

Л.О. Згалат-Лозинська, к.е.н., доц., докторант кафедри економічної теорії, обліку та оподаткування, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Orcid 0000-0002-2063-5738;

М.О. Клименко, к.т.н., доц., доцент кафедри машин і обладнання технологічних процесів, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Orcid 0000-0002-6166-8966

ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ В ПРОМИСЛОВІСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Анотація. В роботі виконаний аналіз стану виготовлення цементу в Україні і світі протягом останніх років. Подані дані розподілу цементного ринку, його особливостей розвитку та трансформування в контексті світових тенденцій щодо енерго- та ресурсозбереження, підвищення продуктивності та ефективності цементних підприємств. Розглянуто використовувані технології цементного виробництва на основі його головного обладнання - млинів. Визначено основні шляхи поліпшення ситуації в цементній галузі, як провідної ланки будівельного ринку України. Запропоновано звернути увагу як виробників цементу, так і міністерства регіонального розвитку на широке впровадження інноваційних технологій в цементній промисловості, які зможуть не тільки забезпечити суттєве зменшення енергоємності виробництва за одночасного збільшення продуктивності і стати рушійною силою у загальному оздоровленні економічної ситуації в Україні, а також забезпечити вирішення екологічних проблем.

Ключові слова: інноваційне обладнання; помел цементу; ефективність використання; вертикальні валкові млини; енергоефективність; питома продуктивність; переробка шлаків.

Постановка проблеми. Щороку вимоги щодо енерго- та ресурсозбереження стають дедалі суворішими і вимагають впровадження новітніх підходів, які дозволять покращити як економічні параметри технологічного процесу, так і якість цементу. Одночасно зниження рівня промисловості та нехтування сучасними вимогами щодо переробки відходів металургійних виробництв призвели до того, що значна частина території в нашій державі зайнята відвалами металургійних шлаків, які не тільки засмічують родючі землі, але й призводять до екологічних проблем та негативно відбиваються на здоров'ї людей. Разом з цим, ефективне використання і переробка шлаків для потреб будівельного та дорожнього будівництва, яке доведене теоретичними дослідженнями і практичними прикладами, має вагомий економічний ефект. Головним чинником, що створює перепони в поширенні інноваційних технологій, є відсутність в Україні належного обладнання для ефективної переробки шлаків, відповідної технологічної і нормативної бази будівельних підприємств та створення сприятливих інвестиційних умов.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Першими в Україні та колишньому СРСР теорію і технологію виготовлення шлаколузних цементів запропонував у 1978 р. проф. Глуховський В.Д. [1]. Дослідженнями, проведеними в КНУБА [2], вдалося значно популяризувати та просунути використання шлаколузних в'язучих, цементів і бетонів. Виходячи з поставленого завдання тонкого змелювання шлаків та цементу до тонини 3500-5000 см²/г, промисловістю на науковцями були запропоновані зміни до конструкції традиційних кульових млинів [3-4], а також створене помольне обладнання, альтернативне кульовим млинам, що поєднувало в собі високу одиничну продуктивність і низьку витрату електроенергії.

Серед усього різноманіття помольного обладнання найбільш привабливим виявився вертикальний валковий млин, який на початку 1980-х рр. розробили японські конструктори (компанія Onoda Cement Co., Onoda Engineering and Consulting Co. і Kobe Steel, Японія) [5]. Фірма FLSmidth-Fuller Engineering у 1990 р. придбала ліцензію на виробництво і продаж вказаних машин і в наступні двадцять років зуміла доопрацювати конструкцію млина з тим, щоб забезпечити весь діапазон потреб цементних заводів по потужності і продуктивності [6-10].

Поряд з цим, аналіз світових офіційних статистичних джерел [11-13] щодо виробництва цементу і впливу цих процесів на довкілля дозволив встановити важливі чинники впливу ефективності функціонування цементних виробництв і роль в цих процесах реіновачії від використання інноваційного обладнання.

Формулювання мети статті. Дослідження економічних та технологічних аспектів впровадження новітнього інноваційного обладнання для помелу цементу та доменного шлаку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Цемент є одним з основних матеріалів у будівельній галузі. У світі переважно використовують отриманий основному портландцемент. Основні компоненти, які використовуються для виробництва цементу, поєднують у обертових печах при температурі до 1450 °С. Цей процес дає гранульований проміжний продукт, відомий як клінкер, який потім подрібнюють у млинах для отримання цементного порошку. Кінцева суміш цементу включає близько 5% гіпсу і може також включати інші неклінкерні мінеральні побічні продукти, такі як вапняк, шлак та зола з електростанцій, що працюють на вугіллі.

Процес виготовлення цементу є складним і потребує витрат енергії на кожному етапі, а різні техно-

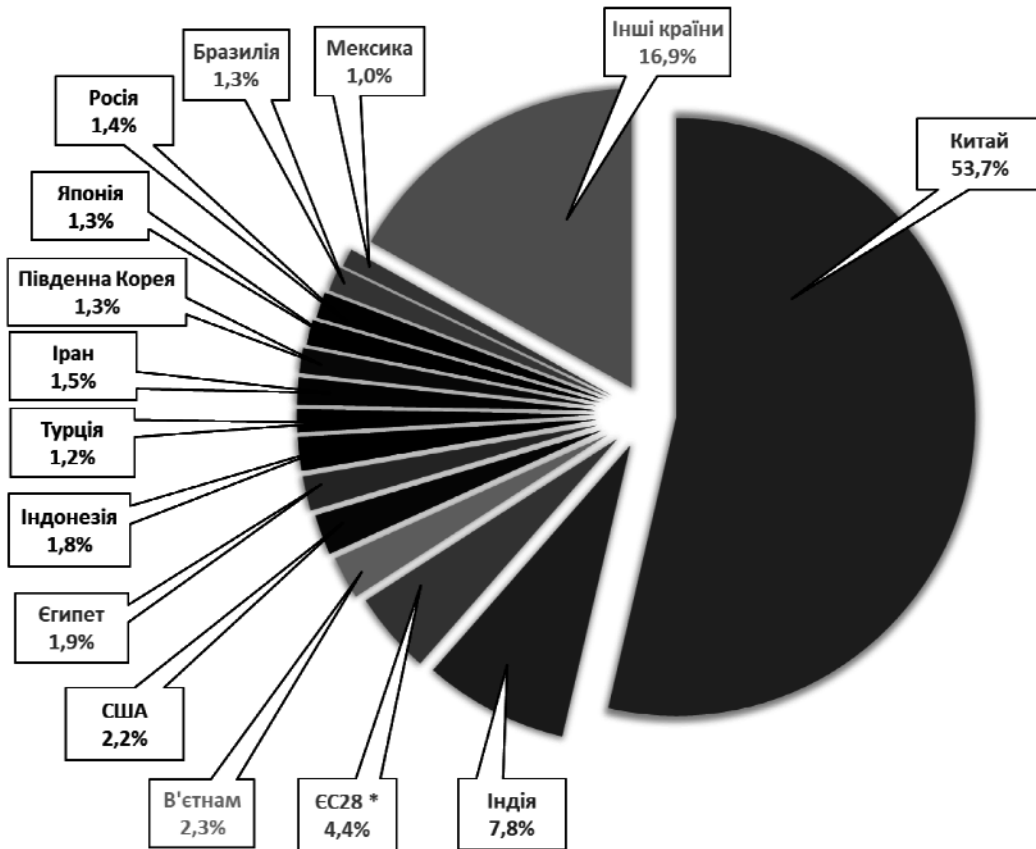


Рис.1. Виробництво цементу в світі у 2019 р.
Джерело: складено за даними [11, 12]

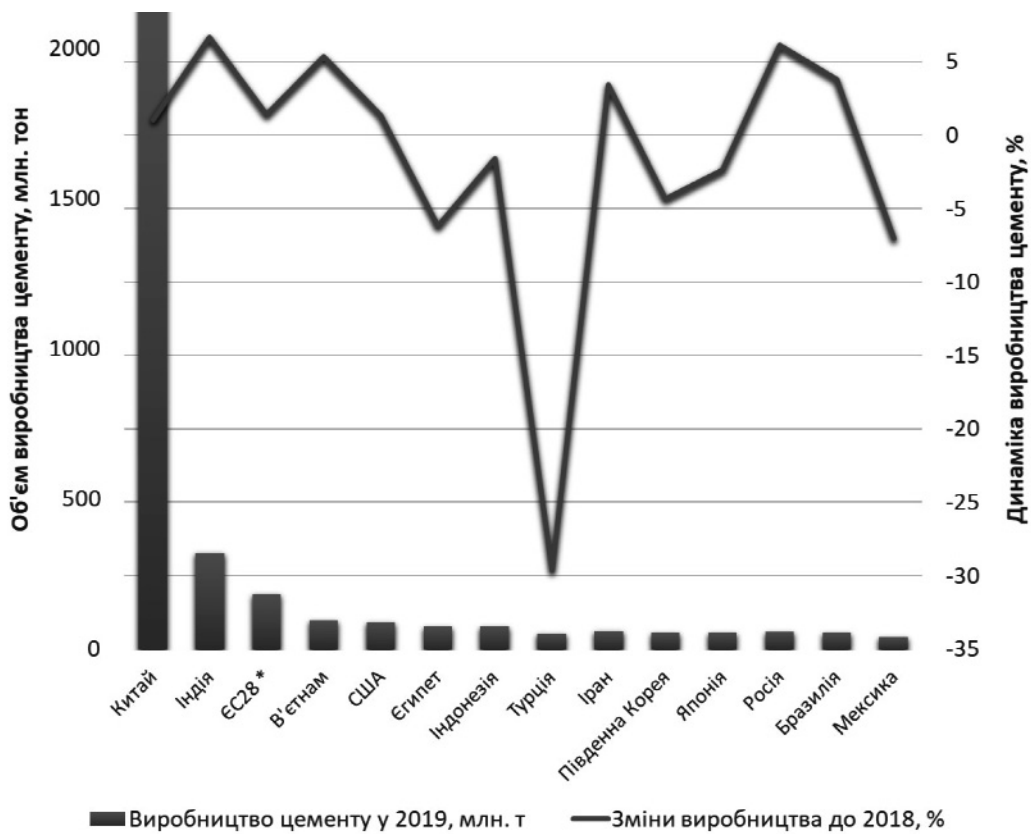


Рис.2. Характеристика зміни виробництва цементу в світі за 2019 р.

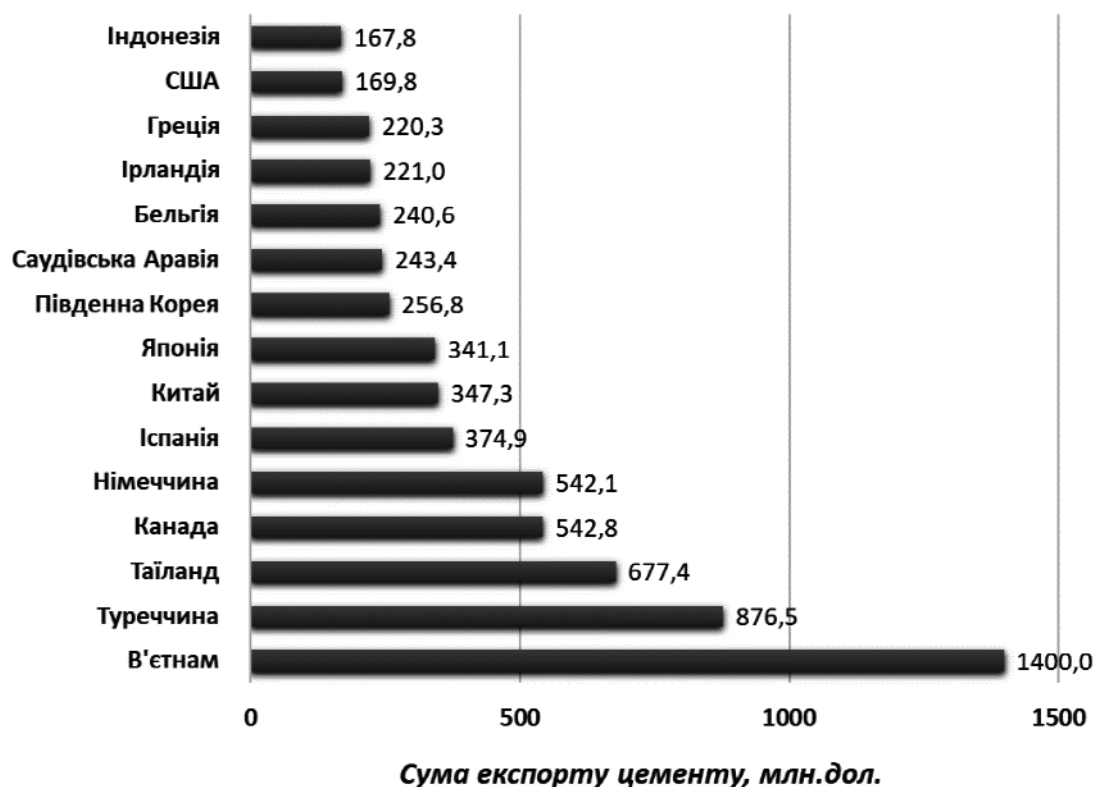


Рис. 3. Найбільші країн-експортерів цементу за 2019 р.
Джерело: складено за даними [14-16]

логічні процеси виробництва призводять до викидів CO₂ та інших парникових газів. На цемент припадає 83% загального використання енергії у виробництві нерудних корисних копалин та 94% викидів CO₂. Витрати енергії становлять від 40% до 70% від загальної вартості виробництва цементу. Виробництво цементного клінкеру з вапняку та крейди шляхом нагрівання вапняку до температури вище 950 °C є основним процесом споживання енергії. Портландцемент містить 95% цементного клінкеру. Велика кількість електроенергії використовується також при дробленні сировини та готового цементу.

Згідно з даними Global Cement and Concrete Association [13] цемент виробляється в більш ніж 150 країнах по всій земній кулі, загальна виробнича потужність цементу становить понад 4100 млн. т. Загальний обсяг світового виробництва цементу у 2020 р. очікується на рівні 4,4 млрд. т. У 2010 р. виробництво цементу склало 3310 млн.т. Виробництво цементу у 2015 р. дещо зменшилося через значне зниження виробництва цементу у Китаї. Виробництво цементу знову показало хороший приріст у 2018?р. З 2010 по 2018 рр. виробництво цементу збільшилося приблизно на 890 млн. т.

Існує багато причин такого виняткового збільшення виробництва цементу в останні роки. Одна з них — економічне зростання в країнах, що розвиваються та тенденції урбанізації. Це викликає збільшення попиту на будівельні матеріали, включаючи цемент. Причинами, чому багато найбільших та найшвидше зростаючих цементних галузей зараз перебувають у країнах, що розвивається, є прагнення самодостатності у виробництві цементу, оскільки це зменшує залежність від імпорту та зменшує вартість будівництва.

Це також забезпечує подальший розвиток економіки за рахунок покращення інфраструктури. У випадку деяких країн навіть можна виявити сильну позитивну кореляцію між ВВП та споживанням цементу.

Відповідно до нового звіту The European Cement Association [13], світовий ринок цементу досягнув у 2019 р. 4,1 млрд. т і, як очікується, досягне майже 6 млрд. т до 2025?р. Світове споживання цементу підтримувало постійне зростання протягом 2013-2015 рр. Зростання було досягнуто попитом серед країн, що розвиваються, та країн з перехідною економікою в Азії, таких як Індія, В'єтнам, Єгипет, Індонезія та ін. Ці прибутки були частково компенсовані помірним зниженням споживання серед розвинених економік, таких як США, Європа, Канада та Китай, на який припадає понад 59% світового споживання. Індія складає ще 7% світового споживання цементу. У поєднанні ринки Китаю та Індії домінують у світових тенденціях споживання цементу. Китай та Індія, незважаючи на те, що є найбільшими світовими виробниками цементу, не експортували надлишок своєї продукції, оскільки практично повністю споживали її всередині країни. На рис. 1 і 2 наведено діаграми відсоткового розподілу та характеристику зміни кількості виробленого в світі в 2019 р. цементу [11, 12].

Частка України у світовому виробництві цементу становить тільки 0,2%.

У 2019 р. загальний обсяг продажів від експорту цементу в світі склав 10,2 млрд. доларів. Цемент, який є найважливішим будівельним матеріалом, продається за кордон у вигляді сірого чи білого порошку або клінкеру.

Загалом об'єм експорту цементу впав в серед-



Рис.4. Географічне розташування цементних заводів України за власниками :

1 – Overin Limited, 2 – CRH Group, 3 – Dyckerhoff cement Ukraine, 4 – "Івано-Франківськцемент", 5 – "Євроцемент Україна"

ньому на 6,6% для всіх країн-експортерів з 2015 р., коли поставки цементу оцінювались у 11 млрд. доларів. З 2018 по 2019 рр. експорт цементу знизився на 11,5%.

За категоріями на портландцемент припадає близько двох третин експортованих світових поставок цементу. Цей показник пояснюється тим, що портландцемент використовується для виготовлення бетону, розчину, ліпнини та штукатурок тощо. Цементні клінкери представлені приблизно на чверть, тоді як різні гідралічні цементи та глиноземні цементи склали відповідно 5% та 3%.

За континентальною приналежністю експортерів протягом 2019 року найбільше експортували

цементу азіатські країни з вартістю 5,3 мільярда доларів або 51,5% світового експорту цементу. На другому місці опинилися європейські експортери з 31,8%, тоді як 8,4% світових поставок цементу походить з Північної Америки. Менший відсоток припадає на Африку (6,3%), Латинську Америку (1,9%) (за виключенням Мексики), Океанію (0,1%) на чолі з Новою Зеландією та Австралією.

На рис. 3 наведено гістограму розподілу 15 найбільших країн-експортерів цементу станом на 2019 р. [14-16]. Перелічені 15 країн у 2019 р. відвантажили майже дві третини (64,4%) світового експорту цементу.

Для України цементна промисловість – стра-

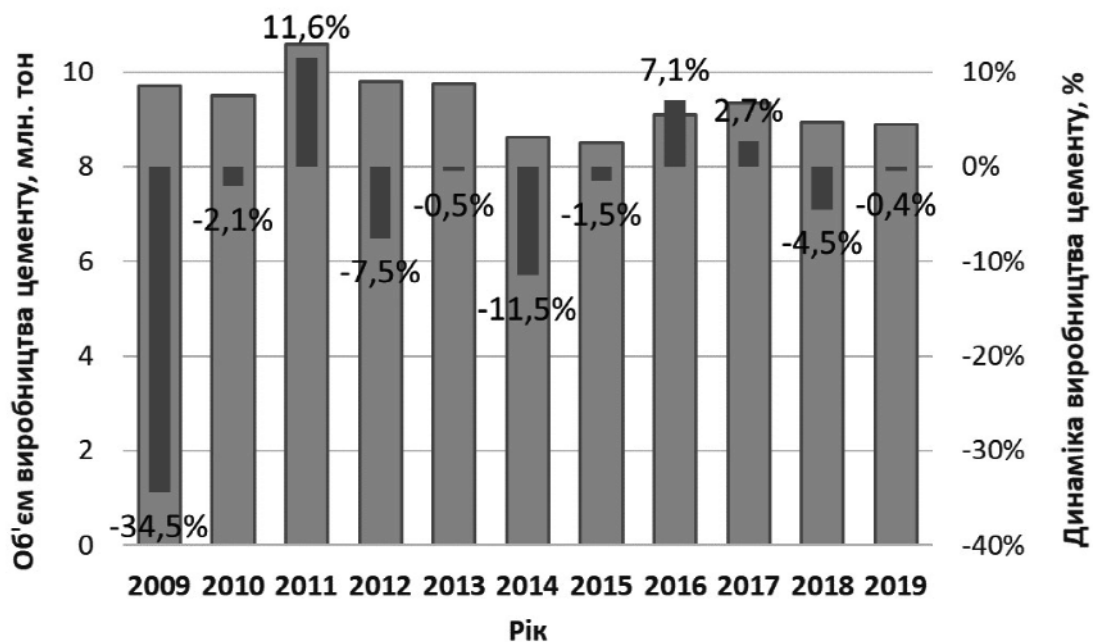


Рис. 5. Виробництво цементу в Україні протягом останніх 10 років

тегічна галузь виробництва базового матеріалу для будівництва об'єктів промислової і транспортної інфраструктури країни, а також комерційного та житлового будівництва. Наразі виробнича інфраструктура не лише повністю забезпечує внутрішні потреби ринку будівництва, але й має значний резерв незалучених виробничих потужностей.

Цементна галузь в Україні представлена 5 основними виробниками, які мають закордонне походження: Швейцарській компанії "Cemln West SA" належить ПрАТ "Івано-Франківськцемент" з виробничими потужностями 3,6 млн.т на рік; Ірландська компанія CRH Group включає ПАТ "Подільський цемент" (Хмельницька обл.), ПрАТ "Миколаївцемент" (Львівська обл.) і ТОВ "Цемент" (м Одеса); "Дікергоф Цемент Україна" німецької фірми Düscherhoff належать заводи "ЮГцемент" і "Волиньцемент" сумарною потужністю понад 2 млн т, Кіпрська компанія Overin Limited з заводами в Кривому Розі і Кам'янському (Дніпропетровська обл.), а також в окупованій Амвросіївці (Донецька обл.); ПрАТ "Євроцемент Україна", яка належить російському холдингу "Євроцемент груп", представлений заводом Балаклійський цементний завод (Харківська обл.) потужністю 4,4 млн. тон цементу на рік. Загалом на не окупованій території України працюють 9 заводів. Переважно цементні заводи розташовані в районах видобування сировини, в невеликій відстані від великих промислових і металургійних центрів (рис. 4) у східних, західних та південних регіонах.

Вітчизняне виробництво цементу постійно зменшується протягом останніх 12 років. З 2011 по 2015 рр. спостерігався щорічний спад виробництва (рис. 5) в межах 1-11%. В 2016-2017 рр. відбувався незначний підйом сумарно до 10% із наступним зменшенням до сьогодні. Ці тенденції чітко корелюються з об'ємами виконаних будівельних та дорожніх робіт, для яких цемент є основним сировинним матеріалом.

У 2019 р. у зв'язку зі слабким ростом ринку, кризою залізничних перевезень та різко негативним експортно-імпортним балансом (-30%) виробництво цементних підприємств України зменшилось з 8,93 млн. тон до 8,89 млн. тон (-0,4%) (рис. 5). Навколо таких величин він коливається протягом останніх п'яти років, не показуючи значного росту чи спаду, тоді як імпортні потоки суттєво зростають.

Попри запроваджені у 2019 р. антидемпінгові мита на продукцію з Росії, Білорусі та Молдови,

зовнішньоторговельна динаміка за підсумками 2019 р. склалася не на користь вітчизняних виробників. Експорт цементу у 2019 р. зріс на 16%, а імпорт — на 57,1%. Зокрема імпорт турецького цементу в Україну збільшився у 9,3 рази. Туреччина, яка за даними The European Cement Association та The Global Cement Report [12] була п'ятою країною в світі за об'ємами виробництва (80,6 млн. тон у 2017 році) та другою за обсягами експорту (13 млн. тон у 2017 році), знаходячись у ситуації значного спаду споживання на внутрішньому ринку (з 75 млн. тон у 2017 до 47 млн. тон у 2019 році) та маючи морське сусідство з Україною у 2019, розпочала активний експорт портландцементу на український ринок.

Загальною негативною рисою усіх українських підприємств цементної галузі є застаріле обладнання, яке має значний рівень фізичного і морального зносу, за практично повної відсутності їх оновлення чи реновації. Колишні республіки Радянського Союзу, особливо Росія та Україна, все ще виробляють більшість цементу мокрим способом. Це пов'язано з місцевою специфікою того, що місцевий вапняк має дуже високий вміст вологи. Поряд з переважним (понад 75%) використанням на українських підприємствах застарілої технології мокрого помелу та старих млинів, з 2008 р. спостерігається недовикористання наявних виробничих потужностей. Так за наявної максимальної загальної продуктивності усіх українських заводів на рівні 20-22 млн. т реальне їх використання протягом останніх років не перевищує 50–53%.

Наслідком використання технології мокрого помелу є висока енергоємність як на етапі виробництва клінкеру (до 8000 МДж/тону клінкеру), так і остаточного помелу цементу (до 150 кВт·год/тону цементу при сучасних світових показниках 92–102 кВт·год/тону).

Мокрий помел у млинах, зі співвідношенням довжини до діаметра (L/D) до 40, був основним для виробництва клінкеру протягом більшої частини ХХ століття. Це порівняно простий процес, головною перевагою приготування суспензії є полегшення помелу, обробки, змішування, зберігання, перекачування та дозування. Він також менш схильний до низького рівня викиду пилу. Основна проблема довгих мокрих печей — їх низька економічність палива через випаровування води з суспензії. Це стало серйозною проблемою лише тоді, коли вартість палива зросла протягом 1970-х років, і з того часу було

Табл. 1. Порівняння енергоємності виробництва цементу країн світу

Країна	Енергоємність, МДж/тону клінкеру
Японія	3100
Західна Європа	4040
Бразилія	3600
Китай	4710
Індія	4710
Країни колишнього Радянського Союзу	5600-8000
Найкращі досяжні показники завдяки новій сухій печі, обладнаній підігрівачем / прекальцинатором	2950

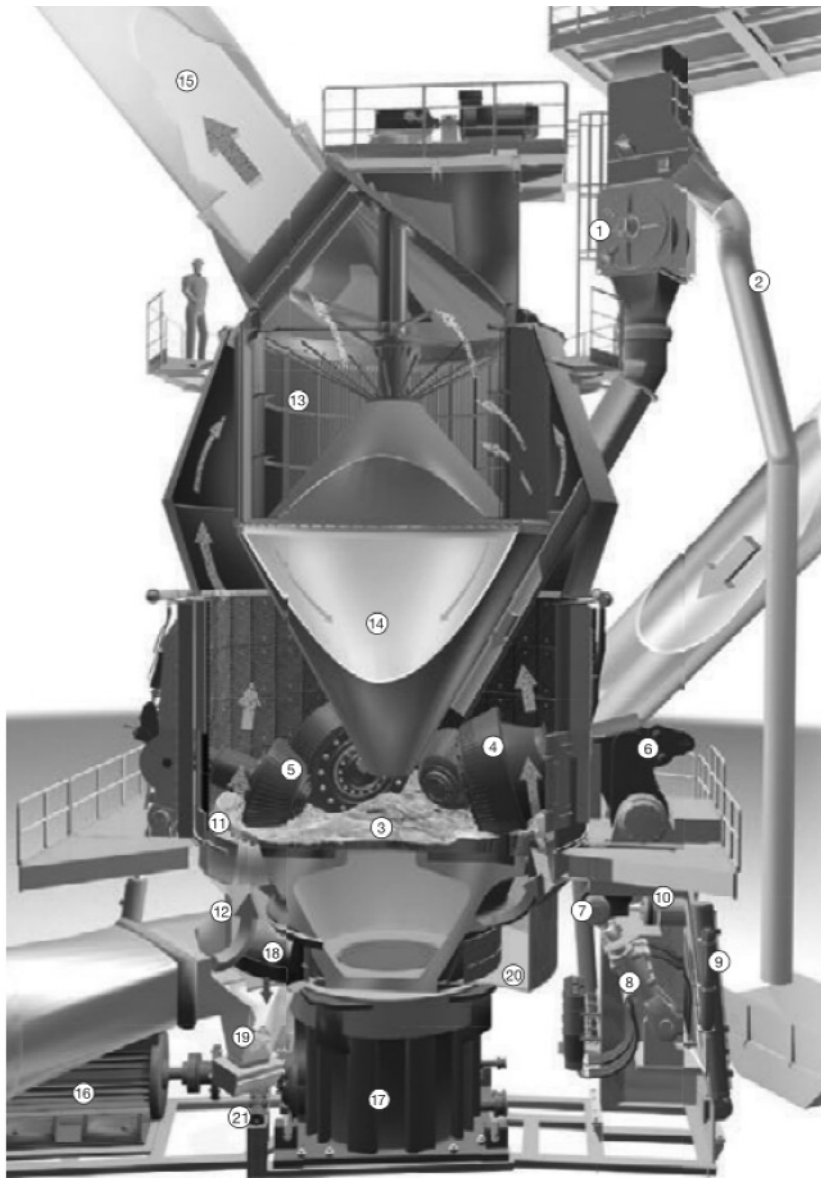


Рис. 6. Конструкція вертикального валкового млина

побудовано небагато підприємств з мокрим процесом.

Піч — ключова частина цементного заводу, де виготовляється цементний клінкер. Для його виробництва сировинна суміш випалюється енергією, що подається у вигляді сильного полум'я. Полум'я досягає температури понад 1850 °С, а сировина 1450 °С. Ефективність печі в основному визначається конструкцією процесу.

За більшості обставин нові великі печі сухого випалювання є найбільш ефективним варіантом, що споживає в середньому 2950 МДж теплової енергії на тону клінкеру. На даний момент найкраща енергоефективність становить близько 2700 МДж/тону клінкеру.

Використання найсучаснішої технології печі — це очевидний вибір для зменшення енергії, необхідної для процесу. Це чітко підкреслює необхідність прийняття найкращих нових можливих сухих печей великих розмірів, обладнаних підігрівачами та попередньою температурою. Якщо цього не зробити, застосувавши менш інноваційні технології, збільшується забруднення навколишнього середовища, виділяється більше парникових газів та значно

енергоємніше. У свою чергу відповідні витрати протягом повного терміну експлуатації заводу значно перевищують короткострокове скорочення інвестиційних витрат на дешевший завод.

Для прикладу, Японія має найефективнішу цементну галузь, завдяки переважній більшості нових сухих печей, 85% з яких мають підігрівачі та попередні циркулятори. Усі інші технології припинені. Енергоємність виробництва клінкеру там становить 3100 МДж/т.

Іншою стороною проблеми використання мокрого помелу є значний викид CO₂ та пилу у відкрите повітря. Використання новітніх технологій переважною більшістю виробників в світі дозволила зменшити викиди CO₂ з 755 кг/т у 1990 р. до 617 кг/т у 2017 р., тобто, майже на 20%. В Україні цей показник перевищує подекуди 920–950 кг/т. При цьому рівень викидів пилу досягає загрозливих 50 г/т цементу, NO₂ — 1800 г/т, SO₂ — 450 г/т.

Понад 100 років будівельні і промислові матеріали (цемент, вугілля, руда і т.п.) подрібнюються, в основному, в кульових млинах, які є вкрай енергоємні і не забезпечують необхідної якості готового

Табл. 2. Технічні та технологічні параметри млинів цементної промисловості

№ п/п	Модель млина	Встановлена потужність приводу, кВт	Продуктивність, т/ч	Питомі витрати електроенергії, кВт·год/т	Вага помольного завантаження, т
1.	Кульовий млин 4,0x13,5 м завод Волгоцеммаш, СРСР	3200	80-85	40-37	200
2.	Кульовий млин 5,8x17,0 м фірма FLSmidth, Данія	9560	180-200	48- 42	460
3.	Вертикальний валковий млин, ОК 27-4, фірма FLSmidth, Данія	1800	60-125	30-14	
4.	Вертикальний валковий млин, ОК 33-4, фірма FLSmidth, Данія	3000	105-210	28-14	
5.	Вертикальний валковий млин, ОК 39-4, фірма FLSmidth, Данія	4600	270-315	17-15	
6.	Вертикальний валковий млин, MPS 5600 BC, фірма Gebr.Pfeiffer AG, Німеччина	5300	250 -300	21-18	
	Вертикальний валковий млин, LM 56.4, фірма Loesche Mills, Німеччина	4400	310-370	15.8-18	
	Вертикальний валковий млин, LM 63.3+3 CS, фірма Loesche Mills, Німеччина	7100	480	15	

продукту-порошку. Так при виробництві цементу близько 75% електроенергії, що витрачається, припадає на помел. Коефіцієнт корисної дії таких млинів оцінюється в межах 4-6%, інша енергія витрачається на тертя, звук, вібрацію і тепло. Низький коефіцієнт корисної дії кульових млинів пояснюється тим, що подрібнення кулями здійснюється настільки випадковим чином, що для досягнення хоч якогось результату доводиться значно збільшувати кількість цих куль, тривалість процесу помелу, а отже в цю ж кількість разів втрачати енергію. Враховуючи встановлені потужності приводних двигунів таких млинів, які досягають 6-9 МВт, стає зрозумілим, що будь-які заходи, які дозволять зменшити витрати хоча б на 5–10% дадуть колосальні економічні заощадження.

Матеріал, подрібнюється в кульових барабаних млинах через випадковість процесу помелу має велику кількість як переподрібнених зерен, так і зерен понад необхідного розміру, тобто недостатньо змелених. Великий розкид фракцій (поліфракційність) порушує рівновагу при проведенні подальших технологічних операцій з порошком і погіршує якість новоутвореного продукту.

Як бачимо, кульові млини, які використовуються в цементній промисловості, за своїми конструктивними властивостями досягли своєї межі, а подальше вдосконалення конструкції в частині збільшення годинної продуктивності пов'язано зі збільшенням габаритів, що не представляється можливим через відсутність досить міцного матеріалу для його виготовлення. Об'єктивно склалася ситуація, коли при будівництві нових потужних цементних заводів машинобудівникам нічого запропонувати крім вертикальних валкових млинів (ВВМ).

Отже, кульові млини мають цілий ряд недоліків:

- за годинною продуктивністю одиничного обладнання кульовий млин в два рази поступається вертикальному валковому млину;

- те ж за витратою електроенергії на тону виробленого цементу;

- кульовий млин через суперечності конструктивних вимог (збільшення розмірів і, отже, продуктивності одиничного обладнання) і існуючих досягнень науки і техніки за якістю металу, використованого для його виготовлення, не має перспектив на подальше своє вдосконалення;

- за якістю цементу, одержуваного в кульовому млині, серед фахівців цементників немає єдиної думки про його абсолютну перевагу, в порівнянні з цементом, виготовленим в вертикальних валкових млинах.

В таблиці 2 наведено порівняльні дані кульових і вертикальних валкових млинів, складених на основі [1].

Таким чином, потреба у зменшенні витрат стала обов'язковою. Як результат, в основному за рахунок зниження питомого енергоспоживання виробленого матеріалу та більш високих значень виробничої продуктивності вертикальні валкові млини повільно, але стабільно переважають горизонтальні кульові млини.

Матеріал в вертикальних валкових млинах знаходиться між обертальним столом і зафіксованими помольними валками. Змелювання відбувається головним чином за рахунок зусиль роздавлювання. Для процесу сушки в піч спрямовуються гарячі гази, які випаровують вологу та спалюють шкідливі домішки.

На відміну від виробництва клінкеру при змелюванні шлаку не виділяється вуглекислий газ, що робить дану технологію екологічно чистою. В подальшому до молотого шлаку додається лужний компонент, який є активатором твердіння, та інші допоміжні елементи (щебінь, пісок тощо).

Вертикальні валкові млини здатні досягти виробничих значень, які значно вищі, ніж досяжні традиційними кульовими млинами, в деяких випадках до 500 т/год. Емпірично, за допомогою простого теплового балансу можна оцінити, що в кульових млинах лише 10% енергії використовується для підвищення тонкості цементу, а решта розсіюється в основному у вигляді тепла. Вертикальні валкові млини дозволяють використовувати близько 30% енергії, що постачається: це призводить до зниження споживання енергії в перерахунку на кВт·год/т.

Крім того, вертикальні валкові млини пропонують більшу універсальність, ніж традиційні кульові млини: зменшується простір, маючи агрегати для подрібнення та розділення, зібрані в одній машині, витрата газу менша, що дозволяє використовувати матеріал з більш високим вмістом вологості.

Тим не менш, вертикальні валкові млини також мають певні недоліки, якщо порівнювати їх із традиційними системами шліфування. Високі тиски валків потрібні у випадку, якщо бажані високі значення Блейна, і в процесі подрібнення потрібно додавати значну кількість води, щоб у будь-який час рівень вібрації всієї помольної установки був низьким.

Завдяки можливості створення під валком високих значень зусиль стискання на вертикальні валкові млини наразі покладається інше завдання — помел шлаків.

На українських меткомбінатах зберігається понад 160 млн. т відходів. На теплоелектростанціях — більше 250 млн.т. Додатково щороку на металургійних комбінатах утворюється близько 11 млн.т від-

ходів, на ТЕС — до 7 млн.т. Утилізується при цьому лише до 4 млн.т відходів металургійних комбінатів і до 700 тис.т відходів теплоелектростанцій.

Основні сфери застосування золошлакових і шлакових матеріалів меткомбінатів — це виробництво цементу, бетону, сухих будівельних сумішей, газоблоків, шлакоблоків, тротуарної плитки і абразивів де вони використовуються у вигляді домішок. 96% загального обсягу утилізації золошлакових матеріалів реалізується саме в сфері виробництва будівельних матеріалів. Металургійні шлаки в цій галузі мають в Україні трохи більшу популярність, але все одно не дотягують за своїми обсягами до популярності шлаків в ЄС.

Основними перевагами геополімерних цементів є: низка вартість, екологічність, збільшений термін зберігання, висока міцність, довговічність.

Один із перспективних напрямів, яке може споживати велику кількість відходів, — дорожнє будівництво та поточний ремонт доріг. Однак лише 4% від загального обсягу реалізації шлакових матеріалів утилізується в дорожньому будівництві. Шлакові та золошлакові матеріали можуть використовуватися у всіх шарах дорожнього покриття і підходять для будівництва асфальтобетонних і цементобетонних доріг. А також, що важливо, вони відносяться до першого класу радіаційної безпеки. Це означає, що вони нешкідливі.

Завдання виготовлення цементів марок 400 та 500 на основі побічних продуктів металургійних підприємств було вирішено ще у 80 роках ХХ ст. Враховуючи вигідне розташування виробничих потужностей цементних підприємств і значні запаси гранульованого доменного шлаку на заводах Маріуполя і Уралцемент були запущені унікальні цикли виробництва шлаколужних цементів. Подібне рішення істотно зменшило використання природних ресурсів для виробництва цементного клінкеру, скоротило техно-

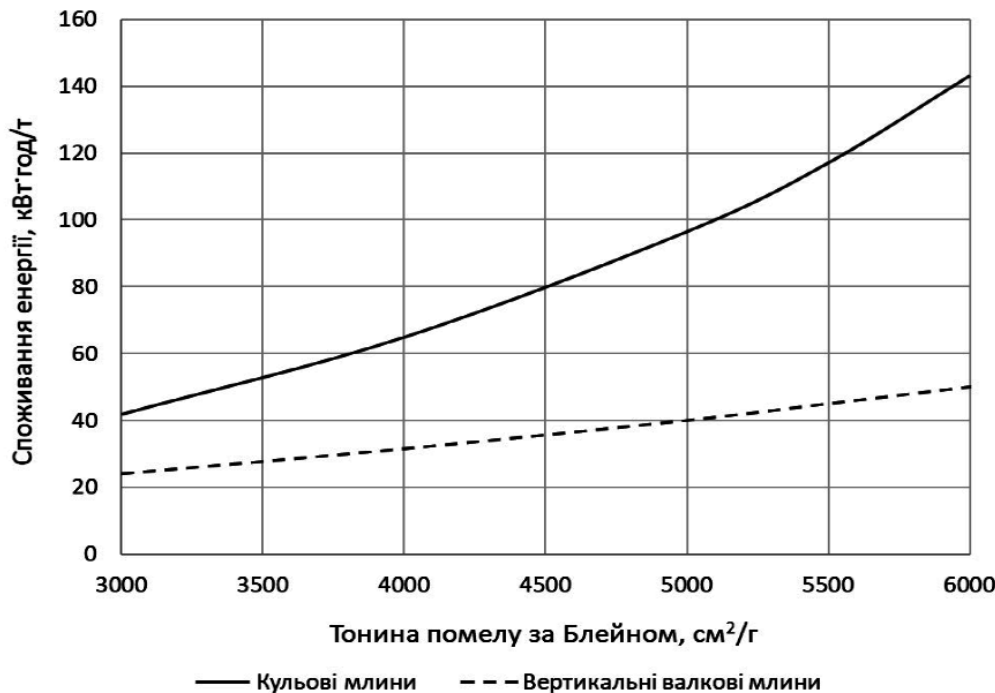


Рис. 7. Енергоспоживання барабанних і вертикальних валкових млинів при помелі шлаку

логічний процес виготовлення цементу і зрештою здешевило продукцію. Головною перевагою шлако-лужних бетонів є їх довговічність і міцність, які, на відміну від портландцементу, із плином часу тільки зростають. Ця властивість досягається за рахунок виникнення все нових і нових зв'язків в кристалічній решітці бетону, причому цей процес не має чітких часових меж і найчастіше відбувається впродовж всього життєвого циклу будівельної споруди. Для прикладу, порівнюючи результати досліджень зразків з танкодрому, який був побудований з шлако-лужного бетону в Челябінській області ще у 1980 р., дійшли висновку, що за останні 40 років його міцність тільки зростає.

На відміну від радянських часів, коли значні витрати електроенергії, які супроводжують процес змелювання в барабанних млинах гранульованого доменного шлаку до тонини помелу цементу 3000-4000 см²/г, особливо не турбували, сьогодні практично звели переваги шлако-лужної технології нанівець. Проте, з появою сучасних помольних комплексів вертикальних валкових млинів, помел шлаків став економічним та ефективним рішенням для виробництва великих об'ємів геополімерцементу.

Аналізуючи порівняльні графіки енергоспоживання млинів при помелі шлаків (рис. 7), стає очевидно, що вертикальні валкові млини, такі, як FLSmidth, Gebr.Pfeiffer AG, Loesche Mill, ThyssenKrupp Polysius мають значні переваги перед кульовими млинами з точки зору їх енергоефективності. Як зазначається в [17-19], питома витрата енергії кульових млинів у 1,5-2 рази більша, ніж у вертикальних валкових млинів, які виконують ті самі операції, залежно від ступеня оптимізації кульових млинів. Рис. 7 показує зростаючу енергетичну вигоду, яку можна отримати з вертикальним валковим млином із збільшенням питомої поверхні за Блейном.

Дослідження показали, що можна заощадити до 30% капітальних витрат при встановленні в складі помольної установки для помелу сировини замість двох однакових кульових млинів, що працюють паралельно, одного вертикального валкового млина великої продуктивності. На основі цих досліджень Loesche GmbH, наприклад, розробила млин для помелу

шлаку, який має шість валків на помольному столі. Цей млин (марки LM 60.6), має помольний стіл діаметром 6,00 м та встановлену потужність приводу 4650 кВт. Навіть при поганій змелювальній спроможності сировини цей млин забезпечує отримання 640 т/год при тонкості сировини, що відповідає залишку близько 15% на решеті 0,09 мм. Перші млини, оснащені шістьма котками, введені в експлуатацію в 2007 році на цементному заводі в США. Їх розробка базується не тільки на роликівому модулі, але і на "концепції резервування", за якої для підтримання роботи печі, цей млин повинен забезпечити наявність 100% завантаження сировиною, навіть коли на млині працює лише чотири валки. Ця конструкція є перспективною для застосування в Україні як для подрібнення цементного клінкеру, так і гранульованого доменного шлаку.

Висновки та перспективи подальших досліджень. При будівництві цементного заводу, незалежно від способу виробництва, правильний вибір інноваційного помольного обладнання має велике техніко-економічне значення:

- на помел цементу витрачається до 80% всієї споживаної електроенергії;

- під час помелу сировини і цементу закладаються технологічні параметри, що забезпечують отримання цементу високої якості і мінімальної витрати електроенергії на його помел;

- з усієї різноманітності цементних млинів: кульових, валкових, прес-валкових, струминних тощо, переважне промислове використання при будівництві нових цементних заводів, незалежно від потужності і способу виробництва отримали вертикальні валкові млини; такі млини мають збільшену одиничну продуктивність за значно нижчих питомих енерговитратах, ніж в кульових млинах.

- використання вертикальних валкових цементних млинів великої одиничної продуктивності скорочують витрати на капітальне будівництво і технічне утримання (обслуговування) в процесі експлуатації;

- для зменшення вартості цементу пропонується використовувати інноваційні технології тонкого помелу шлаків у вертикальних валкових млинах, що вирішує крім того складні екологічні проблеми держави.

Література

1. Глуховский В.Д., Пахомов В.А. Шлакощелочные цементы и бетоны. Киев?: "Будівельник", 1978. 184 с.
2. Кривенко П.В., Пушкарева Е.К. Долговечность шлакощелочного бетона. Киев : Будівельник, 1993. 224 с.
3. Алексеев Б.В. Технология производства цемента. Москва : Высш. школа, 1980. 266 с.
4. Журавлев М. И., Фоломеев А.А. Механическое оборудование предприятий вяжущих материалов и изделий на базе их: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Высш. школа, 2005. 232 с.
5. Мани Р.С., Йоргенсен С.В. Опыт применения вертикальной валковой мельницы ОК для помола цемента и шлака. Цемент и его применение. 2012. №3. С.70-75.
6. Gupta A., Yan D. Mineral processing design and operations. An introduction. 2nd edition. Elsevier. 2016.
7. Barry A. Wills, James A. Finch. Wills' Mineral Processing Technology. Elsevier. 2016.
8. Цементная промышленность на постсоветском пространстве сегодня: взгляд изнутри. Цемент и его применение. 2012. №1. С.93-107.
9. Pohl M., Obrý C., Zysk K.-H. Operating experience with a vertical roller mill for grinding blastfurnace slag and composite cements. Cement International 10 (2012) №. 2. P. 56-69.
10. Райхард И. Применение валковых мельниц MPS для помола цемента и доменного шлака. Цемент и его применение. 2006. №6. С.70 - 72.
11. 2019 activity report. Cembureau. The European Cement Association. 2020. 39p.
12. U.S. Geological Survey, 2020, Mineral commodity summaries 2020: U.S. Geological Survey, 200 p. <https://doi.org/10.3133/mcs2020>
13. Edwards P. The 2010s: A decade in the cement sector. Global Cement Magazine. - Desebmer 2019. - P.10-14

14. Workman D. *Cement Exports by Country*. 2020. URL: <http://www.worldstopexports.com/cement-exports-by-country/> (- дата звернення: 29.01.2020)
15. Murphy A., Tucker H., Coyne M., Touryalai H. *Forbes Global 2000 rankings, The World's Biggest Public Companies*. URL: <https://www.forbes.com/global2000/#1a643763335d> (дата звернення: 29.01.2020)
16. International Trade Centre, *Trade Map*. URL: <https://www.trademap.org/Index.aspx> (дата звернення: 29.01.2020)
17. Strohmeyer D. *Latest technological innovations in grinding with the vertical roller mill*. *Cement International*. 2/2015. Vol. 13. - P.42-48.
18. Schieler A. *Are you ready2grind?* Tradeship Publications Ltd: *International Cement Review*. - August 2018.
19. M. Keybner, T. Fahrland, *Drive selection for large vertical roller mills*. *Cement International*. - 2/2016. - Vol. 14. - P.41-48.

References

1. Gluhovskij V.D., Pahomov V.A. (1978) *Shlakoshelochnye cementy i betony [Slag-alkali cements and concretes]*. Kiev?: Budivelnik. (in Russian)
2. Krivenko P.V., Pushkareva E.K. (1993) *Dolgovechnost shlakoshelochnogo betona [Durability of slag-alkali concrete]*. Kiev: Budivelnik. (in Russian)
3. Alekseev B.V. (1980) *Tehnologiya proizvodstva cementa [Cement production technology]* Moscow: Higher. School. (in Russian)
4. Zhuravlev M. I., Folomeev A.A. (2005) *Mehanicheskoe oborudovanie predpriyatij vyazhushih materialov i izdelij na baze ih: uchebnik dlya vuzov [Mechanical equipment of enterprises of knitting materials and products based on them]*. Moscow: Higher. School. (in Russian).
5. Mani R.S., Jorgensen S.V. (2012) *Opyt primeneniya vertikalnoj valkovoj melnicy OK dlya pomola cementa i shlaka [Experience of using the OK vertical roller mill for grinding cement and slag]*. *Cement and its application*, no. 3, pp. 70-75.
6. Gupta A., Yan D. (2016) *Mineral processing design and operations. An introduction*. Elsevier.
7. Barry A. Wills, James A. Finch (2016) *Wills' Mineral Processing Technology*. Elsevier.
8. Publishing house "Cement" magazine (2012) *Cementnaya promyshlennost na postsovetskom prostranstve segodnya: vzglyad iznutri [The cement industry in the post-Soviet space today: an inside look]*. *Cement and its application*, no. 1, pp.93-107.
9. Pohl M., Obry C., Zysk K.-H. (2012) *Operating experience with a vertical roller mill for grinding blastfurnace slag and composite cements*. *Cement international*, vol. 10, no 2, pp. 56-69.
10. Rajhard I. (2006) *Primenenie valkovykh melnic MPS dlya pomola cementa i domennogo shlaka [Application of MPS roll mills for grinding cement and blast furnace slag]*. *Cement and its application*, no 6, pp.70 - 72.
11. The European Cement Association (2020) *2019 Activity Report*. Cembureau The European Cement Association. May 2020. (in English)
12. U.S. Geological Survey (2020) *Mineral commodity summaries 2020: U.S. Geological Survey*, <https://doi.org/10.3133/mcs2020>
13. Edwards P. (2019) *The 2010s: A decade in the cement sector*. *Global Cement Magazine*. Desebmer 2019, pp.10-14.
14. Workman D. (2020) *Cement Exports by Country*. Available at: <http://www.worldstopexports.com/cement-exports-by-country/> (accessed 29 January 2020).
15. Murphy A., Tucker H., Coyne M., Touryalai H. (2020) *Forbes Global 2000 rankings, The World's Biggest Public Companies*. Available at: <https://www.forbes.com/global2000/#1a643763335d> (accessed 29 January 2020).
16. International Trade Centre (2020) *Trade Map*. Available at: <https://www.trademap.org/Index.aspx> (accessed 29 January 2020).
17. Strohmeyer D. (2015) *Latest technological innovations in grinding with the vertical roller mill*. *Cement International*, vol. 13, pp.42-48.
18. Schieler A. (2018) *Are you ready2grind?* Tradeship Publications Ltd: *International Cement Review*.
19. Keybner M., Fahrland T. (2016) *Drive selection for large vertical roller mills*. *Cement International*, vol. 14. pp.41-48.

Л.А. Згалат-Лозинская, к.э.н., доц., докторант кафедры экономической теории, учета и налогообложения, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Orcid 0000-0002-2063-5738;

Н.А. Клименко, к.т.н., доцент кафедры машин і оборудования технологических процессов, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Orcid 0000-0002-6166-8966

ЭКОНОМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. В работе выполнен анализ изготовления цемента в Украине и мире на протяжении последних лет. Представлены данные распределения цементного рынка, его особенностей развития и трансформации в контексте мировых тенденций энерго- и ресурсосбережения, повышения производительности и эффективности цементных предприятий. Рассмотрены используемые технологии цементного производства на основе его основного оборудования — мельниц. Определены основные пути улучшения ситуации в цементной отрасли, как ведущего звена строительного рынка Украины. Предложено обратить внимание как производителей цемента, так и министерства регионального развития на широкое внедрение инновационных технологий в цементной промышленности, которые смогут не только обеспечить существенное умень-

шение энергоемкости производства при одновременном увеличении производительности и стать движущей силой в общем оздоровлении экономической ситуации в Украине, а также обеспечить решение экологических проблем.

Ключевые слова: инновационное оборудование; помол цемента; эффективность использования; вертикальные валковые мельницы; энергоэффективность; удельная производительность; переработка шлаков.

L. Zgalat-Lozynska, Ph. D., associate professor, doctoral student of the department of economic theory, accounting and taxation, Kiev National University of Construction and Architecture, Kyiv,

Orcid 0000-0002-2063-5738;

M. Klymenko, Associate Professor of the Department of Machinery and Equipment of Technological Processes, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv,

Orcid 0000-0002-6166-8966

ECONOMIC AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THE INTRODUCTION OF INNOVATIVE EQUIPMENT IN THE BUILDING MATERIALS INDUSTRY

Annotation. *The paper analyzes the cement production situation in Ukraine and in the whole world recent years. Data on the distribution of the cement market, its features of development and transformation in the context of global trends in energy and resource conservation, increasing productivity and efficiency of cement enterprises are presented. An analysis of the largest cement-exporting countries in 2019, the structure of world cement supplies in terms of individual types of cement. The analysis of dynamics of cement production in Ukraine is carried out. There is a clear correlation between the volume of cement production in Ukraine and the volume of construction and road works, for which cement is the main raw material. The stability of cement production by domestic producers against the background of growing imports has been established. Analysis of the reasons for non-competitiveness of Ukrainian cement companies revealed the causes, including outdated equipment, its high level of physical and moral wear, high energy consumption both at the stage of clinker production and final grinding of cement in granular blast furnace slag drum mills. The used technologies of cement production on the basis of its main equipment - mills are considered. It has been found that vertical roll mills offer greater versatility than traditional ball mills: space is reduced by having grinding and separation units assembled in one machine, gas consumption is lower, which allows the use of material with a higher moisture content. Comparative graphs of energy consumption of mills during slag grinding with the help of vertical roll and ball mills are analyzed. The main ways to improve the situation in the cement industry as a leading link in the construction market of Ukraine are identified. It is proposed to draw the attention of both cement producers and the Ministry of Regional Development to the widespread introduction of innovative technologies in the cement industry, which can provide a significant reduction in energy intensity while increasing productivity and become a driving force in improving the economic situation in Ukraine. environmental problems.*

Key words: *innovative equipment; cement grinding; efficiency of use; vertical roll mills; energy efficiency; specific productivity; slag processing.*