

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ

ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy, 2018, 1(52): 59–64
doi: <https://doi.org/10.15407/pge2018.01.059>

УДК 621.3.11.22

Л.О. КЕСОВА^{1,2}, д-р техн. наук, професор; **Г.В. КРАВЧУК¹**

¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
пр-т Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна

²Інститут загальної енергетики НАН України,
вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

ПЕРСПЕКТИВНІ ЗАХОДИ УТИЛІЗАЦІЇ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ ТЕС

Визначено шляхи корисного використання в Україні золошлакових відходів ТЕС, основні заходи їх переробки при широкомасштабній утилізації.

Ключові слова: теплова електростанція, золошлак, відходи, утилізація, лантаноїди, переробка, ціносфери, рідкісноземельні елементи.

Головним джерелом енергоресурсів в паливно-енергетичному комплексі України є вугілля, продукти спалювання якого – золошлакові відходи (ЗШВ) – накопичуються на золовідвалах теплових електростанцій (ТЕС), створюють проблеми землевідведення та негативно впливають на навколишнє середовище. Щорічно в Україні накопичується 8 млн.т ЗШВ, які займають площу більше 22 тис. га [1]. У країнах світу ЗШВ ТЕС – це комерційний товар, що утилізується, наприклад, в ЄС – 92%, в Україні – на рівні 5% [2].

Низький рівень утилізації ЗШВ в Україні пояснюється відсутністю законодавчих та правових передумов для їх вільного товарообігу, фінансових стимулів для заохочення інвестування коштів у модернізацію існуючих систем видалення золи та шлаку, недостатньою інфраструктурною готовністю ТЕС до масштабного заохочення використання золошлаків та екологічна політика.

Для визначення можливостей використання ЗШВ ТЕС в Україні та виявлення потен-

ційних покупців розглянемо існуючу практику Європейського Союзу [2–6].

В ЄС основними споживачами ЗШВ є сектори будівельної промисловості: летка зола для цементних та бетонних конструкцій, донна зола та шлак від котлів для будівництва доріг та побічних продуктів у різних галузях (табл. 1).

Речовини, що містяться в золі, умовно поділяються на 4 групи: I – скловидні – переважно, фероалюмосилікатне скло, що мають пуцоланову активність; II – магнітосфери, мікросфери, ціносфери, в тому числі, рідкісноземельні мінерали; III – кристалічні – первинні мінерали і сполуки, утворені в процесі спалювання вугілля (гематит Fe_2O_3 , муліт $3Al_2SiO_7$, кварц SiO_2 , рідше геленіт $Ca_2Al_2SiO_7$, фаяліт Fe_2SiO_4), а також новоутворені силікати (сплавлення кремнезему SiO_2 з твердими лугами), алюмінати (сплавлення Al_2O_3 с оксидами металів), ферити кальцію ($CaO Fe_2O_3$ та ін.) різної основності, що є цементними (клінкерними) матеріалами; IV – органічні речовини – наслідок недопалу палива [7].

До складу мікроелементів ціносфер входять лантаноїди, що складають групу рідкіс-

Таблиця 1 – Використання ЗШВ від спалювання вугілля в ЄС [3]

Галузь застосування	Летка зола		Донна зола/ шлак		Продукти сорбційного процесу	Гіпс
	лігніт	антрацит	лігніт	антрацит		
Будівельна промисловість:						
Добавки до бетону (без рахування сумішей)	x	x				
Легкий заповнювач для бетону	x	x	x	x		
Пінний розчин, пористий бетон	x	x			x	
Високоякісний бетон	x	x				
Суміші для кріплення в цементній промисловості	x	x				
Складові сировинної суміші для цементної промисловості	x	x				
Цементні добавки для затримки усадки					x	x
Ізоляційні перегородки	x	x			x	
Гіпсові конструкції						x
Керамічна промисловість	x	x	x	x	x	
Будівництво доріг та ландшафтна архітектура	x	x	x	x		
Будівництво дамб	x	x	x	x		
Стабілізація ґрунтів, сипучий будівельний матеріал для земляних робіт та будівництва доріг	x	x	x	x	x	
Звукоізоляція		x		x	x	
Зв'язування небезпечних речовин	x	x				
Матеріал для облаштування дна звалища	x	x			x	
Основа для біологічної очистки стічних вод			x	x		
Заповнювач для трубоукладки						
Стабілізатор для сумішей цементу	x	x			x	
Заповнювач траншей	x	x			x	
Матеріали для рекультивації при видобуванні корисних копалин	x	x	x		x	
Виробництво цеоліту	x	x				
Рекуперация тепла			x	x		
Сіроочистка димових газів					x	

ноземельних мінералів, найважливішими із яких є монацит (Ce, La, Nb...)PO₄, ксенотим (Y, Eu, Cd...)PO₄, бастнезит (La, Ce)FCO₃ та ін. Їх потребу (близько 100 т/рік) в Україні покриває імпорт [8, 9]. За кордоном летку золу утилізують до 100%, застосовуючи методи переробки з видаленням концентратів та стабілізації якості золи при виробництві товарної продукції в промисловості. Переробка включає впровадження на пиловугільних ТЕС «сухих» способів роздільного відведення золи та шлаку, методів активації ЗШВ ТЕС за рахунок класифікації за зерновим складом, флотації, магнітної та гравітаційної сепарації суспензій, сухої трибоадгезійної або електростатичної сепарації та ін.

Класифікація золи-виносу по класу 80–100 мкм дозволяє знизити вміст вуглецю з 30 до 5% [10]. Ефективними методами вловлювання вуглецю є флотаційне збагачення із застосуванням реагентів, що сприяють переходу вуглецю до (70–80)% в пінний продукт, а також електростатична сепарація, яка дозволяє знизити вміст вуглецю в золі приблизно до 2%. Вуглецеву фракцію (70%-ний концентрат) можливо повернути в котел на допалювання, підвищив ККД завдяки зменшенню недопалу палива у комбінованій технології MAC та MAR компанії Magaldi Power S.p.A [11]. Ця технологія об'єднує системи пневмозоловідведення (MAR) та сухого видалення шлаку (MAC), що перед-

бачає змішування сухого шлаку, золи-виносу та вугілля перед вуглерозмельючими млинами. Суміш за існуючими системами пилоподачі направляється на допалювання в топкову камеру котла. Технологію досліджено на енергоблоці потужністю 426 МВт ТЕС Миллмеран (Австралія) при спалюванні вугілля теплотворної здатності 4300 ккал/кг із зольністю 34,8%. За результатами отримано: температуру шлаку на виході із холодної воронки – 150 °С (до впровадження MAC – 850 °С); витрати охолоджуючого повітря в бункер 1,4% від загальної кількості повітря на горіння палива; зменшення до 90% втрати теплової енергії шлаку (за рахунок повернутого в котел повітря, що охолоджує шлак); зниження на 75% вмісту горючих в шлаку та втрат із відхідними газами, підвищення ККД котла на 0,375% [11]. Комплексна переробка ЗШВ може підвищити ефективність капіталовкладень в електроенергетичну галузь, забезпечивши створення безвідходних виробничих комплексів. Комерційний потенціал компонентів, які можливо отримати із тони золи-виносу коксового концентрату, наведено в табл. 2 [8].

Згідно міжнародних зобов'язань України в рамках договору про приєднання до Енергетичного Співтовариства Європейського Союзу теплова енергетика має зазнати суттєвих перетворень щодо зменшення викидів в атмосферу та вжити відповідних заходів,

Таблиця 2 – Комерційний потенціал компонентів із тони концентрату золи-виносу

№ п/п	Найменування компонентів (продуктів)	Кількість, кг
1	Твердий продукт із високим вмістом кремнезему (при більш глибокій переробці біла сажа - наповнювач для гуми і пластиків)	~ 800
2	Сіль алюмінію, глинозем – сировина для алюмінієвої промисловості	100
3	Малозольний вуглецевий матеріал	30
4	Агрегати мікросфер з коксом – добавка в сировину для будкераміки	30
5	Ціносфери	25
6	Мікросфери із щільністю 1,0–1,1 (важкі ціносфери, середній розмір біля 40 мкм)	15
7	Концентрат рідких і рідкоземельних елементів	0,1
8	Ванадій	0,12

пов'язаних як з роботою ТЕС (впровадження екологічно чистих вугільних енерготехнологій, сірко- та азотоочисних установок), так, і з утилізацією відходів від спалювання твердого палива.

Також, згідно Розпорядження Кабінету Міністрів України від 08.11.2017 № 820-р «Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року» та статті 18 Постанови Верховної Ради України від 05.03.98 № 188/98-ВР «Основні напрямки політики України в галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки» необхідно реалізувати заходи з утилізації ЗШВ ТЕС в Україні. Першим документом передбачено розробку проекту Національного плану і Стратегії управління відходами, яка включає поетапне виконання загальних та спеціальних заходів, в тому числі, в галузі енергетики. Другим документом – здійснення програм щодо утилізації твердих відходів (золи, шлаків, шламів, пилу) для потреб будівельної індустрії.

Для задоволення попиту та управління утилізацією ЗШВ ТЕС в Україні доцільно організувати ринок користувачів золи. Так, «Український фінансово-промисловий концерн» пропонує створити ВАТ «ТЕС-золопродукт» за участю потужних ТЕС, Міненерговугілля, виробників золошлакового устаткування, споживачів ЗШВ, до функцій та завдань яких входять: виробництво золопродуктів на ТЕС та доставка їх споживачам; організація проведення науково-дослідних, проектно-конструкторських робіт, лабораторії аналізу фізико-хімічних властивостей золи та шлаку з одночасним отриманням сертифікату якості ЗШВ; маркетинг на ринку України, регіональ-

них і міжрегіональних ринків; формування лізингової системи на установки; розвиток сервісних послуг: монтаж і наладка устаткування, розробка технологічних регламентів, навчання кадрів; організація спільної роботи з Мінприроди, Міннауки, Міненерговугілля, Мінрегіон, лобіювання через уряд і парламент законодавчих документів із стимулювання виробництва золошлакових продуктів ТЕС; пропаганда (через засоби масової інформації) переваг золошлакопродуктів, порівняно із виробами з традиційної сировини; розробка проектів регіональних програм з утилізації побічних продуктів спалювання вугілля ТЕС для потреб будівельної індустрії спільно із залученням зацікавлених галузей економіки [12].

Схема можливої бізнес-структури, що використовує золу і шлак пиловугільних електростанцій, наведена на рисунку [13].

Малі підприємства з переробки золи можуть бути структурними підрозділами енергокомпанії, що спрощує логістику поставки золи для переробки.

Аналіз стану в Україні та світовий досвід дозволяє рекомендувати впровадження заходів з утилізації ЗШВ ТЕС за трьома етапами [2, 8, 14, 15]:

I – виділення державної фінансової допомоги; введення інвестиційної складової при впровадженні мало- і безвідходних технологій та виробничих комплексів щодо переробки і збуту ЗШВ; пільгове оподаткування прибутку на період окупності інвестицій як для підприємств з виготовлення продукції на основі ЗШВ, так і для енергокомпаній, які їх утилізують;

II – підготовка нормативної бази з комплексної стандартизації будівельних матеріалів на основі ЗШВ ТЕС; створення в галузі

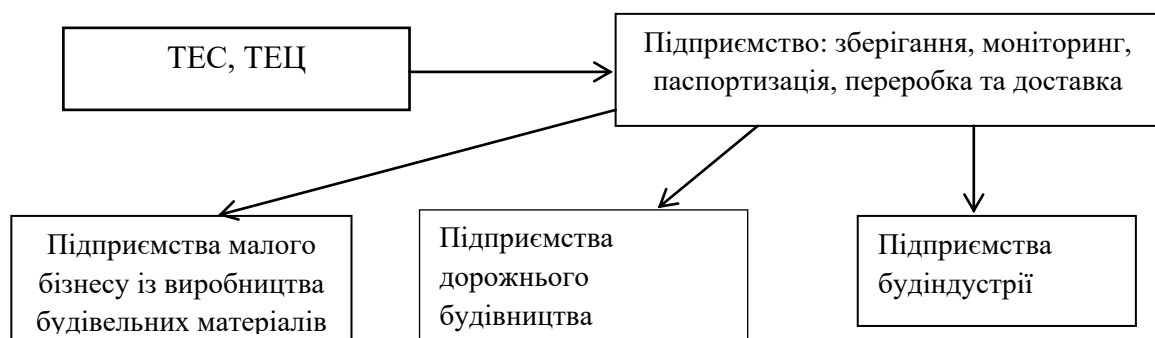


Рисунок. Схема можливої бізнес-структури [13]

централізованої дослідницької лабораторії з моніторингу фізичних та хімічних властивостей ЗШВ; розробку та впровадження сухих способів роздільного видалення золи і шлаку; максимальну утилізацію ЗШВ золовідвалів згідно з існуючої нормативної бази для дорожніх робіт [16—26];

III – суху золу та шлак, якість яких відповідатиме вимогам Європейського стандарту (EN 450-1, EN 450-2, EN 206) та вітчизняної нормативної бази, можливо використовувати: згідно [27—42]. Впровадження на цьому етапі комплексної переробки ЗШВ розширить можливості утилізації, а прогресивні технології вилуговування та сепарації дозволять отримати цінні метали, концентрат рідкоземельних елементів та розділену на фракції золу зі вмістом вуглецю до 5% для виготовлення бетонів і більше 5% для приготування глиняної червоної цегли, тощо.

ВИСНОВКИ

Реалізація програми з утилізації ЗШВ ТЕС дозволить:

1) покращити економічний стан України за рахунок створення ринку збуту ЗШВ та впровадження маркетингу з планування на підприємствах енергетичної галузі;

2) змінити погляд на відходи ТЕС, не як на забруднювальні речовини, що вимагають контролю, а як на джерело сировини і матеріалів, які можуть приносити прибуток державі у різних галузях промисловості;

3) зменшити витрати на захоронення відходів, уникнути забруднення ґрунтів та підземних вод, вивільнити території під золовідвалами, сприяти загальному оздоровленню як населення, так і навколишнього середовища.

1. Алексей Горбовский. Ценный шлак. Золошлаковые отходы украинских ТЭС станут коммерческим товаром. *Энергобизнес*. 2012. № 28/774. С. 21—22.

2. Золошлаки ДТЕК – продукт, а не відхід – СКМ. URL: http://www.sustainability.scm.com.ua/uk/about_scm/.../84/ (дата звернення: 03.03.2017).

3. Європейський союз. Представництво європейської комісії в Україні, Молдові та Білорусі. «Екологічне дослідження». Звіт «Потреби і можливості реального скорочення викидів теплових електростанцій в контексті інтеграції ОЕС України до УСТЕ», червень 2008 року.

4. W.G. Thompson, D. Whitlock, J. Bittner, A. Vasiliaskus, and E. Tondu. Commercial separation of unburnt carbon from flyash // *Proceedings of 1995 International Ash Utilization Symposium*, Sponsored by Center for Applied Energy Research and the Journal FUEL, Lexington, Kentucky, October 23—25, 1995.

5. Кудрявый В.В., Котлер В.Р. Использование золошлаковых отходов на зарубежных ТЭС. *Энергохозяйство за рубежом*. 2012. № 5. С. 17—20.

6. ASHES From Power Generation UPS. Monograph. Scasow, 2006.

7. Гаврилов Э.И. Топливо-транспортное хозяйство и золоудаление на ТЭС. Москва: Изд-во «Энергоатомиздат», 1987. С. 101—104.

8. Зырянов В.В., Зырянов Д.В. Зола уноса – техногенное сырье, Москва: Изд-во ООО «ИПЦ «Маска», 2009. С. 13—16, 250—251.

9. Лантанойди. URL: <http://uk.wikipedia.org> (дата звернення 29.01.2018)

10. Делицын Л.М., Власов А.С. Необходимость новых подходов к использованию золы угольных ТЭ, *Теплоэнергетика*. 2010. № 4. С. 53.

11. Котлер В.Р., Градобоев В.Н. Сухое удаление топочного шлака, *Энергохозяйство за рубежом*. 2014. № 6. С. 22—24.

12. Коваль О.Н., Ерошенко В.Г. Анализ технологий и методов утилизации твёрдых продуктов десульфуризации и частиц золы. URL: <http://www.ufpk.com.ua/files/p3/analiz.html> (дата звернення: 22.12.2017)

13. Литовкин В.В., Литовкин А.В. Обращение с твердыми отходами угольных ТЭС. Состояние дел и перспективы. *Энергетика та Електрифікація*. 2012. № 10. С. 29—32.

14. Постановка и решение проблемы. URL: http://zoloplast.do.am/news/postanovka_i_reshenie_problemy/2014-10-10-4 (дата звернення: 21.12.2017).

15. Кривенко П.В., Пушкарева Е.К., Гоц В.И., Ковальчук Г.Ю. Цементы и бетоны на основе топливных зол и шлаков, Киев: Изд-во ООО «ИПК Экспресс-Полиграф», 2012. 258 с.

16. СОУ 42.1-37641918-104:2013. Зола-виносу і суміші золошлакові теплових електростанцій для дорожніх робіт. Технічні умови.
17. ДБН.В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво
18. ДСТУ-Н Б В.2.3-32:2016. Настанова з улаштування земляного полотна автомобільних доріг.
19. ВСН 185-75. Технические указания по использованию зол уноса и золошлаковых смесей от сжигания различных видов твердого топлива для сооружения земляного полотна и устройства дорожных оснований и покрытий автомобильных дорог.
20. ДСТУ Б В.2.7-119-2003. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови.
21. ТУ У В.2.7-38.1-22927045-001:201X. Золи-виносу та суміші золошлакові Зміївської теплової електростанції для дорожньо-будівельних робіт. Технічні умови.
22. ТУ У В.2.7-38.1-22927045-002:201X. Золи-виносу та суміші золошлакові Трипільської теплової електростанції для дорожньо-будівельних робіт. Технічні умови.
23. ТУ У В.2.7-38.1-22927045-003:201X. Золи-виносу та суміші золошлакові Вуглегірської теплової електростанції для дорожньо-будівельних робіт. Технічні умови.
24. ГБН В.2.3-37641918-554:2013. Шари дорожнього одягу з кам'яних матеріалів, відходів промисловості і ґрунтів, укріплених цементом. Проектування та будівництво.
25. ДСТУ Б В.2.7-71-98 (ГОСТ 8269.0-97). Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань. Поправка.
26. ДСТУ Б В.2.7-72-98 (ГОСТ 8269.1-97). Щебінь і гравій з щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи хімічного аналізу.
27. EN 450-1. Fly ash for concrete. Definition, specifications and conformity criteria.
28. EN 450-2 BS EN 450-2:2005. Fly ash for concrete. Conformity evaluation .
29. ДСТУБ.В.2.7-181:2009. Будівельні матеріали. Цементи лужні. Технічні умови.
30. ДСТУ Б.В.2.7 – 46-96. Будівельні матеріали. Цементи лужні. Технічні умови.
31. ДСТУ Б В.2.7-128:2006. Будівельні матеріали. Добавки активні мінеральні та добавки-наповнювачі до цементу. Технічні умови.
32. ДСТУ Б В.2.7-205:2009. Будівельні матеріали. Золи-виносу теплових електростанцій для бетонів. Технічні умови.
33. ДСТУ Б В.2.7-249:2011(ГОСТ 8462-85, MOD). Бетони жаростійкі. Технічні умови.
34. ДСТУ Б.В.2.7-211:2009. Будівельні матеріали. Суміші золошлакові теплових електростанцій для бетонів. Технічні умови.
35. РСН 278-83. Инструкция по изготовлению и применению тяжелых бетонов с использованием зол шлаков и золошлаковых смесей тепловых электростанций.
36. ДСТУ Б. В.2.7-43-96. Бетони важкі. Технічні умови.
37. ДСТУ Б В.2.7-176:2008. Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови.
38. ДСТУ Б В.2.7-45:2010. Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови.
39. ДСТУ Б В.2.7-176:2008 (EN 206-1:2000, NEQ). Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови.
40. ДСТУ Б В.2.7-12-94. Сировина для виробництва пористих заповнювачів. Класифікація.
41. ДСТУ Б В.2.7-74-98. Крупні заповнювачі природні, з відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Класифікація.
42. ДСТУ Б.А.1.1-26-94. Відходи промисловості для будівельних виробів. Терміни та визначення.

Надійшла до редколегії 30.01.2018