

**МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ  
УКРАЇНИ**

**НАУКОВО-ДОСЛІДНА УСТАНОВА  
«УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ  
ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ»**

**ХІХ МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ**

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА:  
ПРОБЛЕМИ І ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ СТАТЕЙ**

*Відповідальний за випуск: Н. С. Цапко  
Комп'ютерна верстка: В. В. Гладкова*

14-15 вересня 2023 р.  
м. Харків, Україна

Харків 2023

УДК 502.58:504.064.4

Електронний примірник.

Розміщено на офіційному сайті установи згідно рішення Вченої ради УКРНДІЕП

Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей  
XIX Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків,  
14-15 вересня 2023 р.) / УКРНДІЕП., 2023. — 416 с.

У збірнику наукових статей висвітлено проблеми, що пов'язані з регіональною екологією, охороною атмосферного повітря та водних об'єктів, переробкою промислових та побутових відходів, моніторингом навколишнього природного середовища, радіоекологічною безпекою та екологічно чистими енергозберігаючими технологіями.

Збірник розраховано на вчених та спеціалістів академічних та галузевих науково-дослідних і проектних інститутів, керівників підприємств різних форм власності, організацій МОЗ України, представників департаментів екоресурсів обласних та міських державних адміністрацій та екологічних інспекцій, управлінь з питань надзвичайних ситуацій, органів державної виконавчої влади та місцевого самоврядування і громадських організацій.

Статті надруковано за авторською редакцією.

© Укладач Науково-дослідна установа  
«Український науково-дослідний  
інститут екологічних проблем»  
(УКРНДІЕП), 2023

## ЗМІСТ

**Гриценко А. В., Васенко О. Г., Карлюк А. А.**

Основні положення Національної Доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2022 році..... 3

**Гриценко А. В., Маркіна Н. К., Педан В. В.**

Екологічні проблеми та їх вирішення в умовах експлуатації родовищ підземних вод в м. Харкові..... 5

**Авдієнко І. А.**

Викиди газоподібних органічних речовин з міських очисних споруд №2 м. Харкова..... 12

**Адамова Г. В., Пісня Л. А.**

Забезпечення екологічної безпеки на автомобільних дорогах Європи. Застосування комплексної еколого-аналітичної оцінки впливу системи «автомобіль-дорога-середовище»..... 15

**Аніщенко Л. Я., Горишнякова Я. В.**

Комплексна оцінка екологічної безпеки видобування титану відкритим способом на етапі післяпроектного моніторингу..... 22

**Аніщенко Л. Я., Пісня Л. А., Свердлов Б. С.**

Методичні засади післяпроектного моніторингу..... 28

**Барбашев С. В.**

Про впровадження технології малих модульних реакторів в Україні: проблеми, у т.ч. екологічні, та шляхи їх вирішення..... 34

**Белоконь К. В., Ситий В. Л., Гордієнко Д. Р.**

Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя у довоєнний та воєнний періоди..... 42

**Бондар Ю. В.**

Сучасні сорбційні матеріали для очищення рідких радіоактивних відходів від радіонуклідів цезію..... 46

**Борисенко О. М., Логвінков С. М., Шабанова Г. М., Іщенко А. М.**

**Ареф`єв В. О.**

Підвищення екологічності оберткових цементних печей за рахунок використання периклазошпінельних вогнетривів..... 54

**Борисенко О. М.<sup>1</sup>**; д-р. техн. наук, доц.,

**Логвінков С. М.<sup>2</sup>**; д-р. техн. наук, старш. наук. співр,

**Шабанова Г. М.<sup>1</sup>**; д-р. техн. наук, проф.,

**Іщенко А. М.<sup>1</sup>**;

**Ареф`єв В. О.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна*

<sup>2</sup>*Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, м. Харків, Україна*

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ОБЕРТОВИХ ЦЕМЕНТНИХ ПЕЧЕЙ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ПЕРИКЛАЗОШПІНЕЛЬНИХ ВОГНЕТРИВІВ**

Цемент – один з найбільш використовуваних будівельних матеріалів в світі, знаходячи своє застосування у виробництві бетону, залізобетону, будівельних розчинів, а також в азбестоцементній, нафтовидобувній та інших галузях промисловості.

Технологічний процес виробництва портландцементу включає такі основні операції: видобуток сировинних матеріалів; приготування сировинної суміші, а саме дроблення сировини, тонкий помел, усереднення та коригування сировинної суміші; випал сировинної суміші та отримання клінкеру; помел клінкеру з добавками та отримання цементу. Залежно від виду підготовки сировини до випалу розрізняють – мокрий, сухий, напівсухий та комбінований способи виробництва цементного клінкеру. Кожен із способів має свої переваги та недоліки. Але найбільш економічним варіантом, що не потребує додаткових витрат енергії на видалення зайвої води з шихти, – є виробництво цементу за сухим способом.

У ряді країн Західної Європи та Японії через велику витрату палива мокрий спосіб повністю відсутній – 100 % цементу випускається за сухим способом. У Канаді та багатьох країнах превалює сухий спосіб за яким працюють 60 – 80 % заводів. У країнах СНД лише близько 15 % загального обсягу випуску цементу здійснюється за сухим способом, а решта – за мокрим.

Станом на 2015 рік, за даними Асоціації виробників цементу України, в країні переважала застаріла технологія виробництва, а саме за мокрим способом [1]. Поступово українські виробники модернізують свої виробництва. Саме перехід на

виробництво за сухим способом є першочерговим пріоритетом, що дозволяє досягти економії енергетичних і грошових ресурсів, знизити рівень негативного впливу на навколишнє середовище, а також уповільнити темпи зростання матеріаломісткості виробництва [2].

Найважливішим процесом у технології виробництва цементу є випалювання сировинної суміші та отримання клінкеру. У процесі випалу в сировинній шихті відбувається ряд фізичних і фізико-хімічних перетворень, в результаті яких утворюється клінкер, що представляє собою гранули діаметром 1 – 3 см. Мінералогічний склад клінкеру докорінно відрізняється від мінералогічного складу вихідних сировинних матеріалів, що обумовлює придбання абсолютно нових, заданих властивостей. У процесі випалювання сировинної шихти відбувається хімічна взаємодія основного оксиду  $\text{CaO}$  із кислотними оксидами – спочатку реакції взаємодії відбуваються у твердій фазі, потім під час підвищення температури випалу з'являється рідка фаза і утворення більшої частини клінкерних мінералів відбувається через рідкофазні реакції [3]. Тобто випал цементного клінкеру є одним з основних етапів виробництва, також цей процес – найбільш енергоємний [4].

Сьогодні цементна промисловість стикається з низкою проблем – це висока потреба виробництва в енергії, постійне зростання цін на паливо і негативний вплив на навколишнє середовище [4 – 8].

Для вирішення цих проблем дослідники працюють над оптимізацією процесу виробництва цементу і основна частина робіт спрямована на стадію випалу. Синтез цементного клінкеру відбувається всередині обертової печі і включає складні фізичні (фазові перетворення) та хімічні (ендотермічні і екзотермічні реакції) процеси.

Обертові печі є основними споживачами палива та мають низький тепловий коефіцієнт корисної дії, який в Україні не перевищує 55 – 60 %, тому завдання підвищення ефективності роботи таких агрегатів є надзвичайно актуальним, оскільки збільшення термічного опору футерівки навіть на кілька відсотків дає значний економічний ефект [9 – 11].

Вогнетривкі матеріали для футерівки обертової печі випалу цементного клінкеру повинні мати високу корозійну стійкість до дії агресивного середовища печей поряд з високими якісними показниками, що у свою чергу знизить витрати енергоресурсів за рахунок збільшення часу експлуатації обертової печі, тобто зменшення енергозатрат на холостий хід під час запуску печі та під час зупинки печі на ремонт.

Для футерівки зон випалу обертових цементних печей досить тривалий час використовували периклазохромітові матеріали, завдяки їх високим термомеханічним

властивостям, високій термостійкості та здатності легко формувати захисне покриття-гарнісаж на поверхні вогнетриву. Але головним недоліком їх використання є утворення шестивалентного хрому  $\text{Cr}^{6+}$  у окисному середовищі в присутності лугів, який з вогнетриву потрапляє в цементний клінкер, а потім в цемент викликаючи ризик для здоров'я людини під час контакту з таким цементом. Саме обмеження використання периклазохромітових вогнетривів стало рушійною силою для науковців щодо розробки нового екологічного матеріалу з подібними або кращими властивостями.

Останні роки на заміну периклазохромітовим матеріалам прийшли периклазошпінельні матеріали, які мають низький коефіцієнт термічного розширення виробів, високу стійкість до термомеханічних напружень, високу стійкість до корозії і змін пічної атмосфери. Сучасні дослідження направлені на вдосконалення технології периклазошпінельних матеріалів, основною метою яких є підвищення строку експлуатації обертових цементних печей, за рахунок підвищенням термо- та корозійної стійкості нових матеріалів. Теплоізоляційні властивості футерівки є критерієм її зносу, тому надійність та довговічність перш за все необхідно розглядати з точки зору правильності підбору хіміко-мінерального складу вогнетриву, що дає змогу керувати не тільки фазовим складом та структурою матеріалу, але й прогнозувати необхідні експлуатаційні характеристики. Основними компонентами периклазошпінельних матеріалів є периклаз та шпінель, також для корегування фазового складу та експлуатаційних характеристик до складу шихти вводять різні добавки.

Для підвищення експлуатаційних характеристик периклазошпінельних вогнетривів авторами [12 – 16] визначено основні положення концепції підвищення термостійкості периклазошпінельних матеріалів, які включають як відомі механізми поглинання надлишку енергії тріщинами, що розвивається в результаті термоудару (зокрема, ефект гетерофазності та створення мікротріщинуватої структури за рахунок відмінності ТКЛР різних фаз), так і нові механізми структурно-фазової адаптації зі збереженням цілісності периклазошпінельних вогнетривів під час експлуатації, що виникає за рахунок введення попередньо отриманих модифікаторів.

Використання розроблених периклазошпінельних вогнетривів дає економію: електроенергії до 15 %; скорочення матеріальних затрат за рахунок збільшення строку служби елементів футерівки; за рахунок скорочення ресурсів на технічне обслуговування та збільшення міжремонтних сесій.

## Література

1. Укрцемент (Офіційний сайт). URL: <http://ukrcement.com.ua/> (дата звернення: 01.07.2023).
2. Демченко К. В. Сутність та необхідність екологічної модернізації виробництва в Україні. *Економічний аналіз*. 2018. Т. 28, № 2. С. 133–144.
3. Таймасов Б. Т. Технология производства цемента. Шымкент, 2003. 297 с.
4. Atmaca A., Yumrutas R. Analysis of the parameters affecting energy consumption of a rotary kiln in cement industry. *Applied Thermal Engineering*. 2014. Vol. 66, No 1–2. P. 435–444. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014>.
5. Mujumdar K. S., Ganesh K. V., Kulkarni S. B., Ranade V. V. Rotary Cement Kiln Simulator (RoCKS): Integrated modeling of pre-heater, calciner, kiln and clinker cooler. *Chemical Engineering Science*. 2007. Vol. 62, No 9. P. 2590–2607. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.ces.2007.01.063>.
6. Mokrzycki E., Uliasz-Bochenczyk A., Sarna M. Use of alternative fuels in the Polish cement industry. *Applied Energy*. 2003. Vol. 74. P. 101–111. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1038.5980&rep=rep1&type=pdf> (Last accessed: 01.08.2023).
7. Oss H. G., Padovani A. C. Cement Manufacture and the Environment: Part I: Chemistry and Technology. *Journal of Industrial Ecology*. 2002. Vol. 6, No 1. P. 89–105. DOI:<https://doi.org/10.1162/108819802320971650>.
8. Oss H. G., Padovani, A. C. Cement Manufacture and the Environment Part II: Environmental Challenges and Opportunities. *Journal of Industrial Ecology*. 2003. Vol. 7, No 1. P. 93–126. DOI:<https://doi.org/10.1162/108819803766729212>.
9. Щербина В. Ю. Розвиток теорії та удосконалення технологічних процесів при виробництві будівельних матеріалів у високотемпературних агрегатах : дис. ... д-ра техн. наук : 05.17.08. Київ, 2017. 398 с.
10. Щербина В. Ю., Швачно Д. Г. Підвищення енергоефективності обертових теплових агрегатів. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2018. Т. 29, № 68. С. 68–72.
11. Shvachko D. G., Shcherbina V. Yu., Borshchik S.A. thermal protection insulation in the lining of the rotary kilns. *Modern engineering and innovative technologies*. 2021. Issue 16, part 1. P. 18–23. DOI:<https://doi.org/10.30890/2567-5273.2021-16-01-033>.
12. Борисенко О. М., Логвінков С. М., Шабанова Г. М., Остапенко І. А., Гапонова О. О. Периклазошпінельні вогнетриви модифіковані TiO<sub>2</sub>. *Вісник Національного технічного*

університету «ХПІ». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. 2021. № 2 (6). С. 9–14. DOI:<https://doi.org/10.20998/2079-0821.2021.02.02>.

13. Борисенко О. М., Логвінков С. М., Шабанова Г. М., Корогодська А. М., Остапенко І. А. Розрахунки та аналіз температур та складів евтектик полікомпонентних перетинів системи  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO-TiO}_2$ . *Наукові дослідження з вогнетривів та технічної кераміки. Збірник наукових праць*. 2021. № 121. С. 113–120. DOI:<https://doi.org/10.35857/2663-3566.121.12>.

14. Logvinkov S. M., Ostapenko I. A., Borisenko O. N., Skorodumova O. B., Ivashura A. A. Prediction of Melting Paths of Wollastonite Containing Compositions. *China's Refractories*. 2020. Vol. 29, No 3. P. 13–18. DOI:<https://doi.org/10.19691/j.cnki.1004-4493.2020.03.0032020>.

15. Borisenko O., Logvinkov S., Shabanova G., Mirgorod O. Thermodynamics of Solid-Phase Exchange Reactions Limiting the Subsolidus Structure of the System  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO-TiO}_2$ . *Materials Science Forum Submitted*. 2021. Vol. 1038. P. 177–184. DOI:<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.177>.

16. Borysenko O., Logvinkov S., Shabanova G., Pitak Y., Ivashura A., Ostapenko I. Subsolidus structure of the  $\text{MgO - Al}_2\text{O}_3 - \text{FeO} - \text{TiO}_2$  system. *Chemistry & Chemical Technology*. 2022. Vol. 16, No 3. P. 367–376. DOI:<https://doi.org/10.23939/chcht16.03.367>.