

**Висновки.** Застосування безгіпсового портландцементу з комплексними хімічними добавками дає змогу одержати високотехнологічні суміші для ремонтних робіт. Розроблена швидкотверднуча суміш на основі безгіпсового портландцементу характеризується підвищеною адгезійною міцністю зчеплення з бетонною основою у тонкому шарі навіть за дії змінних температур та вологи, доброю водоутримувальною і фіксувальною здатністю, задовільною технологією нанесення, а також високою міцністю на відрив.

1. Рунова Р.Ф., Косовський Ю.Л. *Технологія модифікованих будівельних розчинів: Підручник.* – К., 2007. 2. Каранузов Е.К., Лутц Т., Герольд Х., Толмачев Н.Г., Спектор Ю.П. *Сухие строительные смеси: Справочное пособие.* – К.: Техніка, 2000. 3. Sanitsky M., Sobol H., Shevchuk G. *High frost durability concrete based on rapid-hardening gypsum-free Portland cement compositions // 12 International workshop.* – Band 2. – Weimar (Germany), 1994. – P. 232–238. 4. Швидкотверднучі цементні системи для сухих будівельних сумішей / Х.С. Соболев, С.Ю. Терлила, А.С. Дрималик, О.Р. Позняк // *Вісник Національного університету „Львівська політехніка” „Теорія і практика будівництва”.* – 2005. – № 545. – С. 162–165. 5. Соболев Х.С., Петровська Н.І., Дрималик А.С. *Властивості безгіпсових портландцементів з органо-мінеральними добавками // Вісник Національного університету Львівська політехніка” “Хімія, технологія речовин та їх застосування”.* – 2003. – №488. – С. 269–273.

УДК 666.942

Т.М. Круць

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра автомобільних шляхів

## ЕНЕРГЕТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ПАЛИВНИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ЧАС ВИПАЛУ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛІНКЕРУ

© Круць Т.М., 2009

**Проведено дослідження способів введення різних видів альтернативного палива, які реалізуються на цементних заводах, для одержання портландцементного клінкеру.**

**Methods of introduction of different types of alternative fuel, which is being realized on cement factories for the receipt of clinker, have been investigated.**

**Постановка проблеми.** Висока енергоємність виробництва портландцементного клінкеру, а також постійне зростання цін на викопне паливо призводять до того, що енергетичне використання альтернативних палив з горючих промислових і комунальних відходів стає одним із головних напрямків діяльності цементної промисловості на шляху до підвищення ефективності виробництва. Значний інтерес цементної промисловості до горючих відходів зумовлений, з одного боку, прагненням до зниження вартості виробництва цементу, а з іншого, – потребою вирішення складної проблеми утилізації багатотоннажних відходів, які є загрозою для довкілля.

Для утилізації комунальних та промислових відходів найдоцільнішим є використання обертових цементних печей. У той самий час пріоритетним завданням цементного заводу є виробництво цементу високої якості. Це означає, що не усі відходи спалюють на цементних заводах. Альтернативні палива з відходів повинні мати властивості, які уможливають їх використання у цементних печах. До таких характеристик належать: фізичний стан, калорійність, хімічний склад, токсичність, кількість і хімічний склад золи, вологість, однорідність, можливість переробки і транспортування, густина.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Введення відходів у цементну піч не повинно викликати порушення її роботи чи негативно впливати на якість цементу. Для нормальної роботи цементної печі важливим також є правильний розрахунок кількості альтернативного палива, яке замінюватиме природне паливо, з огляду на його калорійність. Якщо калорійність палива є низькою, обмежувальним чинником його використання буде потреба утримування необхідної температури полум'я у зоні спікання. За вищої калорійності альтернативного палива (на рівні вугільного пилу) обмежувальним чинником може бути присутність в альтернативному паливі компонентів, що знижують якість цементного клінкеру (наприклад, важких металів) та погіршують споживчі властивості продукту [1].

Вимоги до альтернативних палив зумовлені специфікою виробництва і властивостями цементного клінкеру, а також економічними умовами використання під час виробництва. Якість палива характеризується насамперед його хімічним складом, зокрема вмістом слідів домішок хімічних елементів. Цементний клінкер, крім основних хімічних елементів, що утворюють клінкерні мінерали, містить у своєму складі багато елементів, які в паливі або сировині є забрудненнями. З огляду на процес випалу цементного клінкеру, найефективнішими є альтернативні палива з високою калорійністю, яка еквівалентна калорійності природних палив. Середня калорійність побутових відходів у Європі коливається у широких межах – 8–10 МДж/кг [2, 3]. Теплота згоряння залежить від вмісту горючої органічної речовини. У випадку, коли палива мають високу калорійність, немає жодних обмежень щодо способу їх введення у цементну піч. На практиці калорійність більшості палив є нижчою. За нижню межу калорійності альтернативного палива, за якої енергія палив ефективно використовується в процесі випалу клінкеру, вважається калорійність палива близько 10 МДж/кг. Калорійність палива узгоджується з постачальником і може коливатися у визначених вузьких межах. Спалювання палив меншої калорійності можливе, але вартість їх утилізації перевищує їх енергетичну цінність для цементних заводів.

Альтернативне паливо повинно поставлятися для спалювання у такому вигляді, який уможливив би його подачу у піч. У деяких технологіях для знешкодження відходів застосовується розсіювання матеріалу, а подрібненню піддається найкрупніша фракція. Це дає змогу знизити енергоємність цілого процесу знешкодження. Надто великий вміст дрібної фракції (0–10 мм), який містить золу та інші мінеральні складники, може значною мірою покращити паливні властивості відходів. Натомість складники більших розмірів (понад 100 мм) вимагають, як правило, подрібнення. Форма постачання альтернативного палива погоджується з цементним заводом [4].

У цементних печах, з огляду на технологічний процес випалу клінкеру, можна використовувати різні горючі відходи. Залежно від виду відходів і типу цементної печі можна приготувати відповідне альтернативне паливо, яке дасть змогу отримати економічний ефект і не спричинятиме підвищення загрози довкіллю. Висока температура в печі і можливість подавання альтернативного палива у різних місцях дає змогу спалювати фактично будь-яке паливо. Однак, беручи до уваги температурні умови, які необхідно забезпечити в цементній печі, щоб отримати якісний клінкер і необхідний економічний ефект від використання альтернативних палив, калорійність відходів повинна перевищувати 15 МДж/кг. Використання альтернативних палив з нижчою калорійністю викличе зменшення продуктивності печі, підвищення одиничного використання тепла, а також кількості викидних газів. Це не стосується відходів, які замінюють частково і сировину, і паливо, як, наприклад, відходи видобутку вугілля. У такому випадку мінімальна калорійність не обмежується технологічно, а її величина свідчить про додатковий економічний ефект. Ще одним важливим критерієм, який впливає на можливість використання різних видів альтернативного палива, є спосіб виробництва цементу (мокрый чи сухий спосіб) і конструкція печі [4].

Вибираючи вторинні матеріали для виробництва альтернативного палива, потрібно керуватися такими критеріями, як доступність (дешевизна, наявність у регіоні, де планується використання альтернативного палива, безперервність постачання), а також однорідність фізико-хімічних параметрів вторинних паливних матеріалів для виробництва альтернативного палива.

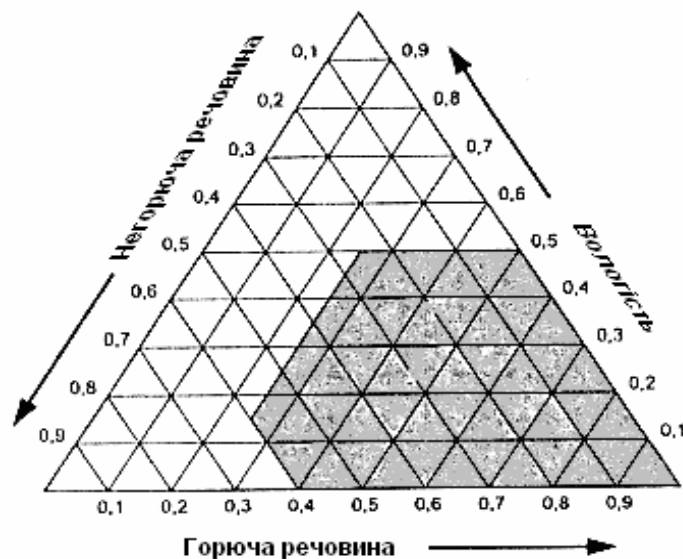
**Мета роботи** – дослідити основні параметри вторинних паливних матеріалів та способів введення різних видів альтернативного палива на процеси випалу портландцементного клінкеру в обертових цементних печах.

**Результати досліджень.** Найважливішою характеристикою усіх видів палива є їх калорійність. Оцінюючи придатність твердого палива, розглядають також теплоту згорання, вологість, вміст летких горючих часток, зольність, зернистість, самозаймистість і здатність підтримувати процес горіння.

У цементних печах як альтернативне паливо використовували такі відходи [4]: відпрацьовані шини, пластмаси, просочену тирсу, деревину, папір, картон і відходи пакування, відпрацьовані мастила і шлами нафтопереробки, відпрацьовані розчинники. У випадку, якщо калорійність відходів є занадто низькою, ефективним є додавання ініціюючого палива, яке підтримує процес горіння (легкопальних матеріалів, що добре підтримують процес займання чи горіння відходів). До таких відходів можна віднести відпрацьовані оливи, гумові відходи, відходи деревини тощо. Значний практичний інтерес являє також використання торфу як альтернативного палива. Калорійність торфу становить 11,7...12,4 МДж, зольність коливається в межах 18...19 мас.%. Разом з тим, за оптимізації суміші для альтернативного палива слід враховувати доволі високий вміст вологи у торфі на рівні 14...19 %.

Негорюча частина палива – зола впливає на процес випалу клінкеру, оскільки вона осідає на матеріал і змінює його хімічний склад. Зола від спалювання альтернативних видів палива може містити: 3...10 %  $Al_2O_3$ , 10...60 %  $SiO_2$ , 1...10 %  $Fe_2O_3$ , 5...10 %  $CaO$ , 0,5...4 %  $MgO$ , 5...30 %  $SO_3$ . Оскільки у складі неорганічної частини вторинних паливних матеріалів переважають  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , то під час потрапляння золи на портландцементний клінкер знижується його коефіцієнт насичення і підвищується силікатний модуль. Зола, яка утворюється після спалювання торфу, має інший хімічний склад, представлений переважно такими оксидами: 30 %  $SiO_2$ ; 9 %  $Al_2O_3$ , 7 %  $Fe_2O_3$ , 46 %  $CaO$ , 1 %  $MgO$ , 3 %  $SO_3$ , 0,6 %  $K_2O$ , 0,08 %  $TiO_2$ . Тому кількість золи необхідно враховувати під час розрахунку сировинної суміші для одержання клінкеру заданого складу. Застосування багатозольних палив може викликати утворення кілець в обертовій печі або погіршити якість клінкеру і цементу.

Значний практичний інтерес має поєднання таких видів альтернативного палива, як торф та тирса деревинна. Енергетичну характеристику альтернативного палива залежно від вологості та вмісту золи в трикутнику Таннера показано на рисунку.



Енергетична характеристика альтернативного палива (сіре поле – поверхня автотермічного горіння відходів)

Під час використання альтернативних видів палива сировинна суміш, крім чотирьох основних оксидів, завжди містить деяку кількість інших елементів, які вносяться із золою палива вторинних паливних матеріалів. Другорядні домішки можуть бути модифікаторами властивостей рідкої фази: збільшувати її кількість, швидкість реакції, впливати на кінетику розчинення CaO та C<sub>2</sub>S; модифікаторами структури клінкеру: поліпшувати гідравлічні властивості завдяки ізоморфним заміщенням у клінкерних мінералах або зміні швидкості росту кристалів; мінералізаторами реакцій у твердій фазі: збільшувати швидкість розкладання CaCO<sub>3</sub>, швидкість процесів твердофазної дифузії, утворювати проміжні сполуки.

Обертові цементні печі мають значні переваги порівняно з класичними обертовими печами для спалювання відходів: сировина та утворювані гази рухаються в різних напрямках, що призводить до ретельного перемішування; забезпечується стала висока температура спалювання (понад 1450 °C) і тривалий час перебування матеріалу в таких умовах (5–7 с); усі органічні забруднювачі, внесені разом з паливом, руйнуються; важкі метали і тверді залишки (зола) з відходів іммобілізуються у структуру клінкеру. Вторинні види палива можна використовувати як в основному пальнику обертової печі, так і у вторинному пальнику у декарбонізаторі сировинної муки. Враховуючи високі температури під час випалу клінкеру (близько 1450 °C), які потрібні з міркувань його якості, і необхідний надлишок кисню, головному пальнику забезпечуються ідеальні умови для спалювання альтернативних видів палива. У вторинному пальнику декарбонізатора, оскільки необхідні для декарбонізації температури не обов'язково повинні бути таким високими, можливо використовувати і низькокалорійні або кускові види палива.

На заводі сухого способу виробництва (ВАТ „Івано-Франківськцемент”) реалізуються такі основні способи подачі альтернативного палива:

1. Подача палива безпосередньо в зону спалювання разом із традиційним паливом або через додатковий пальник. У такий спосіб подають рідкі, пилюваті або тонко подрібнені альтернативні палива. Бажано, щоб такі палива були висококалорійними і не знижували температуру полум'я в печі. Такий спосіб подачі палив є найкращим, оскільки температура спалювання досягає 2000 °C. У такий спосіб потрібно спалювати палива, що містять термічностійкі органічні сполуки. Цей спосіб подачі альтернативного палива використовується в печах мокрого і сухого способів.

2. Подача палив з холодного кінця цементної печі. Паливо подають через спеціально збудовані і вмонтовані шибери. Такий метод подачі альтернативного палива широко використовують у пічних установках сухого способу, оснащених циклонними теплообмінниками. Температура газів в місці подачі палива в піч становить 1100–1200 °C, а температура випалюваного матеріалу – 830–850 °C. Паливо разом з сировинним матеріалом переміщується в бік вищих температур, згоряє і віддає тепло випалюваному матеріалу. У такий спосіб можна спалювати альтернативні палива незалежно від їхнього фізичного стану. Це можуть бути цілі зношені автомобільні шини, а також подрібнені палива насипом і в упакуваннях. Кількість палива, спалюваного у такий спосіб, є обмежена і залежить від вмісту кисню в газах, які циркулюють всередині цементної печі.

3. Подача палив до кальцинатора. Кальцинатор є додатковою камерою спалювання, яка на сучасних цементних заводах сухого способу розташована перед піччю за циклонним теплообмінником. До цієї камери подається додаткове повітря, тому процес спалювання в ній є незалежним від процесу спалювання в печі. Температура в кальцинаторі становить близько 1000–1100 °C. У кальцинатор можна подавати рідкі або подрібнені альтернативні палива у різній кількості.

4. Подача альтернативних палив у зону кальцинування. Цей спосіб подачі альтернативних палив використовують у довгих обертових печах мокрого способу. Палива подають через спеціальний шлюз (шибер), збудований на корпусі цементної печі на відстані однієї третьої її довжини від гарячого кінця. Паливо подають в упакуваннях, наприклад в невеликих пластикових

контейнерах. У такий спосіб подають тверде альтернативне паливо. У місці подачі температура газів всередині обертової печі становить 1200 – 1400 °С, а температура матеріалу – близько 800 °С. Кількість палива, спалюваного в такий спосіб, є обмежена і залежить від вмісту кисню в газах, які циркулюють всередині цементної печі.

Дослідженнями хіміко-мінералогічного складу портландцементних клінкерів, випалених з використанням різних видів альтернативного палива на основі промислових і комунальних відходів (зношених автомобільних шин, відходів целюлозно-паперового виробництва, тирси деревинної, а також торфу), встановлено, що випалюваний матеріал має відновне середовище і зв'язує кислі складники газів, наприклад SO<sub>2</sub>, що утворюються в процесі горіння, а сполуки, які при цьому виникають, входять до складу клінкеру; присадка золи палива істотно не впливає на процеси клінкероутворення в цементній печі, а важкі метали, які містяться в незначній кількості в продуктах згорання, іммобілізуються в структурі мінералів портландцементного клінкеру. При цьому забезпечуються необхідні фізико-механічні властивості портландцементів на основі клінкерів, одержаних з використанням альтернативного палива.

**Висновки.** Промислова реалізація широкомасштабного застосування альтернативних палив на основі промислових і комунальних відходів, а також нетрадиційних видів палива дає змогу створити в цементній промисловості прогресивні моделі раціонального використання природної сировини та палива, а також зменшити негативний вплив цементного виробництва на довкілля. Завдяки значній модернізації технології випалу портландцементного клінкеру через спалювання різного роду горючих відходів цементні заводи можуть відігравати істотну роль в редукції емісії CO<sub>2</sub>, оскільки під час утилізації відходів на сміттєспалювальних заводах їх енергетичний потенціал був би не використаний.

1. Кройчук Л.А. Использование горючих отходов в иностранной цементной промышленности / Цемент. – 1987. – № 6. – С. 18–19. 2. Енергетичне використання горючих відходів у цементній промисловості / М.А. Саницький, Т.Є. Марків, Ю.Л. Новицький, Т.М. Круць // Будівельні матеріали та виробу. – К., 2008. – С. 5–8. 3. Duda J. Udział Instytutu Mineralnych Materiałów Budowlanych w rozwoju procesów termicznej utylizacji odpadów w piecach cementowych / Cement Wapno Beton. – 2000. – № 4. – S. 131–135. 4. Współspalanie paliw alternatywnych w przemyśle cementowym – zrównoważony rozwój. – Kraków: Stowarzyszenie Producentów Cementu i Wapna., 2003. – S. 3–27. 5. Effects of secondary fuels on clinker mineralogy / R. Klaska, S. Baetzer, H. Moller, M. Paul, Th. Roppelt // Cement International. – 2003. – №4. – P. 88–98.