

Академик НАН Украины,  
д-р техн. наук, проф. А.Ф. Булат  
канд. техн. наук В.А. Иванов  
инженер К.С. Голов  
(ИГТМ НАН Украины)

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ  
РЕЗИНОВЫХ МАТРИЦ С «КВАНТОВЫМИ ЛОВУШКАМИ»  
ИЗ ПОЛИДИСПЕРСНОЙ СМЕСИ СЛОЖНОГО ОКИСЛА  
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Наведені результати порівняльних експериментальних досліджень радіаційно-захисних властивостей примірників гумових матриць з одношаровими та багатшаровими «квантовими пастками» з полідисперсної суміші складного окислу рідкоземельних елементів

**THE RESEARCH OF RADIATION-PROTECTIVE CHARACTERISTICS OF  
THE RUBBER MATRIXES WITH “QUANTUM TRAPS” FROM  
POLYDISPERSITY STOCK OF DIFFICULT OXIDE  
RARE-EARTH ELEMENTS**

There are submitted the results of the comparative experimental studies of radiation-protective characteristics of rubber matrixes samples with monolayer and multilayered “quantum traps” from polydispersity stock of difficult oxide rare-earth elements

При традиционных подходах к разработке методов формирования из полидисперсного радиационно-защитного (РЗ) модификатора «квантовыми ловушками» (КЛ), к оценке топологии распределения частиц РЗ модификатора в слое КЛ и, наконец, к изучению влияния на этот процесс различных тиксотропных агентов необходимо использовать такие сложные и дорогостоящие экспериментальные методы, как, например, сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ, фракционирование полидисперсных порошков по размеру частиц и т.п. Понятно, что такие подходы сопряжены с высокими затратами, далеко выходящими за рамки выделяемых бюджетных средств. В то же время, экспериментальную оценку влияния КЛ на РЗ свойства различных матриц можно осуществить путем определения эквивалентов ослабления при прохождении рентгеновского излучения (РИ) через исследуемый слой на основе денситометрии рентгеновских снимков. Для этих целей при непосредственном участии авторов был разработан и изготовлен денситометр, позволяющий осуществлять измерения методом фотометрирования плотности почернения рентгеновских снимков с непрозрачностью  $O = I_{o.c} / I_c = 1,05 \div 10^6$  (где,  $I_{o.c}$  - исходная интенсивность светового луча;  $I_c$  - интенсивность того же светового луча после прохождения через рентгеновскую пленку).

Для получения рентгеновских снимков исследуемых образцов резиновых матриц использовался медицинский рентгеновский аппарат, обеспечивающий следующие режим облучения: энергия квантов РИ 27-85 КэВ (напряжение на

трубке 40-128 кВ); ток 100 мА; экспозиция – 0,5 с; расстояние до экспонируемой поверхности – 1000 мм.

При определении свинцового эквивалента (толщина свинца, соответствующая толщине резиновой матрицы) использовались тесты, один из которых представлял собой набор сложенных «лесенкой» 20 свинцовых пластин толщиной 0,05 мм каждая, другой – такой же набор из 12 свинцовых пластин толщиной 0,5 мм каждая, а третий – такой же набор из 6 пластин из просвинцованной резины со свинцовым эквивалентом 120 мкм каждая. Предварительно при энергиях квантов 85 КэВ и 27 КэВ были сделаны рентгенограммы вышеуказанных тестов.

После получения рентгенограмм исследуемых образцов (при этих же энергиях 85 КэВ и 27 КэВ) с помощью денситометра были определены свинцовые эквиваленты, которым при данной энергии квантов РИ, соответствуют защитные свойства конкретного образца.

Работа с денситометром осуществлялась в темном помещении. При этом исследуемый участок рентгеновской пленки размещался против отверстия в корпусе прибора, в створе с которым внутри его размещен фотоумножитель, выход которого связан с микроамперметром. Тубус, с размещенной в нем лампой просвечивания, закреплен к корпусу прибора при помощи штатива, а выходное отверстие в конической части тубуса площадью 1 мм<sup>2</sup> устанавливали на расстоянии 0,1 – 0,3 мм от просвечиваемой пленки таким образом, чтобы центр отверстия тубуса размещался в центре отверстия. Далее, при помощи потенциометра устанавливали стрелку микроамперметра на среднее исходное деление при просвечивании прозрачной части пленки, после чего устанавливали исследуемую рентгенограмму образца на интересующем нас участке под выходным отверстием тубуса и фиксировали показания микроамперметра. После этого в прибор устанавливали рентгенограмму теста в таком положении, в котором показания микроамперметра оказывались такими же, как и на исследуемом участке рентгенограммы образца. Эти совпавшие показания микроамперметра соответствовали известному свинцовому эквиваленту.

В качестве многоэлементного РЗ наполнителя мы использовали сложный окисел редкоземельных элементов (РЗЭ), в котором чистый РЗЭ составляет в среднем 81,4%. Отсюда средняя пикнометрическая плотность РЗЭ при химическом составе сложного окисла ( $\text{CeO}_2$  – 52%;  $\text{LaO}_2$  – 23%;  $\text{NdO}_2$  – 19%;  $\text{PrO}_2$  – 5%; мех. примеси – 1%) составит:

$$\rho_{\text{РЗЭ}} = 0,814 \cdot (6,789 \cdot 52 + 6,18 \cdot 23 + 6,908 \cdot 19 + 6,475 \cdot 5) / 99 = 5,4 \text{ г/см}^3.$$

Определение степени аномальности полученных высоких РЗ свойств в испытываемых образцах осуществлялось по следующему алгоритму:

а) предварительно определялась масса чистого РЗЭ в образце:

$$M_{\text{РЗЭ}} = M_0 \cdot 0,814,$$

где,  $M_0$  – масса сложного окисла РЗЭ в образце, г;

б) определялась расчетная приведенная защитная толщина РЗЭ

$$X_p = M_{P3Э} / S \cdot \rho_{P3Э},$$

где,  $S$  – площадь облучаемого образца в плане, см;  $\rho_{P3Э}$  – пикнометрическая плотность (плотность насыпки) РЗЭ, г/см<sup>3</sup>;

в) по установленному методом денситометрии свинцовому эквиваленту определяли фактическую приведенную защитную толщину РЗЭ в образце

$$X_{np} = h_{ЭКВ} \cdot \rho_{Pb} / \rho_{P3Э},$$

где,  $h_{ЭКВ}$  – величина свинцового эквивалента РЗ свойств образца, см;  $\rho_{Pb}$  – плотность свинца, г/см<sup>3</sup>;

г) определяли величину защитного эквивалента материала образца (при данных конкретных условиях просвечивания РИ) относительно фактической защитной толщины РЗЭ в нем

$$\chi = X_{np} / X_p$$

Для изготовления образцов была использована резина на основе смеси синтетических каучуков (СКМ – 3 – 85% по массе и СКМС – 30 АРКРН – 15% по массе).

Исследованиям подвергались два типа образцов резиновых матриц, которые отличались по технологии изготовления.

Методика изготовления и испытания первого типа образцов резиновых матриц заключалась в следующем. Из тщательно смешанной до гомогенного состояния сырой резины на основе указанной смеси синтетических каучуков и вулканизирующего агента был сформирован объемный сферический элемент в виде шара диаметром 4 см, на поверхность которого путем обкатывания его на плоской стеклянной поверхности в порошке полидисперсной смеси частиц сложного окисла РЗЭ размером  $10^{-9} \div 10^{-3}$  м, был нанесен слой толщиной  $0,5 \pm 0,1$  мм. Затем на поверхности образца без нарушения сферической формы был сформирован предохранительный слой из сырой резины толщиной 4 мм. Для этого из предварительно прокатанного на каландре листа сырой резины толщиной 4 мм с помощью шаблона вырезалась профильная заготовка, которой охватывалась матрица с сохранением сферической формы и обеспечением плотного сопряжения стыка между гранями листа резины. В результате был получен сферический элемент, под предохранительным слоем сырой резины которого, был зафиксирован замкнутый (сам на себе) слой РЗЭ, содержание которых в образце составило 13% по массе относительно массы всего образца. Далее, сферический образец был медленно деформирован под прессом (при открытом с его боков пространстве) до образования плитообразной заготовки с округленными торцами толщиной около 2 см. После этого, на лабораторном каландре из указанной заготовки, был прокатан лист, толщиной 0,32 см по ТУ 38-105455-72 с размерами (12x16) см<sup>2</sup>, который был помещен в автоклав, где

подвергся вулканизации в атмосфере горячего воздуха. При этом, радиус кривизны на торцах листа составлял  $\approx 0,16$  см. При этом масса образца составила – 108,4 г, а масса сложного окисла РЗЭ в нем – 14,1 г.

Следует подчеркнуть, что, энергетическая эффективность КЛ будет потеряна, если проводить вулканизацию резины, например, в прессе под высоким давлением. При формировании же матрицы в виде резинового листа на каландре, давление между валками действует не по площади (как в прессе), а по образующей (в реальных условиях, это тонкая полоса) при полностью свободной остальной площади листа, куда при его формировании могут мигрировать энергетические ансамбли без разрушения. Поэтому частицы сложного окисла РЗЭ в виде КЛ распределяются по объему резиновой матрицы практически без разрушений. Далее, свернутые в рулоны каландровые листы помещаются в автоклав, и они вулканизируются в атмосфере горячего воздуха без всякого механического воздействия, при котором могут разрушаться энергетические ансамбли). Более того, в этих условиях до момента завершения вулканизации, при которой неподвижно фиксируются частички РЗ модификатора в КЛ, идут процессы регенерации тех локальных повреждений, которые могли иметь место при каландровании. Вначале полученный образец первого типа был подвергнут тестированию при следующем режиме:  $V=128$  кВ ,  $E=85$  КэВ ,  $L=1000$  мм,  $t=0,5$  с.

При этом масса чистого РЗЭ в образце составляла  $14,1 \cdot 0,814 = 11,48$  г. Тогда, расчетная приведенная защитная толщина РЗЭ:  $X_p = (11,48/12 \cdot 16) \cdot 5,4 = 0,011$  см. По установленному методом денситометрии свинцовому эквиваленту  $h_{эке} = 0,01$  см определяем фактическую защитную толщину РЗЭ:  $X_{np} = 0,01 \cdot 11,34/5,4 = 0,021$  см. В результате защитный эквивалент резиновой матрицы образца первого типа относительно фактической защитной толщине РЗЭ в нем составил  $\chi = 0,021/0,011 = 1,9$ .

Затем, тот же образец был подвергнут облучению при следующем режиме:  $V=40$  кВ ,  $E=27$  КэВ ,  $L=1000$  мм,  $t=0,5$  с.

Рентгенографический контроль РЗ свойств образца с последующим тестированием полученных данных ступенчатым ослабителем в виде свинца (свинцовые пластины), показал, что тот же образец при указанном режиме облучения имеет защитный свинцовый эквивалент  $h_{эке} = 0,06$  см. Соответствующая этому защитному свинцовому эквиваленту приведенная защитная толщина РЗЭ составила:  $X_{np} = 0,06 \cdot 11,34/5,4 = 0,126$  см. В результате защитный эквивалент резиновой матрицы образца первого типа при указанном режиме облучения относительно той же фактической защитной толщины РЗЭ в нем составляет:  $K = X_{np} / X_p = 0,126/0,011 = 11,4$ .

Таким образом, при однослойной КЛ, сформированной из полидисперсной смеси РЗЭ, резко возрастает длина пути квантов  $X$ , а вместе с ней, возрастает и сечение взаимодействия рентгеновского излучения ( $\mu X$ ) в выражении (1), что, в свою очередь, приводит к резкому возрастанию величины защитного эквивалента относительно фактической защитной толщины РЗЭ в этом же образце.

По приведенной выше методике, было изготовлено и протестировано 20 образцов этого типа, результаты тестирования которых приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения защитных эквивалентов  $\chi$  резиновых матриц  
20 образцов первого типа с однослойной КЛ  
из полидисперсной смеси сложного окисла РЗЭ

Режим облучения		$\chi = \frac{X_{np}}{X_p}$									
а	U=128 кВ, E=85 КэВ, L=1000 мм, t=0,5 с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		1,9	3,0	3,8	1,2	2,0	2,4	2,3	2,1	2,8	3,1
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		1,2	1,3	3,8	1,3	2,1	1,3	3,9	1,3	2,2	1,2
б	U=40 кВ, E=27 КэВ, L=1000 мм, t=0,5 с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		11,4	12,0	15,3	13,8	9,8	11,8	13,0	17,0	14,6	14,4
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		11,2	9,9	13,5	12,1	15,0	9,6	11,8	12,4	15,3	9,1

Сравнительный анализ РЗ свойств образцов первого типа с однослойной КЛ по отношению к РЗ свойствам образцов второго типа с многослойной КЛ приводится ниже.

Из этой же сырой резины и РЗ модификатора в виде полидисперсной смеси сложного окисла РЗЭ с использованием тех же технологических приемов, что и при изготовлении образца первого типа с однослойной КЛ, был изготовлен образец второго типа с многослойной КЛ. Вначале был сформирован сферический элемент диаметром 3,5 см, внутри которого были зафиксированы три замкнутые, концентрически размещенными КЛ. КЛ были выполнены из полидисперсной смеси сложного окисла РЗЭ, между которыми был зазор. Толщина каждого из слоев КЛ внутри сферического элемента составляла в среднем 0,5 мм, а величина зазоров между слоями и толщина наружного предохранительного слоя из сырой резины составляла в среднем 2 мм. При этом, общее содержание сложного окисла РЗЭ в образце составило 35,5% по массе относительно массы всего образца. После этого сферический образец был медленно деформирован под прессом при открытом с его боков пространстве до образования плитообразной заготовки с округленными торцами толщиной около 2 см. Далее (по аналогии с образцом №1), на лабораторном каландре из указанной заготовки был прокатан лист толщиной 0,32 см по ТУ 38-105455-72 с размерами (8x8,8) см<sup>2</sup>, который был помещен в автоклав, где подвергся вулканизации в атмосфере горячего воздуха. При этом, радиус кривизны на торцах листа составил  $\approx 0,16$  см. Масса образца составила 47,9 г, а масса сложного окисла РЗЭ в нем – 17,0 г.

Полученный образец был подвергнут облучению при тех же, что и образец №1: а) U=128 кВ, E=85 кэВ, t=0,5 с, L=1000 мм; б) U=40 кВ, E=27 кэВ, t=0,5 с, L=1000 мм. Масса чистых РЗЭ в образце составила: 17,0 x 0,814 = 13,8 г. Рас-

четная защитная толщина РЗЭ в образце второго типа составляет:  
 $X_p = 13,8/8 \cdot 8 \cdot 5,4 = 0,036$  см.

Рентгенографический контроль РЗ свойств образца с последующим тестированием полученных данных ступенчатым свинцовым ослабителем показал, что второй тип образца при режиме облучения (а) имеет фактический защитный свинцовый эквивалент  $h_{экр} = 0,07$  см, а при режиме облучения (б) -  $h_{экр} = 0,51$  см. Далее (по аналогии с образцом №1 (а)), имеем:

- режим облучения а):  $X_{np} = 0,07 \cdot 11,34/5,4 = 0,147$  см;  $\chi = X_{np} / X_p = 0,147/0,036 = 29,7$ ;

- режим облучения б):  $X_{np} = 0,51 \cdot 11,34/5,4 = 1,07$  см;  $\chi = X_{np} / X_p = 1,07/0,036 = 29,7$ ;

Таким образом, образец второго типа, благодаря наличию зафиксированных в диэлектрической резиновой матрице нескольких, размещенных друг в друге с зазором КЛ из полидисперсной смеси сложного окисла РЗЭ, обеспечивает феноменально высокий уровень защиты.

По приведенной выше методике, было изготовлено 20 образцов, результаты тестирования которых приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Значение защитных эквивалентов  $\chi$  резиновых матриц 20-ти образцов второго типа с многослойной КЛ из полидисперсной смеси сложного окисла РЗЭ

Режим облучения		$\chi = \frac{X_{np}}{X_p}$									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
а	$U=128$ кВ, $E=85$ КэВ, $L=1000$ мм, $t=0,5$ с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		4,1	1,8	2,6	2,0	1,8	3,8	3,3	4,6	2,6	3,4
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		2,4	2,6	2,6	1,8	3,9	3,0	2,7	4,7	2,8	2,7
б	$U=40$ кВ, $E=27$ КэВ, $L=1000$ мм, $t=0,5$ с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		29,7	18,8	22,9	20,9	18,7	25,4	25,5	28,4	23,5	25,4
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		21,4	22,0	22,5	17,0	26,6	21,4	24,1	28,6	25,5	23,0

Из табл. 1 и табл. 2 следует, что образцы как с однослойной, так и с многослойной КЛ из полидисперсной смеси сложного окисла РЗЭ обеспечивают феноменально высокий уровень защиты. Однако, объективное заключение по сравнительной оценке этих типов образцов можно сделать только на основе статистической обработке полученных данных традиционными методами [1].

Прежде всего, была осуществлена оценка резко выделяющихся значений полученных опытных значений защитных эквивалентов, которые могут быть вызваны случайными помехами или ошибками эксперимента, а потому должны быть признаны ошибочными и отброшены. Для этого полученные значения опытных данных для обоих типов образцов и режимов облучения (а) и (б) испытания располагали в порядке возрастания с тем, чтобы наибольшие и наименьшие значения проверить на отбрасывание. При этом, для каждой серии опытных данных определялось среднеквадратичное отклонение, а затем составлялись безразмерные дроби:

$$\eta_{\max} = \frac{\chi_{\max} - \bar{\chi}}{\sigma} \quad \text{и} \quad \eta_{\min} = \frac{\bar{\chi} - \chi_{\min}}{\sigma} \quad (1)$$

где,  $\bar{\chi}$  – среднее значение опытных данных;  $\chi_{\max}$  и  $\chi_{\min}$  – наибольшее и наименьшее значение опытных значений защитных эквивалентов;  $\sigma$  – средне-квадратичное отклонение.

Далее, по приложению 6 [1, с. 151], в зависимости от числа испытаний и вероятности  $p$ , находили значения безразмерной величины  $\eta_0$ . Поскольку в нашем случае число образцов в каждой серии тестирования было одинаковым, равным 20, а принятая вероятность  $p=0,95$ , значение  $\eta_0$  для всех серий тестирования тоже было одинаковым и равным 2,623. Если  $\eta_{(\max,\min)} > \eta_0$ , то значение  $\chi_{\max}$  (или  $\chi_{\min}$ ), следует отбросить как ошибочное. Значения  $\eta$  при проверке на отбрасывание приведено в табл. 3.

Таблица 3 – Значения  $\eta$  при проверке на отбрасывание резко выделяющихся наибольших ( $\chi_{\max}$ ) и наименьших ( $\chi_{\min}$ ) опытных значений защитных эквивалентов

Режим облучения (а)				Режим облучения (б)			
Типы образцов				Типы образцов			
1		2		1		2	
$\eta_{\max}$	$\eta_{\min}$	$\eta_{\max}$	$\eta_{\min}$	$\eta_{\max}$	$\eta_{\min}$	$\eta_{\max}$	$\eta_{\min}$
1,84	1,08	1,94	1,3	1,97	1,62	1,81	1,93

Как видно из табл. 3, при проверке на отбрасывание наибольших и наименьших опытных значений ( $\chi_{\max}$  и  $\chi_{\min}$ ) защитных эквивалентов все значения  $\eta_{(\max,\min)}$  оказались меньшими  $\eta_0 = 2,623$ , что свидетельствует об отсутствии резко выделяющихся значений и об устойчивости условий изготовления и испытаний образцов.

Для определения существенности различия средних значений защитных эквивалентов ( $\bar{\chi}$ ) протестированных серий образцов обоих типов (отдельно на каждом режиме облучения) рассчитывали критерий Стьюдента [1]. Из приложения 2, с.149 [1] для числа степеней свободы  $f = n_1 + n_2 - 2 = 20 + 20 - 2 = 38$  и вероятности  $p=0,95$  находим табличное значение критерия Стьюдента  $t_0=2,025$ . Если фактическое значение  $t_{\phi} > t_0$ , то различие средних значений при одинаковых режимах тестирования **существенно** и обусловлено различиями сравниваемых типов образцов. Если же указанное соотношение не соблюдается, то различие **несущественно**.

В нашем случае в результате сравнения средних опытных значений защитных эквивалентов  $\bar{\chi}_1$  серии образцов резиновых матриц первого типа (с однослойными КЛ) со средними опытными значениями защитных эквивалентов  $\bar{\chi}_2$

серии образцов резиновых матриц второго типа (с многослойными КЛ) при режиме облучения (а) имеем:

$$t_{1-2}^{a)} = \frac{\bar{\chi}_1 - \bar{\chi}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1 - 1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2 - 1}}} = \frac{|2,2 - 2,96|}{\sqrt{\frac{0,925^2}{20 - 1} + \frac{0,895^2}{20 - 1}}} = 2,574 > 2,025, \quad (2)$$

а при режиме облучения (б) соответственно:

$$t_{1-2}^{б)} = \frac{\bar{\chi}_1 - \bar{\chi}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1 - 1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2 - 1}}} = \frac{|12,66 - 23,56|}{\sqrt{\frac{2,2^2}{20 - 1} + \frac{3,4^2}{20 - 1}}} = 11,732 > 11,73 \quad (3)$$

Здесь:  $\bar{\chi}_1$  и  $\bar{\chi}_2$  - средние величины значений защитных эквивалентов в первой и второй серии тестирования;  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  - среднеквадратичное отклонения тех же значений соответственно в первой и второй серии тестирования;  $n_1$  и  $n_2$  - количество образцов в первой и второй серии тестирования.

Как видим, различие средних величин значений защитных эквивалентов по результатам тестирования равноразмерных (по 20 шт.) серий образцов резиновых матриц с «квантовыми ловушками» первого (с однослойной КЛ) и второго (с многослойной КЛ) типов **существенно**.

Для оценки пределов вероятных отклонений ( $\pm \Delta$ ) средних значений защитных эквивалентов для различных типов образцов воспользуемся известным выражением на основе применения того же критерия Стьюдента [1]:

$$\Delta = \pm \frac{t\sigma}{\sqrt{n}},$$

где,  $t=2,095$  – критерий Стьюдента, который выбирают из приложения 2 [1] в зависимости от числа степеней свободы  $f = n - 1 = 20 - 1 = 19$  и требуемой вероятности  $p=0,95$ ;  $\sigma$  - среднеквадратичное отклонение, значение которого для каждого типа образца и соответствующего режима облучения приведено в выражениях (2,3);  $n$  – число образцов. Среднее значение защитных эквивалентов для различных типов образцов приведено в табл. 4.

Таблица 4 – Среднее значение защитных эквивалентов образцов с однослойной КЛ ( $\bar{\chi}_1$ ) и образцов многослойной КЛ ( $\bar{\chi}_2$ ) с соответствующими вероятными отклонениями ( $\pm \Delta$ )

Режим облучения образцов	$\bar{\chi}_1$	$\pm \Delta_1$	$\bar{\chi}_2$	$\pm \Delta_2$
а	2,2	0,4	2,96	0,4
б	12,66	1,0	23,56	1,6

Результаты проведения эксперимента исследований позволяют сделать следующие выводы :



- 1) фотометрирование плотности почернения рентгеновских снимков с помощью денситометра повышает объективность (а значит, и точность) оценки свинцовых эквивалентов РЗ свойств исследуемых образцов;
- 2) феноменологическая концепция механизма ослабления интенсивности потока квантов проникающего излучения «квантовыми ловушками [4]» полностью подтверждается результатами проведенных экспериментальных исследований;
- 3) исследования показали, что КЛ из полидисперсной смеси сложного окисла РЗЭ обеспечивают в резиновых матрицах феноменально высокий, выходящий за рамки классической зависимости Бугера [1], уровень РЗ защиты; использование возможностей КЛ наиболее предпочтительно при создании РЗ изделий на основе резиновых матриц для работы в рентгеновском диапазоне, что обуславливается тем, что: а) сложный окисел РЗЭ по ТУ 05.20.164-93 [5] включает в себя практически весь рядов лантаноидов, обеспечивая «растянутый» максимум поглощения РИ в диапазоне 38 – 63 КэВ; б) сложный окисел РЗЭ обладает более высокой совместимостью с каучуками из-за большей приближенности к ним ( по сравнению с тяжёлыми металлами) его пикнометрической плотности;
- 4) экспериментально подтвержденная высокая эффективность многослойных КЛ, сформированных в резиновых матрицах, открывает реальные перспективы для освоения высоких технологий по созданию РЗ материалов новых поколений с феноменально высокими РЗ свойствами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кацев П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента. - М.: Машиностроение, 1968. – 156 с.
2. Пат. №2208254 России, МПКG21F1/10. Радиационно-защитная резина / Пилипенко Н.И., Булат А.Ф., Ткаченко В.И., Иванов В.А. и др. / Оpubл. 27.11.2000, – Бюл. №19.
3. Пат. №32469 Украины, G21F1/10. Радіаційно-захисна гума / Пилипенко М.І., Булат А.Ф., Ткаченко В.І., Иванов В.А. та ін. / Оpubл. 15.12.2000, – Бюл. №7.
4. Булат А.Ф., Иванов В.А., Голов К.С. Механизм ослабления интенсивности потока квантов проникающего излучения «квантовыми ловушками» (КЛ) // Сб. научн. тр. ИГТМ НАНУ Геотехническая механика. – Днепропетровск: Полиграфист. – 2007. - Вып. 68. – С. 6-11.
5. Морозов И.Д., Трусов И.Л., Лаповок В.Н. Физические явления в ультрадисперсных средах. – М.: Атомиздат, 1984. – 224 с.