

## РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

С. И. Азаров, Е. В. Бабич

Предложен экологически чистый материал для защиты от рентгеновского излучения, в котором в качестве наполнителя применяется смесь элементов с высоким атомным номером. На основе этого материала и оптимизации конструкции изготовлен комплект изделий для защиты от рентгеновского излучения, снижающий мощность излучения в 30 раз.

По данным материалов регистра ГНЦ СССР (Институт биофизики, Москва) за 10 лет, начиная с 1980 г., на территории бывшего СССР произошло 111 радиационных инцидентов с несанкционированным облучением 189 человек от рентгеновских и радиоизотопных установок [1].

Ионизирующее излучение при воздействии на организм человека может вызвать два вида эффектов, которые клинической медициной относятся к болезням: детерминированные пороговые эффекты (лучевая болезнь, лучевой ожог, лучевая катаракта и др.) и стохастические беспороговые эффекты (злокачественные опухоли, лейкозы и др.). В связи с этим для сохранения здоровья пациентам и медперсоналу в условиях воздействия на организм радиации требуется дополнительная специальная защита. На практике для защиты от рентгеновского излучения обычно используют комплект изделий (фартуки, перчатки, воротники и др.), выполненных из просвинцованной резины. Данные изделия имеют значительную массу и быстро разрушаются по местам деформации.

Поэтому перед исследователями, работающими в области разработки защитного материала от рентгеновского излучения, стоит задача создания эластичного композиционного материала, способного принимать заданную конфигурацию и удовлетворяющего комплексу требований, предъявляемых к физическим и гигиеническим свойствам.

Нами разработан способ получения защитного композиционного материала на основе механического наполнения пористых полимерных материалов набором определенных оксидов переходных металлов. Главная сложность при выполнении работы состояла в создании суспензии с равномерным распределением наполнителя во всем рабочем объеме полимерной матрицы. Одним из аспектов достижения седиментационной устойчивости пропиточной композиции является выбор оптимального размера частиц наполнителя. Как показали исследования, суспензия получается устойчивой при использовании частиц наполнителя (оксидов) размером, не превышающем 50 мкм [2].

В качестве матрицы – материала носителя сорбента - использовались пенополиуретаны различных марок.

По комплексу свойств для изготовления защитного материала выбраны пенополиуретаны разных марок толщиной 0,3 и 0,5 см по следующим причинам:

большое количество открытых пор в исходном материале позволяет ввести большое количество наполнителя по всему объему материала;

небольшая плотность исходного материала ( $0,025 - 0,03 \text{ г/см}^3$ );

сохранение эластичных свойств при высокой степени наполнения.

Полученные защитные композиционные материалы (ЗКМ) с различным содержанием наполнителя исследовались на предмет оценки физико-механических свойств (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что с увеличением содержания наполнителя прочность на разрыв и относительное удлинение при разрыве для ЗКМ возрастает относительно исходного материала.

Таблица 1. Физико-механические свойства ЗКМ [2]

Степень наполнения, %	Напряжение при раздире, кг/см	Напряжение при разрыве, МПа	Относительное удлинение, %
0	110	34	390
10	300	71	420
20	265	61	450
50	120	55	400

При разработке ЗКМ, наряду со спецсвойствами, к ним предъявляются требования по радиационной защите.

Поглощение рентгеновского излучения ЗКМ связано в основном с фотоэлектрическим эффектом, резко возрастающим (примерно пропорционально  $Z^5$ ) с увеличением порядкового номера  $Z$  поглощающего элемента (наполнителя). Поглощение рентгеновских лучей ЗКМ описывается выражением [3]

$$I = I_0 \exp\left(-\rho \cdot l \sum \mu_i \gamma_i\right) \quad (1)$$

где  $I$  – интенсивность рентгеновского излучения, прошедшего через ЗКМ;  $I_0$  – интенсивность излучения при отсутствии ЗКМ;  $\rho$  – плотность ЗКМ;  $\mu_i$  – массовый коэффициент поглощения рентгеновских лучей  $i$ -м поглощающим элементом (наполнителем);  $\gamma_i$  – массовая доля  $i$ -го поглощающего элемента (наполнителя) в ЗКМ.

Требования к свойствам материалов для защиты от рентгеновского излучения оказываются в некотором смысле альтернативными. Для эффективного поглощения фотонов наполнитель должен содержать атомы тяжелых элементов и этот процесс характеризуется сильной зависимостью от энергии фотонов. При этом коэффициент ослабления рентгеновского излучения будет равен [4]

$$K = \exp\left(\text{const} \frac{Z^5}{E^n}\right) \quad (2)$$

где  $Z$  – атомный номер элемента (наполнителя);  $E$  – энергия фотонов;  $n$  – показатель степени ( $\sim 2,5$ ).

ЗКМ состоит из полиуретансемикартазида на основе олигоонитетраметиленгликоля (молярной массой 1000), 4,4'-дифенилметандинзоциалата и дигидразида изоорталево́й кислоты и наполнителя, в состав которого входят полидисперсные частицы  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (30 %),  $\text{SiO}_2$  (14 %),  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (20 %),  $\text{TiO}_2$  (20 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (10 %) и другие примеси.

Радиационное облучение ЗКМ проводили рентгеновским дифрактометром КРМ 1 с медным катодом. Напряжение на аноде 30 кВ, ток 40 мА (1,2 кВ), размеры щели Соллера ( $1,00 \times 0,05$  см) [5].

В табл. 2 приведены рассчитанные по формуле (1) и измеренные показатели коэффициента ослабления рентгеновского излучения (для  $\lambda = 1,542 \text{ \AA}$ ) в зависимости от массового содержания наполнителя в ЗКМ.

Таблица 2. Зависимость коэффициента ослабления рентгеновского излучения от массового содержания наполнителя,  $\text{см}^2/\text{г}$ 

Степень наполнения, %	Значение коэффициента ослабления	
	расчетное	измеренное
10	1,9	$2,3 \pm 0,9$
20	14,2	$15,0 \pm 3,6$
50	32,9	$34,6 \pm 5,4$

По данным табл. 2 видно, что разница между расчетным и измеренным значением коэффициента ослабления не превышает 30 %. Сравнительную оценку защитных свойств разработанного ЗКМ и просвинцованной резины толщиной 0,5 см проводили путем регистрации прошедшего низкоэнергетического  $\gamma$ -излучения от источника  $^{109}\text{Cd}$ .

В табл. 3 представлены результаты измерения коэффициентов ослабления фотонного излучения, прошедшего через ЗКМ и просвинцованную резину.

Таблица 3. Коэффициенты ослабления фотонного излучения материала

с одинаковым средним атомным номером  $\bar{Z} = 22$ ,  $\text{см}^2/\text{г}$

Энергия фотонов, кэВ	Коэффициент ослабления	
	ЗКМ (50 %)	Резина + 28 % Pb (PbO)
20,8	$9,2 \cdot 10^5$	$6,5 \cdot 10^6$
37,8	$1,2 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$
47,0	3,9	6,7
55,7	2,2	3,5
65,2	1,8	2,4
88,0	1,3	2,0

В табл. 4 представлены физико-механические характеристики ЗКМ до и после  $\gamma$ -облучения при температуре  $22 \pm 1$  °С.

Таблица 4. Физико-механические характеристики ЗКМ до и после  $\gamma$ -облучения, рад

Степень наполнения	Разрушающая нагрузка, кгс/см <sup>2</sup>			Относительное удлинение, %		
	0	$10^3$	$10^5$	0	$10^3$	$10^5$
10	0,70	0,75	0,79	420	472	428
20	1,22	1,24	1,15	450	483	464

Исследование пожаротехнических характеристик ЗКМ показали (табл. 5), что индекс распространения пламени уменьшился на порядок, а кислородный индекс возрос в 2 раза.

Таблица 5. Показатели пожарной опасности ЗКМ с разной степенью наполнения

Показатель	Степень наполнения		
	0	10	20
Группа горючести (по ГОСТ 12.1.044-84)	Сгораемое	Трудно-сгораемое	Несгораемое
Индекс распространения пламени	35	7,9	2,4
Кислородный индекс	24	38	46
Коэффициент дымообразования, Нп · м <sup>2</sup> /кг	1200	460	210

Приведенные данные (см. табл. 1 - 5) характеризуют хорошие физико-механические и радиационнозащитные свойства разработанного ЗКМ, который в 1,5 раза легче, чем просвинцованная резина, термостоек и негорюч [6].

Исходя из физико-гигиенических требований к свойствам защиты от рентгеновского излучения, удобства эксплуатации и возможности длительного их применения при выполнении работ в рентгенодиагностической службе страны, не представляется возможным применение защитной одежды, закрывающей все тело, поэтому нами разработаны конструкции защитных изделий в виде защитного пояса и кирасы, фартука, перчаток и т.д.

В настоящее время отработана технология и организовано производство опытной партии ЗКМ и изделий из них [7, 8].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Радиационная гигиена* / Л. А. Ильин и др. - М.: Медицина, 1999. – 380 с.
2. *Полиуретановые композиты для индивидуальных средств защиты и рекультивации почв, загрязненных радионуклидами* / С. И. Азаров, В. А. Виленский // Сб. науч. ст. и докл. «Научные и техн. аспекты Междунар. сотрудничества в Чернобыле». – Славутин: Укратомиздат, 1999. – С. 386 - 391
3. *Кимель Л. Р., Машкович В. П.* Защита от ионизирующих излучений: Справ. - М.: Атомиздат, 1972. – 312 с.
4. *Расчет и конструирование радиоизотопных радиационно-химических установок*: Справ. / Под ред. Е. Е. Кулиша. - М.: Атомиздат, 1975. – 272 с.
5. *Разработка испытательного стенда для исследования тепловых и физико-механических характеристик защитных материалов* / С. И. Азаров. - III науч. конф. «Радиационные поражения и перспективы развития СИЗ от ИИ». - М., 1999. – С. 14.
6. *Рішення про видачу Держпатенту України по заявці № 99063594 від 10.06.99. “Полімерний композиційний матеріал для захисту від рентгенівського опромінення”* / С. І. Азаров, В. О. Віленський. – 1999. – 6 с.
7. *Азаров С. И., Бабич Е. В., Виленский В. А.* Эластичные пленочные материалы для конструирования специальной защитной одежды // Бюл. пожежної безпеки. – Київ, 1999. - № 1 – С. 23.
8. *Азаров С. И., Виленский В. А.* Материалы и средства индивидуальной защиты от рентгеновского излучения // Український журнал медичної техніки і технології. – 2001. - № 1. – С. 18 - 21.

### РОЗРОБКА МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД РЕНТГЕНІВСЬКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

С. І. Азаров, О. В. Бабич

Запропоновано екологічно чистий матеріал для захисту від рентгенівського випромінювання, в якому в якості наповнювача застосовується суміш елементів із високим атомним номером. На основі цього матеріалу та оптимізації конструкції виготовлено комплект виробів для захисту від рентгенівського випромінювання, що знижує потужність дози випромінювання у 30 разів.

### DEVELOPMENT OF MATERIAL TO PROTECT FEATURES AGAINST X-RAYS IRRADIATION

S. I. Azarov, O. V. Babich

Ecologically pure materials for protection against x-rays irradiation, in which mix of elements with high atomic number is used as a filler, is offered. The complete set of articles for protection against x-rays irradiation, reducing irradiation dose rate 30 times is prepared based of this material and optimization of construction.

Поступила в редакцію 27.04.01