

ПОТЕНЦІАЛ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ У ЦЕМЕНТНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

У статті запропоновано новий метод визначення потенціалів енергозбереження на галузевому рівні. Розраховано потенціал енергозбереження в цементній промисловості України на перспективний період.

Ключові слова: цементна промисловість, клінкер, енергоресурси, потенціал енергозбереження

Питання визначення потенціалів енергозбереження на галузевому рівні у публікаціях вітчизняних та закордонних учених висвітлено недостатньо, проте саме воно має велике значення для оцінювання рівнів енергоспоживання та енергозбереження в галузях народного господарства на перспективний період. Однією з найбільш енергоємних галузей є цементна промисловість. Щороку в Україні вона споживає понад 3 млн т у. п. та 2 млрд кВт·год електроенергії. Одним із основних шляхів зменшення енергоємності є переведення цементних заводів з мокрого на сухий спосіб виробництва, який забезпечує економію енергоресурсів до 50 % [1].

Мета даного дослідження – запропонувати метод визначення потенціалу енергозбереження на галузевому рівні. Головним завданням є визначення методичних підходів для розрахунку потенціалів енергозбереження в цементній промисловості за умов переведення виробництва цементу з мокрого на сухий спосіб. Розрізняють поняття теоретичного, технічно можливого та економічно доцільного потенціалів енергозбереження виробництва [2]. *Теоретичний потенціал* визначається як різниця між теоретично можливим та досягнутим на даний час рівнями енергоефективності.

Технічно можливий потенціал визначається як різниця між рівнем енергоефективності, що досягається при використанні новітнього обладнання (існуючого у світі), та реальним рівнем, якого досягнуто на даний час (на даному виробництві в даному регіоні).

Економічно доцільний потенціал є різницею між обсягом енергоспоживання, що відповідає існуючому рівню енергоефективності, та обсягом енергоспоживання, що відповідає рівню енергоефективності після вживання низки

ефективних енергозберігаючих заходів на виробництві з урахуванням реальних термінів та обсягів їхнього впровадження.

Існує два підходи щодо оцінювання обсягів енергозбереження в галузі: перший – підсумовування економічно доцільних потенціалів для кожного з енергоємних та комплексу інших виробництв, другий – групування енергозберігаючих заходів за напрямками впровадження з подальшим оцінюванням енергоефективності та розрахунок обсягів енергозаощадження з урахуванням впровадження на підприємствах галузі. Технічно можливий потенціал енергозбереження розраховується за формулою:

$$P_{mex.n}^t = \sum_k (e_{факт_k} - e_{св_k}) V_k^t, \quad (1)$$

де $P_{mex.n}^t$ – обсяг технічно можливого потенціалу енергозбереження в t -й рік для n -ї галузі; $e_{факт_k}$ – енергоємність виробництва k -ї продукції за КВЕД (кг у. п./т продукції); $e_{св_k}$ – енергоємність виробництва k -ї продукції за КВЕД, якої досягнуто при використанні новітнього світового обладнання (кг у. п./т продукції); V_k^t – обсяг випуску k -ї продукції або переробки сировини у прогнозованому t -му році (у гривнях або натуральних одиницях).

Економічно доцільний потенціал енергозбереження на рівні галузі визначається як сума енергозаощадження її виробництв, що складається з результатів реалізації енергозберігаючих заходів для енергоємних процесів даної галузі та величини заощадження в інших виробництвах галузі [2]:

$$P_{n_j}^t = \sum_{b_e}^{B_n} \sum_i^I P_{j i b_e}^t + \sum_{b_m}^{B_m} \sum_i^I P_{j i b_m}^t, \quad (2)$$

де $P_{n_j}^t$ – обсяг загального економічно доцільного потенціалу енергозбереження j -го виду енергоресурсу в t -й рік для n -ї галузі; n – індекс галузі, $n \in N$; $P_{j i b_e}^t$ – обсяг загального економіч-

но доцільного потенціалу енергозбереження j -го виду енергоресурсу в t -й рік для енергоємних виробництв певної галузі; b_e – енергоємні виробництва певної галузі, $b_e \in B_e$; $P_{j i b_m}^t$ – обсяг загального економічно доцільного потенціалу енергозбереження j -го виду енергоресурсу в t -й рік для інших виробництв певної галузі; b_{in} – інші виробництва певної галузі; t – розрахунковий рік; j – вид енергоресурсу, $j \in J$; i – певний захід з енергозбереження, $i \in I$.

Для того щоб визначити потенціал енергозбереження в основних енергоємних виробництвах за видами економічної діяльності P_{b_e} , використовуються показники енергоємності технологічних процесів або виробництва продукції після комплексного оцінювання технології і вибору доцільних для впровадження заходів [2]:

$$P_{b_e} = \sum_k (e_k^{\delta} - e_k^u) V_k^t, \quad (3)$$

при $(\sum e_k^{\delta} - \sum e_k^u) \rightarrow \max,$

де e_k^b, e_k^u – енергоємність виробництва k -ї продукції за КВЕД, що виготовляється в основних енергоємних процесах галузі з використанням існуючої технології та після впровадження інновації відповідно (кг у. п./грн або кг у. п./т продукції); V_k^t – обсяг випуску продукції або переробки сировини у прогнозованому t -му році (у гривнях або натуральних одиницях).

Як відомо, у цементній промисловості застосовуються три способи виробництва, що відрізняються технологією підготовки сировинних сумішей: мокрий, сухий і комбінований. *Мокрий спосіб* передбачає тонке здрібнювання сировинної суміші у водному середовищі з одержанням шихти у вигляді водної суспензії – шламу вологістю 30–50 %. При використанні *сухого способу* сировинну шихту готують у вигляді тонкоподрібненого сухого порошку, тому перед помелом чи у його процесі сировинні матеріали висушують, і на випал надходить порошокоподібна суха сировинна суміш. *Комбінований спосіб* поєднує перші два: сировинну суміш готують за мокрим способом у вигляді шламу, а потім зневоднюють на фільтрах до вологості 16–18 % і подають на випал у печі у вигляді напівсухої маси, або ж гранулюють тонкоподрібнений сухий порошок, додаючи 10–14 % води, і подають на випал гранули діаметром 10–15 мм. Кожний спосіб може бути

реалізований за декількома технологічними схемами, які відрізняються як послідовністю операцій, так і видом устаткування, що використовується. Вибір технологічної схеми визначається властивостями перероблюваної сировини, тобто її вологістю, твердістю, однорідністю тощо [3, 4].

Теоретично теплова енергія для виробництва цементного клінкеру поділяється на енергію, необхідну для хімічних реакцій обпалення клінкеру (1700–1800 МДж/т), та на теплову енергію, що потрібна для висушування й підігріву сировини і в основному залежить від її вологості. Загалом під час виробництва 1 т клінкеру витрачається від 3000 МДж/т (сухий спосіб з підігрівачем і декарбонізатором) до 6400 МДж/т (мокрий спосіб), зокрема, на більшості цементних підприємств у країнах Євросоюзу – від 3300 до 4000 МДж на 1 т клінкеру [3].

Цементну промисловість України представляють 30 заводів, річна потужність яких становить близько 24 млн т, проте сьогодні виробляють цемент лише 15 підприємств. До основних центрів галузі належать Амвросіївка, Краматорськ (Донбас), Кривий Ріг, Дніпродзержинськ, Дніпропетровськ, Балаклея (Харківська обл.), Здолбунів (Рівненська обл.), Миколаїв (Львівська обл.), Ямниця (Івано-Франківська обл.), Кам'янець-Подільський (Хмельницька обл.), Вільшани (Миколаївська обл.). Обсяги виробництва за останні роки наведено в табл. 1 [5, 6].

Як видно з наведених даних, із 15 млн т цементу, що вироблено в Україні у 2008 р., цементними заводами асоціації “Укрцемент” забезпечувалося 81,4 % загального випуску продукції, а останні 18,6 % – підприємствами “Балцем” та “Цемент Донбасу”. Найбільшими серед заводів асоціації є “Подільський цемент” (14,4 % від загального виробництва цементу), “Донцемент” (13,7 %), “Кривий Ріг цемент” (13,4 %) та “Волинь-цемент” (9,8 %).

Більшість підприємств вітчизняної цементної галузі збудовано у 20–50-х роках минулого століття, тому вони виробляють свою продукцію переважно за застарілими технологіями. Наприклад, енергозберігаючий сухий спосіб виробництва клінкеру використовується лише на ВАТ “Дніпроцемент” та “Кривий Ріг цемент”, вони й дають 15 % з усього виробництва клінкеру. При цьому у світі виробництво клінкеру цим способом складає близько 90 %, бо саме він

Таблиця 1

Підприємства	Виробництво цементу (тис. т) у 2005–2008 рр.				
	2005	2006	2007	2008	2008 (у % до 2005)
ВАТ “Донецмент”	908,0	1526,8	1843,1	2031,1	223,7
ВАТ “Дніпроцемент”	546,6	571,0	554,0	н. д.	—
ЗАТ “Бахчисарайський комбінат “Будіндустрія”	490,8	505,6	555,0	560,6	114,2
ВАТ “Волинь-цемент”	1370,0	1333,9	1501,2	1441,8	105,2
ВАТ “Івано-Франківськцемент”	559,8	562,7	550,5	600,5	107,3
ВАТ “Подільський цемент”	1856,0	2025,0	2025,5	2126,0	114,5
ВАТ “Краматорський цементний завод “Пушка”	659,0	604,0	591,5	531,2	80,6
ВАТ “Кривий Ріг цемент”	1406,5	1486,7	1512,0	1975,3	140,4
ВАТ “Миколаївцемент”	1027,5	1128,4	1197,8	1285,4	125,1
ВАТ “Цемент”, м. Одеса	305,7	267,3	353,4	402,3	131,6
ВАТ “Південцемент”	673,4	951,4	1078,7	1073,0	159,3
ДП “Харківський ДЦЗ”	2,1	2,3	2,0	1,5	71,4
Усього по асоціації “Укрцемент”	9805,4	10 964,5	11 764,7	12 028,8	122,7
ТВГ “Цемент Донбасу”	210,3	147,9	377,0	н. д.	—
ВАТ “Балцем”	2128,5	2606,6	2853,2	2755,7	129,5
Усього по галузі	12 144,2	13 719,0	14 994,9	14 784,5	121,7

забезпечує питому витрату палива 100–120 кг у. п. на 1 т клінкеру. На цементних заводах України цей показник у 2008 році склав 218,2 кг у. п., тобто удвічі більше, ніж у світі [7].

Останніми роками в Україні розпочалася модернізація цементних заводів за проектами “Спільного впровадження” на декількох потужних підприємствах. Найбільшим із них є ВАТ “Подільський цемент” (Хмельницька обл., неподалік від Кам’янця-Подільського). Проектом передбачається спорудження нової сухої печі для випалу клінкеру і консервація чотирьох печей, що працюють з використанням мокрого способу, які раніше застосовували природний газ, а після 2006 року використовують вугілля. У 2008 році розпочалося будівництво нової технологічної лінії з виробництва цементу сухим способом потужністю 2,5 млн т на рік. Введення цієї лінії в експлуатацію дасть можливість зменшити майже удвічі витрати палива, знизити собівартість цементу і викиди пилу та шкідливих речовин у навколишнє середовище, що, у свою чергу, значно зменшить питоме енергоспоживання – з 6771 до 3180 МДж на 1 т клінкеру, тобто в 2,1 раза. Викиди

пилу знизяться з 150 г/с до 11 г/с (більше ніж у 10 разів), річне зменшення викидів CO₂ складатиме в середньому 740 тис. т.

Проект вартістю 210 млн євро фінансується ірландською компанією CRH, до складу якої входить ВАТ “Подільський цемент”. Третина необхідного обсягу інвестицій – 70 млн євро – надійде за рахунок продажу 3 млн т CO₂ за Кіотським протоколом в якості одиниць скорочення викидів [8, 9].

Іншим проектом “Спільного впровадження” є реконструкція підприємства на ВАТ “Південцемент” (Миколаївська обл., м. Ольшанське) для подальшого використання доменного шлаку як декарбонізуючого матеріалу в сировині, що подається в клінкерну піч. Модернізацію планується провести у два етапи. На першому етапі буде використовуватись 4 % немолотого шлаку. На другому етапі буде встановлено обладнання для помелу шлаку і доведено його обсяг до 15 %. Додавання шлаку зменшить утворення діоксиду вуглецю як при кальцинації, так і при спалюванні палива. У випадку реалізації цього проекту доменний шлак додаватиметься в сировину для заміщення частини вап-

няку. На першому етапі шлак буде сушитись перед додаванням його у клінкерну піч. Для того щоб можна було додавати 4 % подрібненого шлаку, встановлюється сушарка, що працює на природному газі, а також устаткування для транспортування та подачі сировини. На другому етапі передбачено встановити млин та інше обладнання, щоб розмелювати шлак перед додаванням у сировину, завдяки чому відсоток шлаку буде збільшено до 15 %.

Додавання шлаку дозволить знизити витрати палива, що використовується для печі, до 1480 ккал/кг клінкеру після закінчення першого етапу і до 1270 ккал/кг – на другому етапі. Також очікується, що внаслідок додавання доменного шлаку зменшаться викиди CO₂: від 0,525 до 0,504 т на першому етапі і до 0,446 на тонну клінкеру – після завершення другого етапу. Загалом проектом передбачено зменшення викидів у 2008–2012 рр. на 518 тис. т CO₂. Витрати на модернізацію складуть приблизно 2,5 млн євро, з них на першому етапі буде витрачено 1 млн. Окрім цього, у 2012 році планується спорудження нової сухої печі [10]. Планується перевести з мокрого способу на напівсухий, з додаванням шлаку в сировину, виробництво ВАТ “Волинь-цемент” (Рівненська обл., м. Здолбунів). Модернізацію також передбачається здійснити у два етапи. На першому буде використовуватись 4 % немолотого шлаку, на другому буде встановлено обладнання для подрібнення шлаку і доведено його обсяг до 15 %. Окрім цього, планується демонтування трьох із чотирьох менших мокрих печей і спорудження нової напівсухої печі. Четверту піч буде законсервовано, і в роботі залишаться дві більші мокрі печі та нова напівсуха. Потужність підприємства до початку модернізації – 1,83 млн т клінкеру на рік, проектна потужність нової печі – 1,75 млн т клінкеру. Загальний щорічний обсяг виробництва цементу після реконструкції становитиме 2,49 млн т клінкеру або близько 3 млн т цементу.

тyme 2,49 млн т клінкеру або близько 3 млн т цементу.

Переведення на напівсухий спосіб виробництва дозволить знизити енергоспоживання від 6,03 МДж до 3,65 МДж на тонну клінкеру. Викиди CO₂ зменшаться у середньому на 377 тис. т на рік.

Вартість модернізації підприємства, що дасть можливість додавати в сировину 15 % подрібненого шлаку, складе 2,7 млн євро, вартість будівництва нової печі потужністю 6000 т клінкеру за добу – приблизно 190 млн євро [11].

Учені Інституту загальної неорганічної хімії АН Узбекистану дослідили, що переведення цементного заводу з мокрого на сухий спосіб виробництва дозволяє не тільки зменшити питому витрату палива на 30–40 %, але й на 40 % збільшити обсяг виготовлення цементу [12].

На сьогодні реконструкція з переведенням цементних заводів з мокрого на сухий спосіб виробництва передбачена для таких підприємств України: ВАТ “Цемент”, м. Одеса (353 тис. т цементу), ВАТ “Івано-Франківськ цемент” (550 тис. т), ВАТ “Волинь-цемент” (1501 тис. т), ВАТ “Південцемент” (1080 тис. т), ВАТ “Подільський цемент” (2500 тис. т), ВАТ “Миколаїв-цемент” (1200 тис. т) та ВАТ “Балцем” (2853 тис. т) – усього 10 037 тис. т. Після модернізації річний випуск цементу може збільшитися до 14 052 тис. т, тобто в 1,4 раза. Вихідні дані для розрахунку ефективності реконструкції наведено у табл. 2 [13].

Економія паливно-енергетичних ресурсів за рахунок реконструкції цементних заводів (*Π*) визначається за таким алгоритмом:

$$\Pi = V_m (e_m + w_m) - V_c (e_c + w_c),$$

де V_m, V_c – обсяг виробництва цементу відповідно мокрим та сухим способами; e_m, e_c – питома витрата палива при мокрому та сухому способах виробництва цементу відповідно (кг у. п./т);

Таблиця 2

№ п/п	Показники	Одиниці виміру	Вихідні дані	
			мокрый спосіб (2007 р.)	сухий спосіб (2015 р.)
1.	Річний випуск цементу	тис. т	10 037*	14 052*
2.	Питома витрати на 1 т цементу:			
	а) паливо	кг у. п.	225,7	113
	б) електроенергія	кВт·год/т	135	100

* За розрахунками авторів.

w_m , w_c – питома витрата електроенергії при мокрому та сухому способах виробництва цементу відповідно (кг у. п./т); 394,1 кг у. п./1000 кВт·год – питома витрата палива на відпуск електроенергії, виробленої тепловими електростанціями загального користування у 2007 році; 370 кг у. п./1000 кВт·год – передбачувана питома витрата палива на відпуск електроенергії, яка буде вироблена тепловими електростанціями загального користування у 2015 році.

Скориставшись необхідним вихідними даними з табл. 2, зробимо розрахунок за наведеною вище формулою:

$$P = 10\,037 \cdot (225,7 + 135 \cdot 0,3941) - 14\,052 \cdot (113 + 100 \cdot 0,370) = 691\,554 \text{ т у. п.} = 691,5 \text{ тис. т у. п.}$$

Отже, економія паливно-енергетичних ресурсів на цементних заводах України тільки за рахунок впровадження сухого способу виробництва цементу у 2015 році може скласти 691,5 тис. т у. п.

ВИСНОВКИ

Визначення потенціалу енергозбереження на галузевому рівні має свої особливості. Запропонований підхід визначення потенціалів енергозбереження передбачає економію різних видів енергоресурсів та впровадження декількох енергозберігаючих заходів. Основним напрямом науково-технічного прогресу, який сприяє значному зниженню енергоємності виробленої продукції цементної промисловості, є перш за все поліпшення структури виробництва, тобто збільшення обсягів виробництва цементу сухим способом. У статті доведено, що внаслідок упровадження цього енергозберігаючого заходу потенціал енергозбереження на цементних заводах України у 2015 році може досягти 691,5 тис. т у. п.

1. Левко В. В. “Тободин Украина” в проектах модернизации цементных предприятий / Левко В. В., Билан А. В., Дарчук С. И. // Цемент и его применение. – 2007. – № 3. – С. 1–3.
2. Наукові основи, методологія та алгоритми визначення теоретичних, технічно можливих і економічно доцільних потенціалів енергозбереження, комплексної оцінки енергозберігаючих заходів / Звіт про НДР (заключн.): г/д № 25-06 від

27.06.06, № 26-07 від 05.04.07, № 28-08 від 14.04.08 / Інститут загальної енергетики НАН України; кер. Білодід В. – К., 2008. – 253 с. – Викон. Маляренко О., Симборський А., Гнідий М., Агеєва Т., Кулик М., Куц Г., Сизоненко В., Бондаревська І., Євтухова Т., Станиціна В. – Бібліогр. с. 189–193. – ДРН№0106U009434. – ДОН№0208U010145. – С. 103, 129–130.

3. Draft reference document on best available techniques in the cement, lime and magnesium oxide manufacturing industries. – European Commission, 2009. – 459 p.
4. Технологія виробництва цементу [Електронний ресурс]: Режим доступу: http://www.kirpich-tonus.ru/technolog_cement.shtml.
5. Жарко В. И. Производство, потребление и рынок цемента в 2007 г. / В. И. Жарко, В. И. Шубин // Цемент и его применение. – 2008. – № 1. – С. 18–28.
6. Цементная промышленность Украины. Итоги 2008 года // Цемент и его применение. – 2008. – № 6. – С. 42.
7. Державний комітет статистики України. Статистична форма “Звіт про результати використання палива, теплоенергії та електроенергії за 2008 р.” // Форма 11-МТП, розділ 1.
8. Slag usage and switch from wet-to-dry process at Podilsky Cement, Ukraine. Joint implementation project design document form. – Hague, 2008. – 62 p.
9. Международная конференция UkrCemFor 2009: “Цементная промышленность. Перспективы развития” // Цемент и его применение. – 2009. – № 3. – С. 52.
10. Slag usage and switch from wet-to-dry process at Yugcement, Ukraine. Joint implementation project design document form. – 2006. – 71 p.
11. Slag usage and switch from wet-to-dry process at Volyn-Cement, Ukraine. Joint implementation project design document form. – 2008. – 71 p.
12. Нудельман Б. И. Эффективная технология перевода цементного завода с мокрого на сухой способ производства / Б. И. Нудельман, А. Б. Нудельман, А. Б. Гремецкий // Цемент и его применение. – 2007. – № 3. – С. 86–88.
13. Гаврюшин А. Д. Основные направления энергосбережения при производстве и применении цемента в Украине / Гаврюшин А. Д., Здоров А. И., Файнер М. Ш., Дарчук С. И., Мелентьева В. С. // Цемент и его применение. – 2007. – № 5. – С. 65–67.

Надійшла до редколегії: 13.09.2010