

О.В. Бойправ¹, Н.Н. Гринчик², В.Д. Гузов³, Д.И. Пеньялоса Овальес¹

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СУЛЬФАТА БАРИЯ НА ОСЛАБЛЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Республика Беларусь

²Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова

Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

³Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ» ОАО «МНИПИ»,
Минск, Республика Беларусь

Контактное лицо: Ольга Владимировна Бойправ, e-mail: boiprav@tut.by

РЕФЕРАТ

Цель: Установление закономерностей ослабления рентгеновского излучения, которыми характеризуются композиционные покрытия на основе сульфата бария и водного щелочного раствора силиката натрия, в зависимости от толщины слоя нанесения таких покрытий.

Материал и методы: Проведение эксперимента заключалось в изготовлении экспериментальных образцов композиционных покрытий на основе сульфата бария и водного щелочного раствора силиката натрия и проведении испытаний изготовленных экспериментальных образцов. Испытания изготовленных экспериментальных образцов композиционных покрытий проводились с помощью поверочной установки рентгеновского излучения УПР-АТ300, прецизионного дозиметра ДКС-АТ5350 в комплексе с ионизационной камерой ТМ23361 (PTW Freiburg), поверенного во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева (Россия) на государственных эталонах Российской Федерации.

Результаты: Установлено, что путем увеличения с 0,5 мм до 2,0 мм толщины слоя нанесения указанных покрытий можно обеспечить увеличение в 2,0–3,5 раза значений кратности ослабления рентгеновского излучения в диапазоне средних энергий 30,0–60,0 кэВ.

Выводы: Полученные результаты рекомендованы для использования в рамках решения задач, связанных с экранированием помещений (рентген-кабинеты) либо зон помещений (зоны досмотра в аэропортах), в которых располагаются источники рентгеновского излучения.

Ключевые слова: коэффициент ослабления, рентгеновское излучение, композиционное покрытие, сульфат бария

Для цитирования: Бойправ О.В., Гринчик Н.Н., Гузов В.Д., Пеньялоса Овальес Д.И. Исследование влияния толщины слоя композиционных покрытий на основе сульфата бария на ослабление рентгеновского излучения // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2022. Т. 67. № 2. С. 69–72. DOI: 10.33266/1024-6177-2022-67-2-69-72

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE LAYER THICKNESS OF COMPOSITE COATINGS BASED ON BARIUM SULPHATE ON THE ATTENUATION OF X-RAY RADIATION

O.V. Boiprav¹, N.N. Grinchik², V.D. Guzov³, D.I. Penialosa Ovalies¹

¹Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

²A.V. Lykov Institute of Heat and Mass Transfer, Minsk, Republic of Belarus

³Scientific and Production Unitary Enterprise ATOMTECH JSC MNIPI, Minsk, Republic of Belarus

Contact person: O.V. Boiprav, e-mail: boiprav@tut.by

ABSTRACT

Purpose: Defining the regularities in X-ray radiation attenuation, which characterize composite coatings based on barium sulfate and the aqueous alkaline sodium silicate solution, depending on the thickness of the layer of such coatings deposition.

Material and methods: The experiment consisted in the manufacture of experimental samples of composite coatings based on barium sulfate and the aqueous alkaline solution of sodium silicate and testing of the manufactured experimental samples. Tests of the manufactured experimental samples of composite coatings were carried out using UPR-AT300 calibration X-ray unit, DKS-AT5350 precision dosimeter in combination with a TM23361 ionization chamber (PTW Freiburg), attorney at Mendeleev All-Russian Research Institute of Metrology (Russia) on the state standards of the Russian Federation.

Results: It has been established that by increasing from 0.5 mm to 2.0 mm of the thickness of the deposition layer of these coatings, it is possible to ensure an increase of 2.0–3.5 times of X-ray attenuation ratio values in the range of average energies 30.0–60.0 keV.

Conclusion: The obtained results are recommended for use in solving problems related to the shielding of premises (X-ray rooms) or areas of premises (inspection zones at airports) in which X-ray sources are located.

Keywords: attenuation coefficient, X-ray radiation, composite coating, barium sulfate

For citation: Boiprav OV, Grinchik NN, Guzov VD, Penialosa Ovalies DI. Study of the Influence of the Layer Thickness of Composite Coatings Based on Barium Sulphate on the Attenuation of X-Ray Radiation. Medical Radiology and Radiation Safety. 2022;67(2):69-72. (In Russian) DOI: 10.33266/1024-6177-2022-67-2-69-72

Введение

В настоящее время при решении задач, связанных с экранированием помещений, в которых располагаются источники рентгеновского излучения, наблюдается тенденция перехода от использования свинцовой фольги или листов, на поверхность которых нанесено свинцовое покрытие, к использованию гипсовых композиционных панелей, содержащих сульфат бария [1, 2]. Это обусловлено более низкой стоимостью и более высокой экологичностью сульфата бария по сравнению со свинцом. Кроме того, гипсовые композиционные панели, содержащие сульфат бария, характеризуются следующими преимуществами по сравнению со свинцовой фольгой и листами, на поверхность которых нанесено свинцовое покрытие:

- 1) процесс получения гипсовых композиционных панелей с требуемыми габаритными размерами и формой является более технологичным по сравнению с процессом получения фольги или листов с аналогичными габаритными размерами и формой;
- 2) процесс закрепления гипсовых панелей на стенах экранируемых помещений характеризуется меньшей длительностью по сравнению с процессом закрепления фольги или листов на стенах таких помещений.

Однако в рамках исследований, результаты которых представлены в работе [3], установлено, что процесс изготовления композиционных материалов на основе сульфата бария и гипсового вяжущего характеризуется технологической нестабильностью ввиду агломерации частиц сульфата бария при гидратации гипсового вяжущего. В целях исключения указанного недостатка авторами настоящей работы предложено в ходе изготовления композиционных материалов на основе сульфата бария использовать в качестве связующего вещества водный щелочной раствор силиката натрия. В отличие от гипсового связующего, указанный водный раствор характеризуется меньшей вязкостью, что обуславливает возможность обеспечить равномерное распределение по его объему частиц сульфата бария в ходе изготовления композиционных материалов.

Цель исследований заключалась в установлении закономерностей изменения значений коэффициента ослабления рентгеновского излучения, которыми характеризуются композиционные покрытия на основе сульфата бария и водного щелочного раствора силиката натрия, в зависимости от толщины слоя нанесения таких покрытий.

Материал и методы

Проведение эксперимента заключалось в:

- изготовлении экспериментальных образцов композиционных покрытий на основе сульфата бария и водного щелочного раствора силиката натрия;
- проведении испытаний изготовленных экспериментальных образцов.

Процесс изготовления экспериментальных образцов заключался в следующем.

1. Смешивание сульфата бария и водного щелочного раствора силиката натрия в оптимальном объемном соотношении, которое составляет 7,0:3,0. Установлено, что указанное объемное соотношения является оптимальным, т. к. увеличение с 7,0 до 8,0 и более объемных единиц содержания сульфата ба-

рия в смеси приводит к снижению прочности получаемых на ее основе композиционных покрытий и материалов, а снижение с 7,0 до 6,0 и менее тех же объемных единиц приводит к снижению значений коэффициента ослабления рентгеновского излучения композиционных покрытий и материалов.

2. Нанесение с помощью шпателя полученной смеси на рентгенопрозрачную подложку, характеризующуюся радиационной прозрачностью (целлюлозную, полимерную и т.п.).
3. Высушивание при стандартных условиях [4] смеси, нанесенной на подложку.
4. Определение с помощью микрометра толщины слоя полученного композиционного покрытия.
5. По необходимости повтор действий, соответствующих этапам 2–4, до тех пор, пока не будет получено композиционное покрытие требуемой толщины.

Для проведения исследований были изготовлены экспериментальные образцы композиционных покрытий трех типов. Экспериментальный образец композиционного покрытия первого типа характеризовался толщиной 0,5 мм, экспериментальные образцы композиционных покрытий второго и третьего типов – толщиной 1,0 и 2,0 мм соответственно.

Испытания изготовленных экспериментальных образцов композиционных покрытий проводились с помощью:

- поверочной установки рентгеновского излучения УПР-АТ300;
- прецизионного дозиметра ДКС-АТ5350 совместно с ионизационной камерой ТМ23361 (PTW Freiburg), поверенного во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева (Россия) на государственных эталонах Российской Федерации.

В ходе проведения испытаний экспериментальных образцов камера устанавливалась на расстоянии 1000 мм от фокусного пятна трубки на оси пучка рентгеновского излучения, диаметр равномерного поля при этом составлял 110 мм. Испытываемый экспериментальный образец располагался перед камерой на расстоянии 5 мм от ее переднего края.

Внешний вид установки в ходе проведения испытаний одного из экспериментальных образцов представлена рис. 1.

Сведения о режимах генерации излучения, в которых проводились испытания экспериментальных образцов, представлены в табл. 1.

В табл. 1 использованы следующие обозначения: U – напряжение на рентгеновской трубке, кВ; I – анодный ток рентгеновской трубки, мА; E – средняя энергия рентгеновского излучения, кэВ.

Перед проведением испытаний каждого из экспериментальных образцов выполнялась оценка гомогенности их поверхностей и выбор рабочих областей этих поверхностей, которые в ходе испытаний были использованы как области воздействия пучка излучения. Для этого выполнялось следующее.

1. Расчет значений коэффициента ослабления излучения, которые соответствуют определенным областям поверхности экспериментального образца в соответствии со следующей методикой.

- 1.1. Пятикратная регистрация величины ионизирующего тока измерительной камерой в точке измерения в режиме наименьшей энергии излучения.

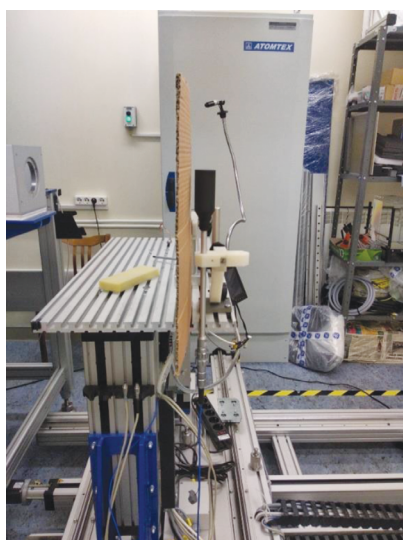


Рис. 1. Внешний вид установки в ходе проведения испытаний одного из экспериментальных образцов

Fig. 1. The equipment appearance during testing of an experimental sample

Таблица 1

Режимы генерации излучения, в которых проводились испытания

Table 1

The radiation modes under which the tests were carried out

U, кВ	I, мА	Добавленная фильтрация*, мм	E**, кэВ
50	2	2,444 (Al)	32,2
70	2		39,1
90	2		45,7
110	2		51,3
130	2		56,0
150	2		60,3
200	2	1,216 (Cu)	101,0
250	2	1,822 (Cu)	124,0
300	2	2,489 (Cu)	147,0

Примечания: * Собственная фильтрация трубки составляет 3 мм Be,

** Значение получено с помощью методов математического моделирования

1.2. Расчет среднего значения величины ионизационного тока измерительной камеры в точке измерения в режиме той же энергии излучения.

1.3. Выбор на поверхности экспериментального образца девяти непересекающихся областей.

1.4. Установка экспериментального образца перед измерительной камерой таким образом, чтобы пучок излучения воздействовал на одну из выбранных на этапе 1.3 областей его поверхности.

1.5. Повтор действий, соответствующих этапам 1.1 и 1.2.

1.6. Расчет значения коэффициента ослабления излучения для исследуемой области поверхности экспериментального образца ($K_{осл}$), по формуле:

$$K_{осл} = I_0/I_p \tag{1}$$

где I_0 – рассчитанное среднее значение ионизационного тока измерительной камеры в точке измерения без образца; I_p – то же самое с образцом.

1.7. Повтор действий, соответствующих этапам 1.3–1.6, до тех пор, пока не будут получены значения коэффициентов ослабления, соответствующих совокупности каждой из выбранных на этапе 1.3 областей поверхности экспериментального образца.

2. Расчет среднего значения коэффициента ослабления ($\langle K_{осл} \rangle$) по формуле

$$\langle K_{осл} \rangle = \frac{K_{осл1} + K_{осл2} + \dots + K_{осл9}}{9},$$

где $K_{осл1}, K_{осл2}, \dots, K_{осл9}$ – значения коэффициента ослабления образца, соответствующие первой, второй и т.д., девятой выбранным областям поверхности образца.

3. Выбор области поверхности экспериментального образца, которой соответствует значение коэффициента ослабления излучения, наиболее близкое к среднему значению коэффициента ослабления экспериментального образца.

4. Выделение выбранной области экспериментального образца с целью обеспечения удобства ее распознавания как рабочей области в ходе дальнейших испытаний образца.

В ходе проведения испытаний каждого из экспериментальных образцов выполнялось следующее.

1. Определение режима излучения, в котором будет проводиться испытание экспериментального образца.
2. Пятикратная регистрация величины ионизационного тока измерительной камеры в точке измерения в определенном режиме.
3. Расчет среднего значения величины ионизационного тока измерительной камеры в точке измерения в определенном режиме.
4. Установка экспериментального образца в измерительной камере таким образом, чтобы пучок излучения воздействовал на его рабочую область.
5. Повтор действий, соответствующих этапам 2 и 3.
6. Расчет по формуле (1) значения коэффициента ослабления излучения, соответствующего определенному режиму последнего.
7. Повтор действий, соответствующих этапам 1–6, до тех пор, пока не будут получены значения коэффициента ослабления излучения, соответствующие совокупности всех режимов последнего (см. табл. 1).

В ходе проведения испытаний экспериментальных образцов значения ионизационных токов приводились к нормальным условиям и корректировались поправкой чувствительности камеры на изменение энергии излучения.

Результаты и обсуждение

На рис. 2 представлены зависимости коэффициента ослабления от средней энергии рентгеновского излучения и от толщины нанесенного на образцы слоя покрытия, полученные на основе результатов измерений.

Из рис. 2 видно, что значения коэффициента ослабления рентгеновского излучения изменяются в пределах от 1,1 до 8,7 отн. ед. в зависимости от толщины слоя нанесения этих покрытий и средней энергии указанного излучения.

Установлено, что увеличение с 0,5 до 1,0 мм толщины слоя композиционного покрытия на основе сульфата бария не приводит к существенному изменению значений коэффициента ослабления рентгеновского излучения, которыми характеризуется это покрытие. Увеличение с 1,0 до 2,0 мм толщины слоя такого покрытия приводит к

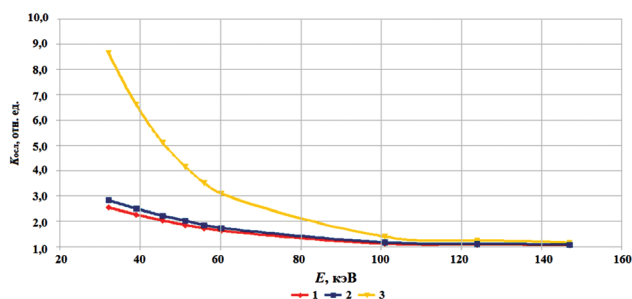


Рис. 2. Зависимости коэффициента ослабления рентгеновского излучения в экспериментальных образцах от средней энергии излучения

Примечания: 1 – экспериментальный образец 0,5 мм;
2 – экспериментальный образец 1,0 мм;
3 – экспериментальный образец 2,0 мм

Fig. 2. Dependences of the X-ray attenuation coefficient of the tested experimental samples on the average radiation energy

увеличению с 1,6–2,6 до 3,1–8,7 отн. ед. значений коэффициента ослабления рентгеновского излучения при напряжении на рентгеновской трубке от 50,0 до 150,0 кВ.

Исследованные композиционные покрытия обеспечивают незначительное ослабление рентгеновского излучения, значения напряжения генерации которого составляют более 150,0 кВ. Это обусловлено тем, что проникающая способность такого излучения значительно

превышает толщину исследованных композиционных покрытий [5].

Заключение

На основе полученных результатов был сделан вывод, что композиционные покрытия на основе сульфата бария и водного щелочного раствора силиката натрия с толщиной слоя нанесения 2,0 мм представляются перспективными для использования в целях экранирования низкоэнергетического рентгеновского излучения.

Способы практического использования таких покрытий могут быть следующими.

1. Нанесение на стены помещений, в которых располагаются источники рентгеновского излучения (рентген-кабинеты).
2. Изготовление панелей, предназначенных для облицовки стен помещений, в которых располагаются источники рентгеновского излучения, путем нанесения исследованных покрытий на поверхности листовых рентгено-прозрачных материалов (например, целлюлозных).
3. Изготовление перегородок, предназначенных для экранирования отдельных зон помещений, в которых располагаются источники рентгеновского излучения (зоны досмотра аэропортов), путем нанесения исследованных покрытий на поверхности листов гипскартона.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Тада Кацуми, Ямаката Коудзи, Йокояма Итару, Катсумото Кодзи. Композиция для строительного материала и гипсовая плита, а также способ строительства с их использованием и стена // Патент Российской Федерации № RU2393563C2. Оpubл. 27.06.2010.
2. Гребнер Госберт, Фогель Петра, Кремер Георг, Шеллер Лотар, Хуммель Ханс-Ульрих. Способ получения строительной плиты на основе сульфата кальция/сульфата бария // Патент Российской Федерации № RU 2440314. Оpubл. 20.01.2012.
3. Булат А.Ф., Иванов В.А., Звягильский Е.Л., Голов К.С., Большаков В.И. Сравнительные исследования радиационно-защитных наполнителей композиционных материалов на основе фосфогипсового вяжущего // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. Т.6/11, № 78. С. 25–29. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.54902.
4. McNaught A.D., Wilkinson A. Standard Conditions for Gases. IUPAC // Compendium of Chemical Terminology. Oxford, 1997.
5. Виноградов А.В. Зеркальная рентгеновская оптика. Л.: Машиностроение, 1989. 463 с.

REFERENCES

1. Tada Katsumi, Yamakata Koudzi, Yokoyama Itaru, Katsumoto Kodzi. *Kompozitsiya dlya Stroitel'nogo Materiala i Gipsovaya Plita, a takzhe Sposob Stroitel'stva s ikh Ispol'zovaniyem i Stena* = Composition for Building Material and Gypsum Board, as Well as a Method of Construction Using them and a Wall. Patent of the Russian Federation No. RU2393563C2. Publ. 27.06.2010 (In Russian).
2. Gröbner Gosbert, Vogel Petra, Kremer Georg, Scheller Lothar, Hummel Hans-Ulrich. *Sposob Polucheniya Stroitel'noy Plity na Osnove Sulfata Kal'tsiya/Sulfata Bariya* = A Method of Producing a Building Board Based on Calcium Sulfate/Barium Sulfate. Patent of the Russian Federation No. RU 2440314. Publ. 20.01.2012 (In Russian).
3. Bulat A.F., Ivanov V.A., Zvyagil'skiy E.L., Golov K.S., Bolshakov V.I. Comparative studies of radiation-protective fillers of composite materials based on phosphogypsum binder. *Vostochno-Yevropeyskiy Zhurnal Peredovykh Tekhnologiy* = Eastern European Journal of Advanced Technologies. 2015;6/11;78:25-29. DOI: 10.15587 / 1729-4061.2015.54902 (In Russian).
4. McNaught A.D., Wilkinson A. Standard Conditions for Gases. IUPAC. Compendium of Chemical Terminology. Oxford, 1997.
5. Vinogradov A.V. *Zerkalnaya rentgenovskaya optika* = X-Ray Mirror Optics. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1989. 463. (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 30.11.2021. Принята к публикации: 30.03.2022.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 30.11.2021. Accepted for publication: 30.03.2022.