

УДК 621.039

ОЦЕНКА ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ПРИРОДНЫХ МИНЕРАЛОВ И ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ

Е. Д. Стругов¹, И. А. Ширманов², В. А. Климова³, О. Л. Ташлыков⁴

^{1,2,3,4} Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

¹ topzar76123@gmail.com

Аннотация. В работе представлены результаты расчета экранирующих свойств ряда природных минералов и отходов производства для оценки возможности их использования в качестве радиационной защиты от гамма-излучения.

Ключевые слова: оптимизация радиационной защиты, природные материалы, линейный коэффициент ослабления

ASSESSMENT OF SHIELDING PROPERTIES OF NATURAL MINERALS AND PRODUCTION WASTE FOR USE IN RADIATION PROTECTION

E. D. Strugov¹, I. A. Shirmanov², V. A. Klimova³, O. L. Tashlykov⁴

^{1,2,3,4} Ural Federal University named after the First
President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

¹ topzar76123@gmail.com

Abstract. The paper presents the results of calculating the shielding properties of a number of natural minerals and industrial wastes to assess the possibility of their use as radiation protection against gamma radiation.

Keywords: optimization of radiation protection, natural materials, linear attenuation coefficient

Радиационная безопасность в современных условиях сложилась в самостоятельную отрасль науки, призванную обеспечить безопасное для человека и окружающей среды широкое использование источников излучения [1].

Стоимость защиты современных ядерно-технических установок может достигать 20–30 % общей стоимости сооружения. В настоящее время особое внимание уделяется реализации принципа оптимизации — одного из основных принципов обеспечения радиационной безопасности. В связи с этим представляет интерес оценка экранирующих свойств по отношению к гамма-излучению различных производственных отходов, природных минералов для оптимизации радиационной защиты.

В целях решения этой задачи в представленной работе использовалась база данных NIST XCOM, с помощью которой можно получить поперечные сечения рассеяния для фотона, фотоэлектрическое поглощение, значения общих коэффициентов затухания для любого элемента, соединения или смеси [2].

Следует отметить некоторые ограничения. Поперечные сечения элементов в базе данных NIST XCOM относятся к изолированным нейтральным атомам и не учитывают молекулярные и твердотельные эффекты, которые изменяют сечения поглощения, такие как сечения рассеяния Дельбрюка, двухфотонного комптоновского рассеяния или фотомезонного происхождения.

В настоящей работе исследованы некоторые природные материалы и шлаки в целях определения их эффективности при использовании в составе защиты от гамма-излучения. Среди большого разнообразия материалов на рынке были выбраны следующие материалы (нумерация материалов совпадает с нумерацией в таблице и на рис. 1):

- 1) аллювиальный гранатовый песок;
- 2) дистен-силлиманитовый концентрат зернистый;
- 3) ильменитовый концентрат (обесхромленный);
- 4) рутиловый концентрат зернистый (типичный);
- 5) циркониевый концентрат порошкообразный;
- 6) доменный гранулированный молотый шлак;
- 7) гранит (крошка).

Для сравнения и оценки эффективности исследуемых материалов рассматривалось ослабление гамма-излучения свинцом и оловом. Значения, полученные с помощью XCOM, сравнивались с расчетом по существующей методике [3]. Расчет проводился для точечного источника. При расчете массового коэффициента ослабления в качестве источника излучения использовался ^{60}Co (наиболее вероятным является каскадное испускание гамма-квантов с энергией 1,17 МэВ и 1,33 МэВ).

Таблица

Основной химический состав материалов, % мас.

Материалы	Образцы материалов						
	1	2	3	4	5	6	7
Плотность, кг/м ³	2380	1900	2200	2400	2700	2800	2700
SiO ₂	36	—	2	1,3	32	—	68
Al ₂ O ₃	20	58	3	0,4	1	10	12
FeO	30	—	—	—	—	0,5	0,5
Fe ₂ O ₃	2	0,8	—	1	0,09	—	0,5
TiO ₂	1	2	63	95	0,2	3	0,1
MnO	1	—	—	—	—	1,5	—
CaO	2	0,1	—	0,5	—	40	1,5
MgO	6	0,2	—	—	—	13	0,1
N ₂ O + K ₂ O	—	0,1	—	—	—	—	—
U + Th	—	220 · 10 ⁻⁶	100 · 10 ⁻⁶	70 · 10 ⁻⁶	320 · 10 ⁻⁶	—	—
ZrO ₂	—	0,8	—	0,8	—	—	—
Cr ₂ O ₃	—	—	0,4	0,2	—	—	—
P ₂ O ₅	—	—	—	0,07	0,12	—	—
SO ₃	—	—	—	0,05	—	—	—
V ₂ O ₅	—	—	—	0,4	—	—	—
ZrO ₂ +HfO ₂	—	—	—	—	65	—	—
Na ₂ O	—	—	—	—	—	0,5	—
K ₂ O	—	—	—	—	—	1,5	—

Для расчета использовалась формула зависимости интенсивности излучения от толщины защитной стенки:

$$I = I_0 e^{-\mu x},$$

где I_0 — интенсивность в начальный момент времени; μ — линейный коэффициент ослабления, см⁻¹; x — толщина защитной стенки, см.

Линейный коэффициент ослабления энергии определялся с помощью базы данных NIST XCOM при толщине слоя вещества 10 см.

На рис. 1 представлены значения линейного коэффициента ослабления для девяти материалов, включая свинец и олово.

По итогам выполненной работы можно сделать вывод, что наиболее эффективным из исследуемых материалов для ослабления гамма-излучения оказался доменный гранулированный молотый шлак и цир-

кониевый концентрат порошкообразный. Это объясняется наибольшим линейным коэффициентом ослабления.

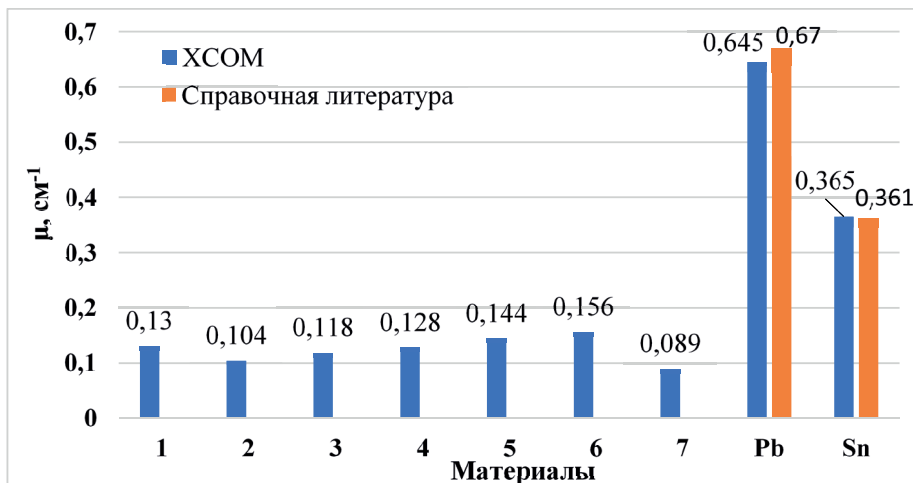


Рис. 1. Значения линейного коэффициента ослабления

Настоящие материалы достаточно распространены на рынке и имеют невысокую стоимость, что характеризует их доступность в применении. Результаты показали, что применение природных материалов для защиты от гамма-излучения возможно и может быть осуществлено в условиях, не требующих ограничения для толщины защиты.

В работе был рассмотрен моноэнергетический пучок гамма-квантов. Исследование материалов в дальнейшем будет продолжено с учетом разных показателей энергии.

Список источников

1. Егоров Ю. А. Основы радиационной безопасности атомных электростанций / под общ. ред. Н. А. Доллежаля. М. : Энергоиздат, 1982. 271 с.
2. Element/Compound/Mixture Selection [Electronic resource]. URL: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html> (date of access: 10.11.2020).
3. Машкович В. П., Кудрявцева А. В. Защита от ионизирующих излучений. М. : Энергоатомиздат, 1995. 494 с.