводы. Созданные защитные композиции покрытия на основе смеси «С – 8» дали возможность освоить получение эластичных тканевых материалов. Это позволило повысить свойства изготавливаемых изделий, обеспечить конструирование широкой гаммы изделий (халаты, комбинезоны, фартуки, перчатки, накидки, головные уборы, бахилы, экраны и др.). Что розволило значительно уменьшить толщину и, соответственно, веса изделий.

Повышается удобство применения изделий. Важным фактором, определяющим применение созданных материалов, является возможность снижения их стоимости в сравнении со свинец содержащими эластичными материалами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хворостенко М. И. Явление избирательной массопередачи между разноплотными донор – акцепторами квази – кристаллическими фазами / М. И. Хворостенко, В. И. Ткаченко [и др.] // Сборник кратких описаний научных открытий. – М., 2014. – С. 55–56.
2. 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, М. І. Хворостенко, І. Н. Кихтенко,
Дніпропетровська медична академія МОЗ України, м. Дніпропетровськ, Україна
Н. Н. Межуєв,
директор науково-виробничого підприємства «Контакт», м. Дніпропетровськ, Україна
Ю. М. Хворостенко, Н. В. Скляр,
Дніпропетровська медична академія МОЗ України, м. Дніпропетровськ, Україна

РОЗРОБКА ЕЛАСТИЧНИХ РАДІАЦІЙНО-ЗАХИСНИХ МАРІАЛІВ

Показана розробка нових радіаційно-захисних еластичних матеріалів, заснованих на вибірковій маса передачі різноцільними багатоелементними середовищами, за рахунок оптимального співвідношення критичних мас компонентів багато-дисперсних середовищ, які включають ультрадисперсні частки матеріала, що забезпечує максимальне поглинання іонізуючого випромінювання.

Ключові слова: радіозахисні матеріали; маса передача; багатодисперсні середовища; іонізуюче випромінювання.

V. I. Tkachenko, M. I. Hovorostenko., I. N. Kikhtenko,
Dnipropetrovska medichna akademiya Ministry of Health of Ukraine, Dnipro, Ukraine
N. N. Mezhuєv,
Naukova-virobniche pidpriemstvo «Contac», Dnipro, Ukraine
Y. M. Hovorostenko, N. V. Sklyar,
Dnipropetrovska medichna akademiya Ministry of Health of Ukraine, Dnipro, Ukraine

THE DEVELOPMENT OF FLEXIBLE RADIATION-SHIELDING MATERIALS

Working out new radiative protective from an ionising radiation of the elastic materials, based on selective transfer mass between mediums different in density is presented. The optimum parity of critical masses of components of polydisperse mediums provides the maximum absorption of an ionising radiation.

Key words: radioprotective materials; mass transfer; polydisperse mediums; an ionising radiation.