

# НАУКА – ПРОИЗВОДСТВУ

УДК 658.567.1:628.474:502.174

Саницький М.А., доктор техн. наук, професор;

Хруник С.Я., молодший науковий співробітник, Національний університет "Львівська політехніка",

Інститут будівництва та інженерії доквілля;

Чернер К., почесний доктор, директор ПП "СЦ-Сервіс-Центр Стрий", м. Львів

## ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СПІВСПАЛЮВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА В ОБЕРТОВИХ ЦЕМЕНТНИХ ПЕЧАХ



*Лауреат Державної премії, доктор технічних наук, професор Саницький М.А.*

Цементна промисловість посідає стратегічне місце у цивілізаційному розвитку суспільства. Процес виробництва цементу є високоенергоємним, загальна частка енергозатрат у процесі виробництва цементу сягає близько 30–40% собівартості готового продукту. Споживання теплової енергії на випал клінкеру становить близько 3,2 ГДж/т за сухим способом (110 кг умовного палива/т), тоді як довгі печі мокрому способу затрачують 6,5 ГДж/т клінкеру (220 кг умовного палива/т). На сьогодні зменшення використання вичерпних природних палив і сировини та зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферу є основною задачею екологічної безпеки цементного виробництва. При цьому цементна промисловість здатна сприяти вирішенню питань комплексної утилізації відходів шляхом часткової заміни викопного палива альтернативним на основі горючих відходів, а також використання відходів як вторинної мінеральної сировини або додатків до цементу. У зв'язку з цим актуальними є питання екологічної безпеки диверсифікації енергоресурсів у цементній промисловості шляхом співспалювання поряд з природним паливом (газ, вугілля) альтернативного палива на основі горючих відходів та залучення цементних печей до термічної утилізації широкого спектру горючих відходів.

На відміну від газу використання вугілля передбачає попередню доставку, складування, підготовку (розмелювання), системи транспортування і подачі у піч. Калорійність вугілля становить близько 18–26 МДж/кг. При сучасному виробництві портландцементного клінкеру в Україні на рівні 12 млн т/рік потреба вугілля за умов повної заміни природно-

го газу складатиме близько 3,1–4,3 млн т/рік. Разом з тим, якість і калорійність вугілля Донецького і Львівсько-Волинського кам'яновугільних басейнів не достатньо стабільна (18–24 МДж/кг), вологість становить 13–17 мас.%, зольність – 13–23 мас.%, вміст легких компонентів – 18–19 мас.%, сірки – 2,5 мас.%, хлору – 0,1 мас.%. Вугілля Донбасу містить також значну кількість елементів-домішок (табл. 1) [1, 2].

Слід враховувати певні екологічні особливості використання вугілля. У процесі його спалювання збільшується кількість викидів пилу,  $SO_2$  і у деяких випадках ртуті. Сірчистість вугілля є високою і коливається, як правило, в межах 1...4 мас.% S, лише у 47% вугільних шахт Донбасу сірчистість вугілля <2,5 мас.% [3]. Вугілля Донбасу також характеризується дещо підвищеним вмістом ртуті – від 0,08 до 8,5 г/т вугілля (в середньому 0,7 г/т) [4]. При температурі горіння вугілля ртуть перебуває виключно у вигляді парів елементарної ртуті. За результатами досліджень [5], використання вугілля при випалі портландцементного клінкеру зумовлює викиди ртуті в атмосферу від цементної промисловості у кількості приблизно 10% глобальної емісії.

З метою зменшення негативного впливу цементної промисловості на довкілля і одночасного скорочення використання викопного палива у світовій практиці цементної промисловості використовується поряд з традиційним паливом (природний газ, вугілля, мазут) широкий спектр альтернативного палива на основі відходів. У цементних печах можна співспалювати [6]: зношені шини; тваринні рештки (останки), кісткову муку і жири; пластмаси; тирсу, деревину; папір, картон і відходи пакування; осади (стічних вод і паперового волокна); сільськогосподарські та органічні відходи; вугільний шлам; залишки дистиляції; відпрацьовані мастила і шлами нафтопереробки; відпрацьовані розчинники та ін. При цьому основним завданням цементного виробництва залишається продукція високоякісного цементу.

Використання зношених автомобільних шин як палива в цементних печах поширене у США, де за підрахунками Американської асоціації виробників гуми у 2004 році у такий спосіб утилізовано 53 млн шин (41%). В Європі і в Японії також використовують зношені автомобільні шини при випалі портландцементного клінкеру. Використання шин у цементних печах як альтернативного палива є економічно вигідним, оскільки їх можна подавати у цементну піч цілими без подрібнення та видалення металевого корду, чого вимагають інші промислові переробні установки [7]. Дослідження показують, що при спалюванні шин виділяється стільки ж енергії, як і при спалюванні мазуту і на 25% енергії більше, ніж при спалюванні вугілля. До того ж зола, що

утворюється після згорання шин, може містити менше важких металів, ніж деякі види вугілля, а металевий корд – замінити частину заліза, необхідного сировинного компонента при випалі клінкеру. Покладаючись на 15-річний досвід використання шин як палива на понад 80 об'єктах, Агентство з охорони довкілля США (EPA – Environment Protection Agency) встановило, що термічна утилізація зношених автомобільних шин є повноцінною альтернативою викопному паливу.

В країнах Євросоюзу проведена значна кількість досліджень, що стосуються переробки різних груп відходів в альтернативне паливо. Директива 99/31/ЄС Європейського Парламенту та Ради про захоронення відходів визначає відходи, які не підлягають захороненню, наприклад, рідкі, легкозаймисті, вибухові, відходи з лікарень та інші інфіковані відходи, зношені шини тощо. Згідно цієї Директиви та Директиви 2008/98/ЄС про відходи вважається недоцільним складувати на полігонах відходи, калорійність яких перевищує 6 МДж/кг (мінімальна калорійність твердих побутових відходів), оскільки їх краще використовувати як компоненти альтернативного палива [8]. Тому виникає потреба у пошуку методів повторного використання відходів (вилучення цінної сировини, рециркуляція, термічна утилізація тощо). Застосування горючих відходів як альтернативного палива при випалі портландцементного клінкеру дає змогу повністю використати їх енергетичний і матеріальний потенціал. Згідно даних товариства «Польський цемент» у 2009 році частка тепла, одержаного з альтернативних палив у цементній промисловості, сягнула 36%, а ще 10 років тому становила всього 1,2% [9]. Згідно [10] на усіх цементних заводах-членах Сembureau в Європі замінюється близько 27% енергії природного палива альтернативним на основі горючих відходів.

В умовах глобальної світової енергетичної кризи та постійного підвищення цін імпортованих в Україну природного газу та нафти, використання енергетичного потенціалу численних горючих відходів має стратегічне значення для промислового сектору економіки країни, зокрема для високоенергоємної цементної промисловості.

Згідно зі статистичними даними [11], в Україні щорічно утворюється приблизно 285 млн т вторинної сировини і відходів виробництва. Частка горючих відходів складає близько 10% – це в основному тверді побутові відходи та відходи деревини, кількість яких щорічно зростає. Найбільш перспективними для отримання цінної горючої вторинної сировини є тверді побутові відходи, повторне використання яких на сьогодні – менше 5%. Значна частина (близько 20 мас.%) твердих побутових відходів – це горючі відходи: полімерні матеріали (7,9 мас.%), папір і картон (5,9 мас.%), текстиль (2,9 мас.%), шкіра і гума (1,4 мас.%), дерево (1,1 мас.%), які можна використовувати при виробництві твердого альтернативного палива для цементної промисловості. Матеріальна переробка (рециклінг) пластикових відходів вимагає великих фінансових капіталовкладень, а залишки, що утворюються після багаторазового використання сировини (так званий рециркулянт), характеризуються поганою якістю і для них важко знайти раціональне застосу-

вання. Винятком є упаковки, які найчастіше використовують у харчовій та хімічній промисловості у формі пляшок з поліетилентерфталату (ПЕТ), частка яких у процесі рециклінгу є найбільшою. Решта пластикових відходів, зазвичай великого об'єму, потрапляє безпосередньо на сміттєзвалища через ускладнену ідентифікацію таких відходів і їх забрудненість. На сьогодні в Україну ввозиться понад 10 тис. т ПЕТ грануляту в місяць [12]. Основна маса цього матеріалу у вигляді пляшок потрапляє на прилавки магазинів, а з часом стає відходами. Сумарні потужності України з переробки ПЕТ відходів на сьогодні складають максимум 1 тис. т в місяць. Решта осідає на полігонах і сміттєзвалищах, вздовж доріг, на полях, в лісах, річках, озерах тощо. Калорійність більшості пластикових відходів (20–35 МДж/кг залежно від виду) набагато вища, ніж калорійність макулатури (13 МДж/кг сухої речовини) чи гірших сортів вугілля. За відсутності можливості матеріальної переробки пластикові відходи доцільно термічно утилізувати як альтернативне паливо шляхом співспалювання в обертових цементних печах.

Серед альтернативних палив, доступних сьогодні на ринку України і придатних для спалювання в обертових цементних печах, основне місце займають зношені автомобільні шини та тверде альтернативне паливо на основі подрібнених горючих промислових і комунальних відходів. Оскільки цементні заводи чітко регламентують вміст окремих хімічних елементів у складі альтернативного палива з відходів задля забезпечення незмінності якості отриманого з їх застосуванням портландцементного клінкеру, заміна частки природного палива альтернативним на основі відходів підвищуватиме екологічну безпечність цементного виробництва.

Обертові цементні печі (рис. 1) мають значні переваги (порівняно з заводами для спалювання відходів): забезпечується стала висока температура спалювання (температура матеріалу досягає 1450°C, а газів – до

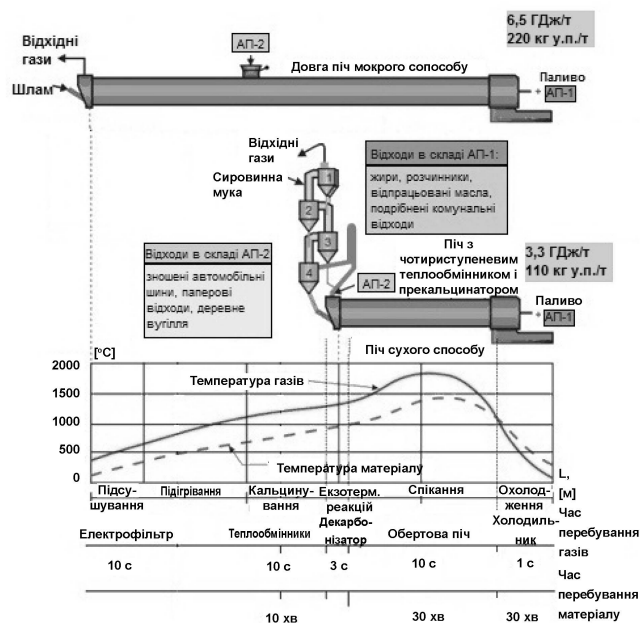


Рис. 1. Типові цементні печі, місця подачі альтернативного палива, температурні криві та час перебування газів і матеріалу у печах

2000°C) і тривалий час перебування матеріалу при таких умовах (5–7 с); усі органічні забруднювачі, внесені разом з паливом, руйнуються; важкі метали (крім ртуті, кадмію, талію) і тверді залишки (зола) з відходів входять у структуру клінкерних мінералів; сировина та утворювані гази рухаються у зустрічному напрямку, виникають турбулентні рухи газів, що призводить до ретельного перемішування. Такі умови є необхідними для одержання клінкеру високої якості. При цьому газоподібні продукти згорання залишаються протягом 7–10 секунд при температурі понад 1200°C [13]. Тому у процесі випалу в цементних печах створюється можливість безпечно і без одержання побічних продуктів спалювати практично всі види горючих відходів у значних обсягах. Згідно рекомендацій [14] частка громіздкого палива повинна не перевищувати 15–35% від загальної кількості теплової енергії палива, що надходить у піч, решту альтернативного палива, подрібненого до розмірів  $\leq 10 \times 10 \times 10$  мм можна подавати через багатоканальний палик.

У процесі заміни частки викопного палива альтернативним на основі відходів слід дотримуватися жорстких екологічних вимог. Кожна країна встановлює нормативи викидів забруднюючих речовин і граничних значень промислових емісій, виходячи з їх економічного та індустріального розвитку. В країнах ЄС такі нормативи визначає Директива 2000/76/ЄС від 4.12.2000 [15], а в Україні – Наказ МОНПС України № 23 від 20.01.2009

Таблиця 1

**Значення ГДК забруднюючих речовин у викидах при співспалюванні відходів**

| Забруднююча речовина                      | Директива 2000/76/ЄС               | Наказ МОНПС України №23                 |                      |
|---|------------------------------------|---|----------------------|
|   |                                    | Цементні печі                           |                      |
|   |                                    | існуючі                                 | нові                 |
| мг/м <sup>3</sup>                         |                                    |   |                      |
| Пил                                       | 30                                 | 30/50 <sup>3</sup> /104                 | 30                   |
| SO <sub>2</sub>                           | 50                                 | 50                                      | 50                   |
| NO  | 500 <sup>1</sup> /800 <sup>2</sup> | 800/1200 <sup>3</sup> /400 <sup>4</sup> | 500/200 <sup>4</sup> |
| CO  | 50                                 | 504                                     | - <sup>5</sup>       |
| HCl                                       | 10                                 | 30                                      | 10                   |
| HF  | 1                                  | 5                                       | 1                    |
| ΣC <sub>орг</sub>                         | 10                                 | - <sup>5</sup>                          | 10                   |
| Hg  | 0,05                               | 0,2                                     | 0,05                 |
| Cd + Tl                                   | 0,05                               | 0,2                                     | 0,05                 |
| Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V | 0,5                                | 5                                       | 0,5                  |
| ПХДД/ПХДФ, мг ТЕ/м <sup>3</sup>           | 0,1                                | - <sup>5</sup>                          | 0,1                  |

<sup>1</sup> для нових заводів;

<sup>2</sup> для існуючих заводів;

<sup>3</sup> до 01.01.2015 для обертових випалювальних печей у разі спільного спалювання в них з вугіллям чи природним газом попередньо оброблених відходів при застосуванні мокрого способу виробництва клінкеру або для обертових випалювальних печей, що спалюватимуть відходів не більше 3 тонн за годину;

<sup>4</sup> у разі використання на існуючих обертових випалювальних печах необроблених міських відходів;

<sup>5</sup> не регламентується.

«Про затвердження технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із устаткування (установок) для виробництва цементного клінкеру в обертових випалювальних печах, виробнича потужність яких перевищує 500 тонн на день» [16] (табл. 1).

Слід зазначити, що до 2015 року українські норми прирівнюються до Директиви 2000/76/ЄС, де передбачено також обов'язкове визначення вмісту поліхлорованих дібензо-р-діоксинів і дібензофуранів (ПХДД/ПХДФ) та сумарної кількості органічного вуглецю.

Цементна промисловість є значним емітентом CO<sub>2</sub>, близько 5% від загального обсягу викидів діоксиду карбону у світі припадає на цементну промисловість. Валова емісія CO<sub>2</sub> (з палива та сировини) становить 850–1350 кг CO<sub>2</sub> на тону клінкеру, залежно від способу виробництва. Основна частина викидів CO<sub>2</sub> пов'язана із декарбонізацією вапняку (62%) чи інших карбонатних сировинних матеріалів (531 кг CO<sub>2</sub> /т клінкеру), решта CO<sub>2</sub> утворюється у процесі спалювання палива (38%). Важливе значення для скорочення викидів парникових газів у цементній промисловості має заміна частки природних викопних палив альтернативними паливами на основі горючих відходів. Зменшення викидів CO<sub>2</sub> вимагають основні положення Кіотського протоколу до Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату. У 2005 році в країнах ЄС заміна природного палива альтернативним становила у середньому 18%, що дозволило заощадити 4 млн т вугілля і скоротити викиди CO<sub>2</sub> на 7,2 млн т на рік.

На рис. 2 показано, що при співспалюванні альтернативного палива на основі горючих відходів у процесі випалу портландцементного клінкеру зменшуються викиди парникових газів в атмосферу, які за інших умов утворилися б при складуванні відходів на сміттєзвалищах та при згоранні природного палива на заводі. Згідно [17] потенціал глобального потепління за рахунок парникового газу метану у 25 разів вищий, ніж від CO<sub>2</sub>.

Для встановлення кількості забруднюючих речовин, які надходять у обортову піч з паливом (вугілля, зношені автомобільні шини, тверде альтернативне паливо на основі подрібнених горючих відходів (ТП))

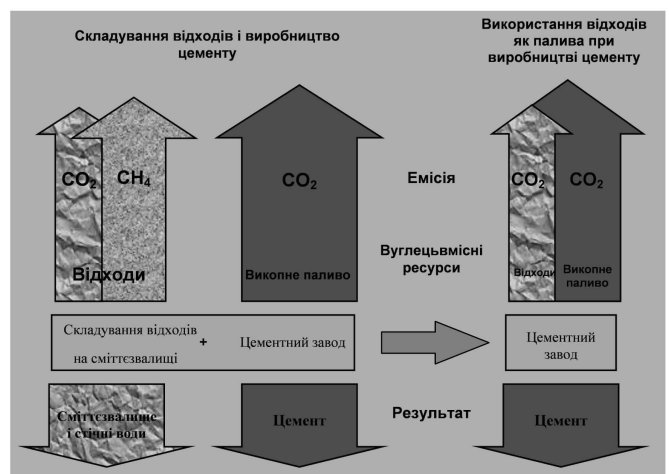


Рис. 2. Екологічний баланс викидів парникових газів при складуванні відходів на сміттєзвалищі та їх використанні як альтернативного палива на цементному заводі [9]

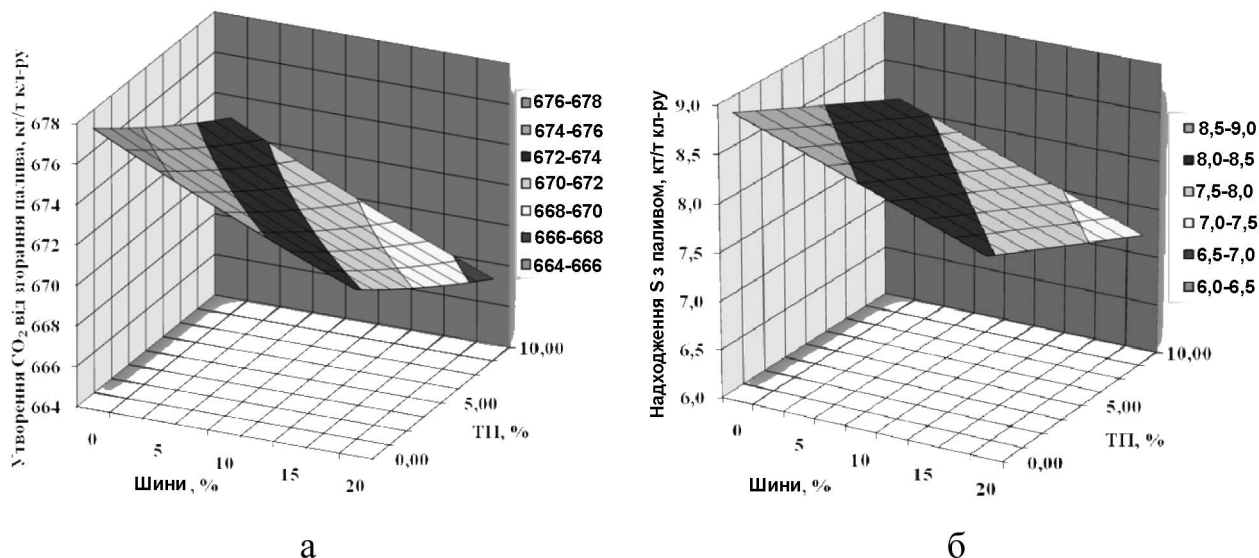


Рис. 3. Залежність кількості CO<sub>2</sub> (а) та сірки (б), що надходить з паливом у піч, від ступеню заміни вугілля альтернативними паливами при мокрому способі виробництва

на основі даних хімічного аналізу горючих відходів проведено математичне моделювання у відповідності з планом двофакторного тривірневого експерименту. Як змінні фактори вибрано ступінь заміни вугілля альтернативним паливом (зношені автомобільні шини – X<sub>1</sub>; тверде альтернативне паливо ТП – X<sub>2</sub>). Як видно з рис. 3, а, основна кількість CO<sub>2</sub> утворюється від спалювання вугілля, а при заміні його альтернативним паливом (20% шин і 10% ТП), кількість CO<sub>2</sub> скоротиться на 2%. За рахунок заміни 30% вугілля альтернативним паливом викиди CO<sub>2</sub> від невідновлюваного природного викопного палива зменшуються на 203 кг/т клінкеру (екологічний ефект).

Сірка при випалі клінкеру потрапляє у пічну систему з сировинними матеріалами та паливом. Залежно від родовища сировинні матеріали можуть містити сірку у вигляді сульфідів (пірити та марказити) та сульфатів. Згідно [17], в залежності від вмісту сірки сировину поділяють на малосірчисту – вміст SO<sub>3</sub> < 0,3%; нормальну – вміст SO<sub>3</sub> 0,3–0,8%; високосірчисту – вміст SO<sub>3</sub> ≥ 0,8%. Вміст сірки у вугіллі – 0,5–2,5 мас.%, в зношених автомобільних шинах 1,0–1,7 мас.%, у твердому альтернативному паливі на основі подрібнених горючих відходів (ТП) – 0,1–0,2 мас.%. Як видно з рис. 3, б, при заміні тепла одержаного від спалювання вугілля альтернативним паливом (20% шин і 10% ТП) у піч надходить 7,2 кг S/т клінкеру, тобто на 19,6% менше у порівнянні з використанням тільки вугілля (8,95 кг S/т клінкеру).

Викиди металів та їх сполук становлять три класи: легкі метали (ртуть, талій), напівлегкі метали (стибій, кадмій, свинець, селен, цинк, калій і натрій) і нелегкі тугоплавкі метали (барій, хром, нікель, ванадій, марганець, мідь, срібло і напівметал миш'як). Встановлено, що на розділення цих груп металів впливають робочі режими печі, при цьому тугоплавкі нелегкі метали концентруються при спіканні в портландцементному клінкері, а легкі і напівлегкі метали потрапляють у первинні викиди і викиди байпасів відповідно. Контроль вмісту цих хімічних елементів у сировині і в паливі є

важливою запорукою одержання високоякісного безпечного цементу, адже навіть незначні концентрації елементів-домішок у клінкері можуть значно змінити якісні параметри портландцементу. В табл. 2 наведено результати хімічного аналізу вмісту деяких хімічних елементів у паливі, їх кількість, яка надходить з паливом у піч та у викиди при заміні вугілля альтернативним паливом (20% шин і 10% ТП). Розрахунки проводили для типової обертової печі 4x150 м мокрому способу виробництва, продуктивністю 34 т/год портландцементного клінкеру, об'єм відхідних газів – 350000 м<sup>3</sup>/год або 10294 м<sup>3</sup>/т клінкеру.

З табл. 2 видно, щорозрахункові значення емісії

Таблиця 2

**Розрахунок кількості окремих хімічних елементів, що надходять в обертову піч при заміні частки вугілля альтернативним паливом**

| Вміст    | Паливо  |        |      | Надходить з паливом, г/т клінкеру | Емісія, мг/м <sup>3</sup> |
|----------|---------|--------|------|-----------------------------------|---------------------------|
|          | Вугілля | Шини   | ТП   |                                   |                           |
| Hg, г/т  | 0,70    | 0,13   | 0,00 | 0,2                               | <0,02                     |
| Cd, г/т  | 1,00    | 0,30   | 0,03 | 0,2                               | 0,02                      |
| Pb, г/т  | 13,00   | 24,00  | 8,00 | 6,0                               | 0,59                      |
| Zn, кг/т | 0,05    | 10,00  | 0,01 | 528,0                             | 51,31*                    |
| Cu, г/т  | 30,00   | 200,00 | 4,00 | 18,0                              | 1,74*                     |

\* відбувається перехід частки металів у тверду фазу, тому емісія буде нижчою

ртуті і кадмію не перевищують нормативних значень викидів (див. табл. 1). Приблизно 33% міді при згоранні палива переходить у газову фазу [2], тому емісія  $\text{Cu}$  становитиме близько  $0,57 \text{ мг/м}^3$ . Зважаючи на те, що сумарні викиди  $\text{Sb}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{V}$  від існуючих заводів не повинні перевищувати  $5 \text{ мг/м}^3$ , розрахункові значення емісії і свинцю, і міді  $<0,6 \text{ мг/м}^3$ , що не перевищує вимог. Зола від спалювання зношених автомобільних шин містить ортосилікат цинку (віллеміт,  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4$ ). Згідно [18], частина іонів  $\text{Zn}^{2+}$  може заміщувати іонів  $\text{Ca}^{2+}$  в кристалічній ґратці цементних мінералів з утворенням твердих розчинів алюмоферитів кальцію в процесі мінералоутворення при випалі портландцементного клінкеру. Максимальний вміст  $\text{ZnO}$  у клінкері – 1 мас.%, при заміні частки вугілля альтернативним паливом (20% шин і 10% ТП у пічну систему надходить  $<0,06 \text{ кг/т}$  клінкеру цинку (вміст  $\text{ZnO}$  у клінкері від спалювання становимть  $<0,1$  мас. %).

Широке використання альтернативного палива на основі горючих відходів в Україні проводиться на цементних заводах ВАТ „Миколаївцемент”, ВАТ “Івано-Франківськцемент”, ВАТ “Дніпроцемент”, ВАТ “Кривий Ріг Цемент” та ін. На ВАТ «Миколаївцемент» введена установка для подачі зношених шин в зону декарбонізації ( $T_{\text{газового потоку}} = 1100^\circ\text{C}$ ) обертової цементної печі № 4 (4x150 м) мокрому способу виробництва портландцементного клінкеру (максимальна продуктивність системи 2000 кг/год, що відповідає 24% заміни природного палива). Відповідно до умов роботи обертової печі експериментальними дослідженнями підібрано кількість альтернативного палива для заміни вугілля з метою забезпечення нормального протікання технологічного процесу випалу портландцементного клінкеру. При введенні зношених шин у кількості 600 кг/год коефіцієнт заміни вугілля даним видом нетрадиційного палива у 2009 р. складав 2,7%. За період 2008–2010 рр. загальна кількість використаного палива на основі зношених автомобільних шин складала понад 7,5 тис. т ПП “СЦ-Сервіс-Центр Стрий” є виробником альтернативного палива на основі горючих відходів, що застосовуються на ВАТ “Миколаївцемент” при випалі портландцементного клінкеру в обертових цементних печах [19].

Таким чином, заміна природного газу вугіллям є стратегічним кроком для української цементної промисловості на шляху диверсифікації джерел енергоресурсів та зниження собівартості готового цементу. Водночас співспалювання поряд з вугіллям горючих відходів як альтернативного палива вирішує низку завдань екологічної безпеки термічної утилізації відходів та цементного виробництва в цілому, а також веде до зменшення споживання невідновних викопних палив, зниження техногенного навантаження відходів на довкілля, скорочення викидів парникових газів та інших забруднюючих речовин.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Шубин Ю.П. Полезные элементы-примеси в углях Донбасса разных марок // Наукові праці УкрНДМІ НАН України, 2008. – № 2. – С. 192–198.

2. Юдович Я. Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 654 с.

3. Саранчук В. Стан вуглехімії в Україні // Донецьк. вісн. НТШ. – Т. 3. – Донецьк, 2003. – 136 с.

4. Панов Б.С., Сахно С.В. Про проблеми екології у зв'язку з ртутносностю вугілля Донбасу // Эл.журнал «Проблеми екології». – № 1–2. – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – С. 145–150.

5. Pacyna J.M. and E.G. Pacyna. Anthropogenic sources and global inventory of mercury emissions. In: Mercury: Sources, Measurements, Cycles, and Effects. M.B. Parsons and J.B. Percival (eds.) / Mineralogical Association of Canada, Short Course Series. – Volume No. 32. – Halifax, Canada. – 2005.

6. Guidelines on co-processing waste materials in cement production. Final draft. / L. Timberlake edit, May 2005. – 78 p.

7. Global industrial energy review / Global Fuels Magazine. February 2007. – P. 11–19.

8. Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste // OJ, 1999. – L 182. – P. 1–19.

9. Wspolspalanie paliw alternatywnych w przemyśle cementowym - zrownowazony rozwoj. Stowarzyszenie Producentów Cementu i Wapna // Wyd. Polski Cement, Krakow, 2007. – 30 s.

10. Activity Report. – Brussels: CEMBUREAU – The European Cement Association. – 2005. – 38 p.

11. Статистичний щорічник України за 2009 рік [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.ukrstat.gov.ua/>

12. Переробка відходів ПЕТ [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.galpet.com.ua/uk/pererabotka-othodov-pet>

13. Використання альтернативного палива в цементній промисловості / М.А. Саницький, Т.Є. Марків, С.Я. Хруник, Т. М. Круць, К. Рецько // Теорія і практика будівництва. Вісник НУ “Львівська політехніка” – 2007. – № 600. – С. 258–264.

14. Best Available Techniques For The Cement Industry. – Brussels: CEMBUREAU – The European Cement Association. – 1999. – P. 204–212.

15. Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste // OJ, 2000. – L 332. – P. 1–72.

16. Наказ МОНПС України № 23 від 20.01.2009 «Про затвердження технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із устаткування (установок) для виробництва цементного клінкеру в обертових випалювальних печах, виробничу потужність яких перевищує 500 тонн на день», 2009. – ОВУ. - № 10. – 14 с.

17. Improved Attribution of Climate Forcing to Emissions / D. T. Shindell, G. Faluvegi, D. M. Koch, G. A. Schmidt, N. Unger, S. E. Bauer // Science, 2009. – 326 (5953) – P. 716–718.

18. Locher F.-W. Cement – principles of production and use. – Düsseldorf: Verlag Bau+Technic GmbH, 2006. – 536 p.

19. Енергетичне використання горючих відходів у цементній промисловості / М.А. Саницький, Т.Є. Марків, Ю.Л. Новицький, Т.М. Круць // Будівельні матеріали та вироби, 2008. – № 5. – С. 5– 8.