виробництві, що створює більш сприятливі умови для перебігу реакцій клінкероутворення.

Використання доменних шлаків як глинистого компонента портландцементної сировинної суміші дозволило знизити витрату вапняку в суміші та вологість шламу для отримання якісного клінкеру.

Багаторічний досвід роботи Єнакіївського, Дніпропетровського, Дніпродзержинського та Криворізького цементних заводів на сировинній суміші, що містить шлаки, показує ефективність часткової або повної заміни глини зазначеною добавкою. Проте переробка доменних шлаків на металургійних заводах України досягла практично граничного рівня ще у 70-х роках минулого століття, і подальшого значного збільшення виходу шлаків не передбачається, тому резерви цементної промисловості щодо цього можна вважати вичерпаними.

Велике значення у сировинному балансі цементної промисловості з того часу почали набувати як компонент сировинної суміші золо-шлакові відходи ТЕС. Використання зол дозволяє зменшити витрати вапняку, знизити вологість шламу при мокрому способі виробництва і відповідно - витрата тепла на випал.

Дослідження широкого кола матеріалів як сировини при виробництві портландцементу дозволило встановити залежність процесів, що відбуваються при клінкероутворенні, від фізико-хімічних і мінералогічних особливостей сировини. Найбільший інтерес це має для забезпечення належної реакційної здатності сировинної суміші сировини, у яких кремнезем представлений або в аморфному (рентгеноаморфному) стані, або пов’язаним у силікати або алюмосилікати.

Список використаних джерел:

1. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. Донецьк : Східний видавничий дім, 2013. Т. 3 : С – Я. 644 с.

УДК 691.7:539.163

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МЕТАЛОВМІСНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ

Сергій Дериземля,
здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої
освіти ОНП «Підприємництво та торгівля»,
спеціальність 076 «Підприємництво та торгівля»
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

Енергія іонізуючого випромінювання традиційно поглинається за допомогою екранів на основі свинцю. Проте сучасні підходи до безпеки засуджують продовження використання свинцю, посилаючись на такі недоліки, як висока токсичність, недостатня хімічна стабільність, та небезпечність для

життя. Тому метою роботи було дослідження одержання металовмісних композиційних матеріалів для захисту від іонізуючого випромінювання.

Проаналізовано що масові коефіцієнти ослаблення залізовмісних матеріалів, принаймні для випромінювань малих енергій, некритично відрізняються від свинцю. Спробуємо узагальнити критерії для матеріалів, що екранують іонізуюче випромінювання, механізми енергетичного екранування, проникнення променів в композиційних екрануючих матеріалах, теоретичні параметри екранування в конструкції радіаційно-захисних матеріалів, схема вибору металу для цілей екранування та різні керуючі змінні при проектуванні композиту з метою захисту від іонізуючого випромінювання.

Захист населення від впливу іонізуючого випромінювання залишається в Україні актуальною проблемою. Значною мірою це стосується рентгенівського випромінювання різної жорсткості через застосування цих випромінювань у промисловості та охороні здоров'я. Для створення ефективного захисту від іонізуючого випромінювання потрібна наявність спеціальних матеріалів [1-4]. Крім високих радіаційно-захисних характеристик, дані матеріали повинні мати ряд специфічних властивостей залежно від умов її експлуатації. Особливу увагу необхідно приділяти проблемі радіаційної стійкості матеріалів протирадіаційного захисту, оскільки структура матеріалу може змінюватися під впливом іонізуючого випромінювання.

Різні композиції на основі вольфраму були докладно розглянуті та вивчені авторами [11-12]. Причому композити з вольфрамом (W-C, W-Cu) показали найкращі результати зі всіх описаних авторами матеріалів [12]. Так, у дослідженні на чолі Daria Tishkevich був синтезований композиційний матеріал з WC та етиленвінілацетату (WC-EBA) у різних співвідношеннях, ефективність екранування зразків еквівалентні за ефективністю шару Pb товщиною 1 та 2 мм. Як джерело випромінювання виступили ізотопи Cs^{137}.

Під час експлуатації в зоні посиленого радіаційного ураження захисні матеріали набухають, що впливає на зміну матеріалу і його властивості та призводить до можливого руйнування матеріалу. Для зниження швидкості розвитку цих процесів застосовують різні наповнювачі. Наявність різних матеріалів дозволяє цілеспрямовано налагодити отримання композиційного матеріалу з відповідними характеристиками (твердість, міцність, термо-електропровідність і радіаційно-захисні властивості). Одним з варіантів підвищення ефективності захисту є використання сучасних методів виробництва, зокрема зосереджені на покращенні радіаційно-захисних властивостей за рахунок збільшення вмісту наночастинок [10]. Дуже добре показали варіанти композитних матеріалів на основі того ж вольфраму – за рахунок сучасної технології його масову частку збільшено до 97 мас.% вольфраму. Ці матеріали доцільно використовувати для об'єктів стаціонарного захисту, де немає жорстких обмежень на загальну вагу.

Важливим параметром, що характеризує матеріали радіаційного захисту, є щільність. В силу високої щільності альтернативою свинцю є вольфрам. Однак через його тугоплавкість процес отримання сучасними методами

порошкової металургії вольфрамових екранів ускладняється. Також такий радіаційний захист є відносно дорогим. Для вирішення цієї проблеми пропонується використовувати легкоплавкі матеріали як матриці. Для цього як сполучний компонент у композиції на основі вольфраму застосовуються вуглецеві матеріали, мідь, кобальт, вісмут та ін. [5].

Популярними для рентгенозахисних матеріалів є пропозиції до застосування композиції на полімерній основі з вмістом вісмуту [3]. Те ж саме стосується матеріалу з вуглецевими наповнювачами [4]. Однак кінцева висока вартість цих матеріалів зменшує перспективність їх масового виробництва та застосування.

У деяких дослідженнях наведено результати розроблення композиційного матеріалу із застосуванням диспрозію та гедолінію як екрануючих елементів. [6]. Їх порядкові числа достатньо великі, та захисні властивості цих матеріалів мають високі показники. Але ці метали мають надзвичайно високу вартість, тому великі обсяги захисних покриттів з них (навіть за малого вмісту у полімерній матриці) виготовляти недоцільно.

У сучасних умовах зростаючої потреби в радіаційному захисті особливу увагу слід приділяти розробці захисних будівельних матеріалів від іонізуючого випромінювання, які поєднували б високу ефективність із економічною доцільністю та технологічною доступністю.

Такі матеріали повинні бути, по-перше, недорогими у виробництві, що є критично важливим для їх масового впровадження в будівництві, енергетиці, медицині та оборонному секторі. Другим важливим чинником є використання місцевої мінеральної сировини, що дозволяє зменшити імпортозалежність, уникнути втрат валютних резервів і водночас стимулює внутрішній видобуток та обробку ресурсів.

Також важливо, щоб такі матеріали були безпечними для людини та довкілля протягом усього життєвого циклу – від видобутку сировини до утилізації.

У контексті енергоефективної економіки, яка є ключовим елементом стратегії розвитку сучасної України, одним із головних пріоритетів є мінімізація витрат енергоресурсів на виробництво й видобуток сировини. Це забезпечує не лише зниження собівартості кінцевого продукту, а й зменшення вуглецевого сліду, що відповідає міжнародним екологічним стандартам та європейському курсу України.

Не менш важливо, щоб в Україні існувала достатня виробнича база, здатна масово виготовляти такі матеріали в обсягах, які задовольняють потреби національного ринку.

Пошуком матеріалів які б задовільнили ці вимоги займаються провідні українські вчені, зокрема Зозуля Л. А. Тихенко О. М. Зозуля С. В. Глива В.А. та інш. У своїх роботах вони досліджують можливості використання залізовмісних композитних матеріалів для захисту від іонізуючого випромінення. Зокрема створення композитних матеріалів на основі латексу та магнетиту для захисту від іонізуючого випромінювання. Дослідження

показують, що при вмісті магнетиту 60% за масою та товщині шару 1-5 мм коефіцієнти екранування становлять від 1,2 до 3,2, що є прийнятним результатом з огляду на низьку вартість та екологічність композиту [13]. Також перспективними виглядають запропоновані засади проектування композитного металополімерного матеріалу для зниження інтенсивності рентгенівського та гамма-випромінювань. Використання дрібнодисперсної залізовмісної субстанції, зокрема магнетиту, дозволяє створювати ефективні захисні матеріали [14].

Перспективні рішення з використання магнетиту зустрічаються у дослідженях захисних властивостей матеріалів для екранування електромагнітних полів і випромінювань, притаманних медичному обладнанню. Композити на основі латексу та магнетиту ефективно екранують електромагнітні поля у діапазонах ультрависоких, надвисоких і надзвичайно високих частот [15].

У роботах авторів на чолі з Глива В.А. розглядається теоретичне та експериментальне обґрунтування створення захисного композиту на основі залізорудного концентрату, як ефективного матеріалу для екранування іонізуючого випромінювання, зокрема рентгенівського та γ-випромінювання. В основі підходу – використання залізовмісних речовин як активного компонента в металополімерній матриці [8-9].

Роботи цих авторів підтверджують, що залізовмісні матеріали, зокрема з локальної сировини (наприклад, магнетиту), є перспективними для створення ефективних композитів для радіаційного захисту.

Відзначається важливість вибору фракції, концентрації та морфології частинок, що може бути застосовано при розробці будівельних композитів з магнетитом.

Також враховується енергозберігаючий підхід: використання вже наявної мінеральної бази (залізорудних концентратів) зменшує потребу у складних технологічних процесах – це відповідає стратегії енергоефективної економіки України.

Таким чином, це може служити науковим підґрунтям та підтвердженням доцільності вибору магнетиту як базової сировини в проєкті захисних будівельних матеріалів.

З огляду на вищенаведені вимоги, та цілої низки досліджень сучасних українських науковців магнетит вирізняється як перспективна сировина для створення ефективних будівельних матеріалів із захисними властивостями проти іонізуючого випромінювання.

По-перше, магнетит має високу густину та здатність ефективно поглинати гамма- та рентгенівське випромінювання, що робить його конкурентоспроможним із традиційними свинцевими матеріалами. При цьому він екологічно безпечніший і не містить токсичних компонентів.

По-друге, поклади магнетиту наявні на території України, зокрема в Криворізькому залізорудному басейні, що забезпечує локальну доступність сировини й знижує залежність від імпорту. Видобуток і переробка магнетиту не

потребують надмірних енергозатрат, особливо при впровадженні сучасних технологій, що узгоджується з принципами енергоефективної економіки.

Крім того, в Україні вже існують підприємства з відповідним технічним потенціалом, здатні масово переробляти магнетитовмісну сировину, що відкриває можливості для розгортання серійного виробництва захисних будівельних матеріалів на його основі.

Таким чином, магнетит повністю відповідає ключовим критеріям: ефективність, економічність, безпечність, доступність і виробнича спроможність, що робить його одним із найперспективніших компонентів для створення нових вітчизняних захисних матеріалів.

Список використаних джерел:

1. Tishkevich D. I., Grabchikov S. S., Lastovskii S. B. та ін. Function composites materials for shielding applications: correlation between phase separation and attenuation properties. *Journal of Alloys and Compounds*. 2019. Vol. 771. P. 238–245.
2. Kadyrzhanov K. K., Shlimas D. I., Kozlovskiy A. L., Zdorovets M. V. Research of the shielding effect and radiation resistance of composite $CuBi_2O_4$ films as well as their practical applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2020. Vol. 31. P. 11729–11740.
3. Mann H. S., Brar G. S., Mudahar G. S. Gamma-ray shielding effectiveness of novel light-weight clay-flyash bricks. *Radiation Physics and Chemistry*. 2016. Vol. 127. – P. 97–101.
4. AbuAlRoos N. J., Azman M. N., Amin N. A. B., Zainon R. Tungsten-based material as promising new lead-free gamma radiation shielding material in nuclear medicine. *Physica Medica*. 2020. Vol. 78. P. 48–57.
5. Kelly J. P. та ін. Directed energy deposition additive manufacturing of functionally graded Al-W composites. *Additive Manufacturing*. 2021. Vol. 39. Art. ID 101845: веб-сайт. URL: https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.101845 (дата звернення: 28.02.2025р.)
6. Singh V. P., Badiger N. M., Kothan S. та ін. Gamma-ray and neutron shielding efficiency of Pb-free gadolinium based glasses. *Journal of Nuclear Science and Techniques*. 2015. № 27(4). P. 103–112.
7. Гулбін В. М. Розробка композиційних матеріалів, модифікованих нанопорошками, для захисту від випромінювання в атомній енергетиці. *Ядерна фізика та енергетика*. 2011. Т. 2, № 3. С. 272–286.
8. Glyva V., Podkopaev S., Levchenko L. та ін. Design and study of protective properties of electromagnetic screens based on iron ore dust. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologie*s. 2018. ss. 1/5 (91). P. 10–17.
9. Глива В., Матвєєва І., Левченко Л., Кічата Н. Проектування композитних матеріалів на основі дрібнодисперсної залізовмісної субстанції для екранування іонізуючих випромінювань. *Системи управління, навігації та зв'язку.* 2020. № 2(60). С. 110–113: веб-сайт. URL: https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.2.110 (дата звернення: 01.03.2025р.)

10. Zakaly H. та ін. Role of novel ternary nanocomposites polypropylene in nuclear radiation attenuation properties: In-depth simulation study. *Radiation Physics and Chemistry*. 2021. Vol. 188. Art. ID 109667.

11. Isostatic Hot Pressed W–Cu Composites with Nanosized Grain Boundaries: Microstructure, Structure and Radiation Shielding Efficiency against Gamma Rays / Tishkevich D. I. та ін. *Nanomaterials*. 2022. Vol. 12, № 10. Art. ID 1642. : веб-сайт. URL : https://doi.org/10.3390/nano12101642 (дата звернення: 25.01.2025р.)

12. Soylu H. M., Yurt Lambrecht F., Ersöz O. A. Gamma radiation shielding efficiency of a new lead-free composite material. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2015. Vol. 305, № 2. P. 529–534: веб-сайт. URL : https://doi.org/10.1007/s10967-015-4051-3 (дата звернення: 25.01.2025р.)

13. Зозуля Л. А. Засади розроблення безсвинцевих матеріалів для екранування іонізуючих та неіонізуючих електромагнітних випромінювань. *Сучасні напрями досліджень представників природничих наук: зб. наук. пр*. 2020. № 4(20). С. 35–40: веб-сайт. URL: https://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/download/3293/2715 (дата звернення: 15.02.2025р.)

14. Тихенко О. М., Зозуля Л. А., Зозуля С. В. Проєктування композитних матеріалів на основі дрібнодисперсної залізовмісної субстанції для екранування іонізуючих випромінювань. *Збірник наукових праць*. 2020. № 67. С. 48–54: веб-сайт. URL : https://www.researchgate.net/publication/341888303 (дата звернення: 15.02.2025р.)

15. Тихенко О. М., Зозуля Л. А., Зозуля С. В. Композиційні безсвинцеві матеріали для захисту від іонізуючих та неіонізуючих електромагнітних полів та випромінювань. Сучасні напрями досліджень представників природничих наук. 2021. № 1(21). С. 29–34: веб-сайт. URL : https://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/download/3377/2799 (дата звернення: 16.02.2025р.)