

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Гірничий факультет
Кафедра природоохоронної діяльності

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
Віктор КОСТЕНКО
(підпис) (ініціали, прізвище)
“ ” 2023 р.

**ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
БАКАЛАВРА**

**на тему: «Зниження антропогенного впливу на довкілля ТЕС за рахунок
утилізації золошлакових відходів»**

Виконала: студентка 4 курсу, групи ЕКОЗ-19

напряму підготовки: 101 Екологія

Олена САВІНА
(прізвище та ініціали) (підпис)

Керівник Ph.D., доц. Ольга БОГОМАЗ
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Нормоконтроль:

Олексій КУТНЯШЕНКО
(підпис)

*Засвідчую, що у цій дипломній
роботі немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.*

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2023

Гірничий факультет
Кафедра «Природоохоронна діяльність»
Освітньо-кваліфікаційний рівень - бакалавр
Напрямок підготовки 101 Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри, д.т.н., проф.

_____ Віктор КОСТЕНКО

_____. _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра
Олени САВІНОЇ

1. Тема роботи: «Зниження антропогенного впливу на довкілля ТЕС за рахунок утилізації золошлакових відходів»

керівник роботи Ph.D., доц. Ольга БОГОМАЗ

затверджені наказом вищого навчального закладу від 08.05.2023 р. №181

2. Строк подання студентом роботи 10.06.2023 р

3. Вихідні дані до роботи: статистичні звіти Державної служби статистики України, статистичні звіти підприємства Курахівська ТЕС та інші матеріали.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Теплові електростанції, як джерело забруднення довкілля; 2 Напрями використання золошлакових відходів; 3. Зменшення антропогенного впливу тес на довкілля шляхом використання відходів згоряння для будівництва доріг.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): презентація на форматі А4

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Ольга БОГОМАЗ		
Розділ 2	Ольга БОГОМАЗ		
Розділ 3	Ольга БОГОМАЗ		
Додаток А. Охорона праці			
Нормоконтроль	Олексій КУТНЯШЕНКО		

7. Дата видачі завдання 25.04.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Найменування видів робіт	Термін виконання	Форма звітності	Відмітка наукового керівника
Розділ 1	05.05.2023	Рукопис	
Розділ 2	15.05.2023	Рукопис	
Розділ 3	21.05.2023	Рукопис	
Додаток. Охорона праці	27.05.2023	Рукопис	
Оформлення пояснювальної записки	03.06.2023	Рукопис	
Підготовка презентації	07.06.2023	Рукопис	

Науковий керівник
Студент

Ольга БОГОМАЗ
Олена САВІНА

АНОТАЦІЯ

Олена САВІНА. Зниження антропогенного впливу на довкілля ТЕС за рахунок утилізації золошлакових відходів. Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за напрямом підготовки 101 "Екологія". – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023.

Сторінок: 58, 18 ілюстрацій, 1 таблиця, 32 посилання.

Об'єкт дослідження – механізми утворення і перенесення до навколишнього середовища золошлакових відходів.

Предмет дослідження – способи зменшення впливу на довкілля золошлакових відходів.

Мета роботи – розробка пропозицій щодо зменшення антропогенного впливу на довкілля теплових електростанцій за рахунок утилізації відходів згоряння.

Методи досліджень: комплексний метод досліджень, що включає аналіз і узагальнення літературних джерел; аналіз нових перспективних та ресурсозберігаючих технологій поводження з відходами згоряння; розрахунково-аналітичний метод.

Відповідно до поставленого в роботі завдання проаналізовано вплив вугільних теплових електростанцій на довкілля. Розглянуто перспективні напрями використання відходів згоряння вугільних ТЕС. Розроблена пропозиція зменшення антропогенного впливу на довкілля підприємства Курахівська ТЕС за рахунок утилізації золошлакових відходів для спорудження земляного полотна дорожнього покриття.

ВУГІЛЬНІ ТЕС, ВІДХОДИ ЗГОРЯННЯ, ЗОЛА, ШЛАК, ДОРОЖНЄ ПОЛОТНО, УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ.

ABSTRACT

Olena SAVINA. Reduction of anthropogenic impact on the environment of thermal power plants due to disposal of ash and slag waste. Graduate qualification work for the "Bachelor degree" in the field of training 101 "Ecology". – DVNZ DonNTU, Lutsk, 2023.

Pages: 58, 18 illustrations, 1 table, 32 references

The object of research is the mechanisms of formation and transfer of ash and slag waste to the environment.

The subject of research is methods of reducing the impact of ash and slag waste on the environment.

The purpose of the work is to develop proposals for reducing the anthropogenic impact on the environment of thermal power plants due to the disposal of combustion waste.

Research methods: a comprehensive research method, which includes the analysis and generalization of literary sources; analysis of new promising and resource-saving technologies for handling combustion waste; calculation and analytical method.

In accordance with the task set in the work, the impact of coal thermal power plants on the environment was analyzed. Prospective directions for the use of waste from the combustion of coal-fired thermal power plants are considered. A proposal has been developed to reduce the anthropogenic impact on the environment of the Kurakhivska thermal power plants enterprise due to the disposal of ash and slag waste for the construction of the road surface.

COAL PLANTS, COMBUSTION WASTE, ASH, SLAG, ROAD FABRIC, WASTE DISPOSAL.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ТЕПЛОВІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ, ЯК ДЖЕРЕЛО ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ.....	9
1.1 Забруднення атмосферного повітря викидами ТЕС.....	11
1.2 Вплив діяльності ТЕС на водні ресурси.....	15
1.3 Вплив діяльності ТЕС на земельні ресурси та біологічні організми.....	17
1.4 Проблема накопичення твердих відходів ТЕС.....	19
1.5 Мета та завдання дослідження.....	27
2 НАПЯМИ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ.....	29
2.1 Розвиток технологій утилізації золошлакових відходів у світі.....	29
2.2 Використання відходів згоряння теплових електростанцій у будівельній галузі.....	33
2.3 Використання відходів згоряння теплових електростанцій як вторинної сировини.....	38
2.4 Використання золошлакових відходів у сільському господарстві.....	41
3 ЗМЕНШЕННЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ ТЕС НА ДОВКІЛЛЯ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ЗГОРЯННЯ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ДОРІГ.....	43
3.1 Аналіз можливості використання відходів згоряння для будівництва доріг.....	43
3.2 Використання відходів згоряння Курахівської ТЕС для будівництва доріг.....	45
3.3 Аналіз ефективності прийнятих рішень.....	47
ВИСНОВКИ.....	49
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51
ДОДАТОК А.....	55
ДОДАТОК Б.....	58

ВСТУП

Однією з умов забезпечення енергетичної незалежності України є функціонування об'єктів паливно-енергетичного комплексу, таких як – атомні електричні станції, теплові електростанції, гідроелектростанції.

Станом на 2021 рік близько 30% всієї електричної енергії, що виробляється в Україні підприємствами паливно-енергетичного комплексу припадає на теплові електричні станції.

Теплові електричні станції – це енергетичні підприємства, які працюють з енергією, що виробляється паровими котлами. В ході виробництва електроенергії на теплових електричних станціях утворюється значна кількість відходів з різним агрегатним станом (тверді, рідкі, газоподібні), які забруднюють атмосферу, гідросферу, літосферу та впливають на життя всіх біологічних організмів.

Найбільшу небезпеку становлять тверді відходи згоряння – зола та шлак. Щорічно в Україні утворюється понад 11 млн. т золошлакових відходів. Згідно зі статистичними даними в Україні спостерігається тенденція щодо зменшення кількості відходів згоряння, що утворюється на об'єктах паливно-енергетичного комплексу. Однак важливим є не лише показник обсягу відходів, що утворюється, а й показник обсягу відходів, що утилізується. Так, в Україні відсоток утилізованих золошлакових відходів варіюється від 43,3% в 2019 році до 28,44% у 2015 році, що в рази менше в порівнянні з іншими країнами. Основна ж частина золошлакових відходів, що утворюється на теплових електростанціях накопичується на шлакових або золошлакових відвалах.

Таким чином, проблема поводження з відходами згоряння в Україні залишається край актуальною.

Мета роботи – розробка пропозицій щодо зменшення антропогенного впливу на довкілля теплових електростанцій за рахунок утилізації відходів згоряння.

Об'єктом дослідження є механізми утворення і перенесення до навколишнього середовища золошлакових відходів.

Предмет дослідження – способи зменшення впливу на довкілля золошлакових відходів.

Методи досліджень: комплексний метод досліджень, що включає аналіз і узагальнення літературних джерел; аналіз нових перспективних та ресурсозберігаючих технологій поводження з відходами згоряння; розрахунково-аналітичний метод.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розглянути вплив теплових електростанцій на довкілля;
- проаналізувати сучасні та перспективні напрями утилізації золошлакових відходів;
- розробити пропозицій щодо зменшення антропогенного впливу на довкілля теплових електростанцій за рахунок утилізації відходів згоряння;
- розробити заходи з охорони праці.

1 ТЕПЛОВІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ, ЯК ДЖЕРЕЛО ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

Однією з умов забезпечення енергетичної незалежності України є функціонування об'єктів паливно-енергетичного комплексу, таких як – атомні електричні станції, теплові електростанції, гідроелектростанції. Разом з тим, всі ці об'єкти паливно-енергетичного комплексу належать до одних з основних антропогенних джерел забруднення довкілля. Характер та інтенсивність антропогенного впливу на компоненти довкілля залежать насамперед від виду палива, що використовується на енергетичних підприємствах для отримання кінцевого продукту – теплової та електричної енергії [1].

Станом на 2021 рік близько 30% всієї електричної енергії, що виробляється в Україні підприємствами паливно-енергетичного комплексу припадає на теплові електричні станції.

Теплові електричні станції – це енергетичні підприємства, які працюють з енергією, що виробляється паровими котлами. Для функціонування парових котлів застосовують різні енергетичні джерела, такі як – вугілля, мазут, природний газ або біомаса. При спалюванні палива утворюється пара, що активує турбіну, яка, своєю чергою, приводить в дію генератор змінного струму для виробництва електроенергії (рис.1.1).

В ході виробництва електроенергії на теплових електричних станціях утворюється значна кількість відходів з різним агрегатним станом (тверді, рідкі, газоподібні), які забруднюють атмосферу, гідросферу, літосферу та впливають на життя всіх біологічних організмів.

Аналіз забруднювачів, що створюються тепловими електростанціями повинен враховувати наступні джерела забруднення:

- забруднення повітря викидами токсичних газів (SO_2 , NO_2 , NO , CO , CO_2 , NH_3 , HCl тощо), твердих часток, а також забруднення в результаті випаровування;
- забруднення поверхневих вод у зонах скидання стічних вод;

- забруднення тепловими викидами;
- забруднення ґрунтів та вплив на біологічних організмів;
- забруднення, спричинене гідротехнічними контурами, які можуть стати джерелами забруднення повітря, шляхом випаровування на градирнях;
- забруднення, викликане утворенням шлаків та золи, які впливають на стан ґрунтів та ґрунтових вод.

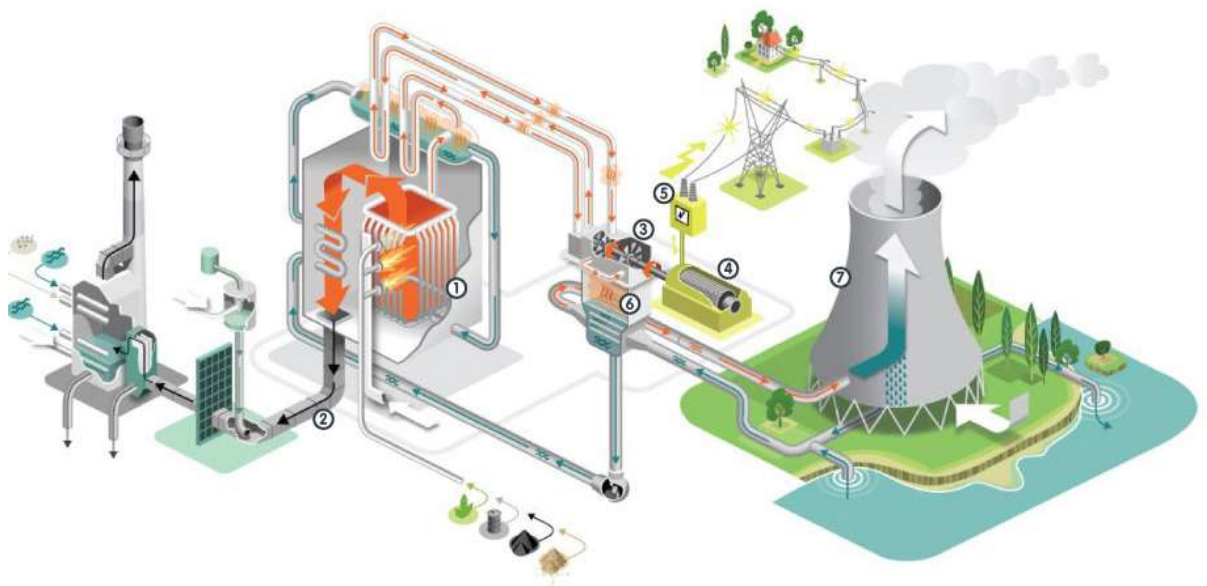


Рисунок 1.1 – Загальна схема роботи традиційних ТЕС: 1 – паровий котел; 2 – електростатична енергія; 3 – турбіна горіння; 4 – генератор; 5 – трансформатор; 6 – конденсатор; 7 – градирня [3].

Джерелами забруднення довкілля на теплових електростанціях виступають:

- транспортне устаткування;
- склади зберігання палива та устаткування підготовки палива до спалювання;
- технологічні водоочисні споруди;
- стічні води;

- системи очищення та нейтралізації, а також колектори, що пов'язані з ними;
- шлакові відкладення, зола та побічні продукти реакцій згорання.

1.1 Забруднення атмосферного повітря викидами ТЕС

Побічними продуктами, що утворюються на теплових електростанціях при спалюванні викопного палива, є парникові гази та зола. Існує шість парникових газів з відповідним радіаційним впливом і потенціалом глобального потепління: CO_2 , CH_4 , N_2O , гідрофторвуглецеві сполуки, перфторвуглецеві сполуки, SF_6 [2]. Однак викиди вуглекислого газу (CO_2) є найважливішими з парникових газів, концентрація яких в атмосфері зростає через антропогенну діяльність.

ТЕС відносять до промислових підприємств які є найбільшим джерелом надходження до атмосферного повітря вуглекислого газу. Встановлено, що викиди вуглекислого газу тепловими електростанціями становлять приблизно 40% пов'язаних з енергетикою викидів CO_2 у світі [4].

Україна, разом з Туреччиною та Західними Балканами, належить до країн Європи, які є найбільшими забруднювачами повітря від вугільних електростанцій. За даними аналітичного центру Ember, станом на 2019 рік, лідером серед всіх теплових електростанцій по викидах вуглекислого газу, як України, так і Європи є Бурштинська ТЕС, яка розташована в Івано-Франківській області (рис. 1.2) [5]. Загалом до 30-ки вугільних ТЕС з найбільшим обсягом викидів забруднюючих речовин потрапило 12 теплових електричних станцій, що входять в структуру паливно-енергетичного комплексу України.

Top SO2 polluters from coal power in Europe

Turkey and the Energy Community countries are dominating the list

Rank	Country	Power Plant	Capacity (MW)	Commissioning Date	Emissions (2019)
1	UA	Burshtynska	2351	1964	
2	MK	Bitola	675	1982	
3	TR	Soma B	990	1981	
4	TR	Kangal	457	1989	
5	RS	Nikola Tesla A	1745	1970	
6	TR	Seyitömer	600	1973	
7	BA	Kakanj	450	1969	
8	BA	Ugljevik	300	1985	
9	RS	Kostolac B	696	1987	
10	RS	Nikola Tesla B	1290	1983	

Рисунок 1.2 – Перелік теплових електричних станцій Європи з найбільшими викидами CO₂ [5]

Іншим небезпечним газом є – діоксид сірки, хоча він і не є парниковим газом, разом з тим, його надходження до атмосфери змінює режим опадів на прилеглий території, сприяє утворенню хмар та, відповідно, зменшує розсіювання сонячного світла. В результаті хімічних реакцій, при взаємодії з водяною парою та киснем, діоксид сірки перетворюється в аерозоль сірчаної кислоти, яка випадає на денну поверхню у вигляді кислотних опадів. Кислотні дощі змінюють кислотність ґрунту, при потраплянні у поверхневі водні об'єкти впливають на їх екологічний баланс і порушують природні умови існування гідробіонтів. Тому, нерідко, діоксид сірки відносять до непрямого парникового газу.

Кількість оксиду сірки, що викидається у довкілля при роботі теплових електричних станцій, напряму залежить від виду палива, що використовується, а також його зольності. Чим менша якість вугілля, тим більше сірки міститься в ньому, і тим відповідно більше оксидів сірки утворюється.

Значну частку, у викидах забруднюючих речовин від теплових електростанцій становлять оксиди азоту. Оксид азоту відноситься до непарникового газу, але, як і діоксид сірки, він має непрямий вплив на стан атмосферного повітря (сприяє утворенню кислотних дощів та смогу), і тому

його нерідко відносять до непрямого парникового газу. Окрім цього, NO_x значно впливає на організм людей, спричиняє зниження імунітету та появу захворювань дихальних шляхів. 16% всіх викидів NO_x в Європі припадає на вугільні теплові електростанції України. Найбільший внесок по викидах NO_x серед українських ТЕС привносить Запорізька ТЕС, яка займає друге місце серед всіх європейських ТЕС з найбільшими викидами оксидів азоту (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Перелік теплових електричних станцій Європи з найбільшими викидами NO_x [5]

Іншими великими забруднювачами атмосферного повітря є зола та пил, які утворюються при спалюванні вугілля. У своєму складі зола містить важкі метали та шкідливі тверді частинки розміром від 2,5 до 10 мкм. Через малий розмір та вагу зола та пил легко переносяться вітровими потоками на значну відстань. Потрапляючи у водні об'єкти та ґрунти зольні та пилові частки змінюють лужність води та ґрунту. При значному забрудненні ґрунту, він стає непридатним для вирощування сільськогосподарської продукції. Окрім цього, попіл та тверді частки спричиняють появу смогу, а при сильних вітрах, спостерігається явище «пилових бурь».

На теплові електростанції України припадає близько 27% всіх викидів твердих часток в Європі. Вісім українських ТЕС (Курахівська, Бурштинська,

Трипільська, Луганська, Зміївська, Вуглегірська, Слов'янська, Ладизинська) входять в 10-ку електричних станцій Європи з найбільшими викидами твердих часток з діаметром 10 мкм та менше (PM10) (рис.1.4).



Рисунок 1.4 – Перелік теплових електричних станцій Європи з найбільшими викидами твердих часток PM10 [5]

Аналізуючи українські теплові електричні станції за обсягом викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, можна сказати, що до найбільш забруднюючих належать Курахівська, Бурштинська, Трипільська, Луганська, Вуглегірська, Слов'янська, Ладизинська і Запорізька ТЕС. Це пов'язане, в першу чергу, з тим, що більшість перерахованих ТЕС побудовані в 60-70 роках ХХ сторіччя, а Курахівська ще раніше – в 30-50 роках, відповідно, наявне технічне обладнання є морально застарілим і тому потребує заміни або модернізації його складових. До того ж на жодній тепловій станції України повноцінно не застосовуються десульфатори – фільтри для видалення сполук сірки з димових викидів.

Забруднення атмосферного повітря викидами ТЕС становить значну проблему не лише для районів розміщення цих підприємств, але й для територій, що віддалені на десятки та сотні км від джерела, оскільки, як зазначалось раніше, забруднюючі речовини, під дією вітрових мас можуть переноситися на значні території.

1.2 Вплив діяльності ТЕС на водні ресурси

Проблема впливу діяльності теплових електричних станцій на водні ресурси пов'язана, в першу чергу, з тепловим забрудненням поверхневих водних об'єктів, до яких, в більшості випадків належать штучно створені технічні водосховища поблизу підприємства.

Під тепловим забрудненням водою розуміють погіршення якості води в наслідок будь-якого технологічного, хімічного або фізичного процесу, який змінює температуру водного середовища. Теплове забруднення, як проблему, вперше почали розглядати вчені США та Європи у середині 60-х років XX ст., коли стало зрозуміло, що води електростанцій, що скидаються в річку чи озеро, становлять потенційний вплив на навколишнє середовище.

Теплове забруднення є наслідком використання води, як теплоносія в технологічному процесі, на вугільних теплових електростанціях [6]. Встановлено, що ТЕС характеризуються найбільшим показником використання чистої води серед інших галузей промисловості [7]. Наприклад, в США 41% прісної води використовується в енергетичному секторі, головним чином на електростанціях, в Китаї теплові електростанції використовують 1/10 від загальної витрати прісної води, в Європі цей показник дорівнює 42%, а в Україні – понад 50% [8].

Питома частка води використовується в системах охолодження парових турбін, інша – для підтримання постійного рівня води, що необхідна для утворення пари та конденсату. Після технологічного процесу, який зазвичай передбачає одноразове охолодження, стічна вода повертається до водосховища з температурою, значно вищою, ніж прісна вода, яка спочатку надходила на теплову електростанцію.

Кількість стічних вод, що утворюється на теплових електричних станціях напряму залежить від типу системи охолодження термоагрегату, що використовується на підприємстві. На традиційних теплових електростанціях використовують чотири типи систем охолодження, які відрізняються за

обсягом споживання чистої води: сухе охолодження, охолодження з відкритим циклом, охолодження із закритим циклом та гібридне охолодження. Найбільш водомісткою, а й відповідно, найбільш шкідливою для довкілля, є прямоточна система охолодження, або, як її ще називають, система з відкритим циклом. Такий тип охолодження є характерним для старих теплових електростанцій, до яких належить більшість ТЕС України. На нових станціях, що будуються або модернізуються, перевагу віддають гібридним системам або системам із сухим охолодженням, в яких вода частково або повністю замінюється сухим повітрям.

Водосховища, що використовуються тепловими електростанціями для забору та скидання води, не є закритими водними системами. У більшості випадків вони є частиною гідрографічної мережі району розташування станції, а тому підігріті стічні води, що скидаються у водосховища, у ході природних процесів циркуляції водних мас та міграції, можуть завдавати значного впливу сусіднім акваторіям.

Проблема теплового забруднення водних об'єктів скидами ТЕС може посилюватися аномальними погодними умовами – сильними морозами взимку та посушливим спекотним літом. Такі несприятливі погодні умови, останніми роками, є характерними для степової зони України, а тому водні екосистеми водосховищ теплових електростанцій, що розташовані в Донецькій, Луганській, Запорізькій та Дніпропетровській областях зазнають сильніших змін на відміну від водних екосистем водосховищ теплових станцій, що розташовані у західних та центральних областях України.

Окрім підвищеної температури води, що повертаються до водного об'єкта, мають змінені фізичні та хімічні властивості. Стічні води містять значну кількість важких металів, таких як ртуть, миш'як і свинець, які можуть концентруватися в харчових ланцюгах і впливати на рибу та біологічні організми, а також в цілому на дику природу. Ступінь впливу роботи електростанції на водні ресурси залежить від багатьох параметрів. Наприклад, чим менше водосховище, тим суттєвішим буде довгостроковий вплив роботи теплової електростанції на нього.

Останні дослідження показують, що не лише теплові електростанції мають негативний вплив на водні об'єкти, але і навпаки. Поточні системи виробництва електроенергії мають високу вразливість до підвищення температури води, пов'язаного зі зміною клімату. Встановлено, що більш висока температура охолоджувальної води та/або недостатні водні ресурси призводять до зниження потужності електростанції та можуть зробити багато електростанцій неконкурентоспроможними [9].

На жаль, проблемам водно-енергетичного зв'язку та застосуванням природоохоронних заходів щодо використання води в енергетичному секторі приділяється недостатньо уваги, і тому ці проблеми досі залишаються актуальними.

1.3 Вплив діяльності ТЕС на земельні ресурси та біологічні організми

Вплив теплових електростанцій на земельні ресурси та біоту може проявлятися на декількох рівнях. Виділяють місцевий, або локальний вплив, що характерний для прилеглої до станції території (до 10 км) та регіональний вплив – зона прояву до 50 км. Деякі вчені вважають, що доцільно розглядати вплив ТЕС на довкілля також у мезомасштабах (до 500 км) та макромасштабах (понад 500 км) [10].

Впливи на локальному та регіональному рівні проявляються на прилеглої території одразу, або в перші 5-10 років після будівництва теплової електричної станції, і можуть або прямо впливати на земельні ресурси та біоту, наприклад, знищення рослинності, лісових та паркових насаджень в наслідок будівництва енергетичного об'єкта, ущільнення ґрунту при використанні важкої автомобільної та промислової техніки, або опосередковано, як наслідок забруднення атмосферного повітря, та водних ресурсів.

Впливи на мезо- та макрорівнях проявляються не одразу, а через кілька десятиліть, і пов'язані з перенесенням повітряними масами на великі відстані та відкладенні шкідливих речовин, особливо парникових газів. Зміна

концентрацій газів в атмосферному повітрі порушує умови існування живих організмів, і як наслідок – спричиняє зменшення їх видового складу, або відмирання.

Негативні наслідки впливу теплових електростанцій на земельні ресурси проявляється ще на етапі їх будівництва. Це пов'язано з тим, що для розміщення підприємства з народного господарства вилучаються значні площі, які нерідко є родючими або потенційно родючими.

Будівництво теплової електростанції супроводжується спорудженням штучного водосховища. Будівництво дамб та водних об'єктів призводить до втрачання або заміни середовища існування аборигенних видів, як наслідок відбувається заміщення наземних екосистем водними екосистемами з появою характерних водних організмів. При цьому наземні аборигенні види або переміщуються на іншу територію, або, що нерідко – безповоротно зникають.

В цілому діяльність теплових електростанцій на біологічні організми проявляються у наступному:

1. Поглинання та накопичення забруднюючих речовин у ґрунті, рослинах та інших компонентах екосистеми, таких як поверхневі та ґрунтові води.
2. Пошкодження первинних продуцентів (рослин) і споживачів (тварин) через накопичення забруднюючих речовин, наприклад, некроз листя у рослин і некроз зубів у тварин.
3. Зміна чисельності, щільності та різноманітності видів рослин та тварин.
4. Зміна умов конкуренції в середині екосистем.
5. Втрата стійкості та зниження відновлювального потенціалу.
6. Потрапляння та накопичення отруйних речовин, важких металів та нафтопродуктів у водних об'єктах впливає на зниження репродуктивної здатності риб та інших гідробіонтів.
7. Виродження насаджень і асоціацій біотичних компонентів.
8. Порушення біогеохімічного циклу.
9. Розширення оголених та еродованих ділянок у ландшафті.

10. Заміна природних ландшафтів антропогенними з нехарактерними, для місцевих видів рослин та тварин умовами існування, а також зі збільшенням відсотка інтродуцентів.

11. Теплове забруднення водних об'єктів призводить до підвищення температури водного середовища та кисневого дефіциту, що в сукупності призводить до появи явища евтрофікації, та загибелі деяких видів риб та інших гідробіонтів.

12. Наявність завислих твердих речовин у водних об'єктах впливає на дихальні процеси та секрецію захисний слиз, що робить рибу сприйнятливою до зараження різними патогенними мікроорганізмами.

13. Підвищення середньорічної температури води та зміна її фізико-хімічних показників у водосховищах може спричинити зміни у просторовому розподілі деяких видів риб.

1.4 Проблема накопичення твердих відходів ТЕС

Побічним продуктом процесу спалювання вугілля на теплових електростанціях є утворення, з негорючої частини вугілля, твердих продуктів спалювання, що складається з трьох компонентів: летучої золи, зольного залишку та котельного шлаку.

Мінеральні домішки, що не горять, є невід'ємною частиною вугілля. Частково зменшити їх в міст можливо за рахунок процесів збагачення, але повністю видалити негорючі компоненти технологічно неможливо. З економічної точки, це також недоцільно, оскільки призведе до збільшення вартості вихідної сировини, та відповідно, збільшення вартості кінцевого продукту виробництва теплових станцій – теплової та електричної енергії.

Кількість утворюваних твердих продуктів спалювання, а також їх хімічний склад, залежить, в першу чергу, від якості вихідної сировини. Чим нижча якість вихідної сировини, тим більше в ньому вміст негорючої компоненти. При середніх показниках якості вугілля тверді продукти

спалювання являють собою складну суміш, яка складається на 45-60% з SiO_2 , 10–30% Al_2O_3 , а також сполук кальцію, магнію, заліза, сірки [11].

Найбільша кількість твердих відходів утворюється при спалюванні горючих сланців (від 50 до 80% від вихідної маси) та викопного вугілля (20-40%), а найменше – при спалюванні мазути (0,15-0,20%). Допустимою для використання на теплових електростанціях є вихідна сировина із зольністю до 40%. В середньому цей показник дорівнює 25%, це означає, що при спалюванні 10 т палива утворюється 2500 т золошлакових відходів. Однак показник утворення золошлакових відходів є приблизним, оскільки немає чіткого співвідношення між кількістю вугілля, що спалюється та кількістю твердих відходів, що утворюється при цьому. Окрім якості сировини, на кількість відходів впливають конструктивні параметри котлоагрегатів, а також відсутність чи наявність системи очищення димових газів, та її параметри.

Окрім золи, в золошлакових відходах містяться недопалені залишки вугілля. Це пов'язано з тим, що на більшості теплових електростанціях України застосовуються старі котлоагрегати, які не дозволяють повністю спалити вугілля. Показник вмісту недопалків вугілля у золошлакових відходах значно різниться, і може становити від 2 до 24%.

Загальна схема утворення твердих золошлакових відходів при спалюванні вугілля на теплових електростанціях представлена на рисунку 1.5.

Зола, що уловлюється з газових викидів золовловлювачами в якості яких виступають рукавні фільтри або електрофільтри (ефективність золовловлювання $\approx 74\%$), транспортується до золовідвалів гідравлічним або пневматичним способом. Шлак, що утворюється в паливних котлах, охолоджується безперервним потоком води. Утворена таким чином суспензія також транспортується на золовідвали.

Пневматичний спосіб полягає у переміщенні сухої золи зі швидкістю до 8 м/с потоком повітря по трубах. Цей спосіб є більш екологічним, оскільки система транспортування, що застосовується, є повністю закритою, а тому перешкоджає розвіюванню золи у довкіллі. До того ж переміщення золи по

трубах з низькою швидкістю мінімізує знос критично важливих компонентів, таких як матеріалопровід та його вигини. Однак основною перевагою є те, що пневматичний спосіб транспортування не вимагає використання води.

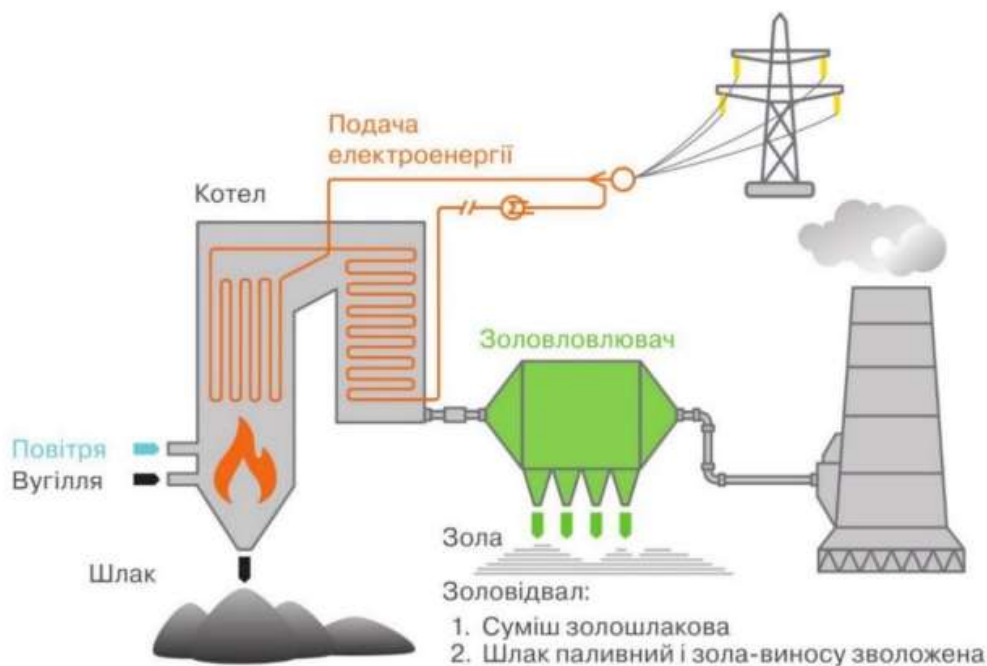


Рисунок 1.5 – Загальна схема утворення твердих золошлакових відходів при спалюванні вугілля на теплових електростанціях [12]

При застосуванні гідравлічного способу транспортування, зола перемішується з водою і таким чином у вигляді суспензії по трубопроводах переміщується на золовідвал. Перевагою гідравлічного способу транспортування є надійність системи та її висока продуктивність. Однак цей спосіб має ряд недоліків, серед яких – потреба у значній кількості води. В середньому для транспортування 1 т золи необхідно використати близько 10-15 м³ води. Інша проблема – відкладання золи у трубопроводах, це призводить до зниження ефективності роботи системи та необхідності постійного контролю й очищення (рис 1.6).

При гідравлічному способі транспортування золи та шлаку утворюється значна кількість залишкових стічних вод, які забруднені завислими речовинами, розчиненими солями, важкими металами. Якщо порівняти їх

хімічний склад (табл. 1.1), то видно, що стічні води, що утворилися при транспортуванні золи уловлювання є більш агресивними та небезпечними, ніж стічні води від транспортування шлаку. Наприклад, у залишкових водах, що утворились при транспортуванні золи, у 2 рази вище концентрація завислих речовин, у 7 разів – концентрація алюмінію, у 2 рази – аміаку, у 12 разів – кадмію, у 8 разів – міді, у 23 рази – магнію та у 6 разів – сульфатів.



Рисунок 1.6 – Приклад засмічення системи трубопроводів при гідравлічному способі транспортування золи на Кураховській ТЕС

Згідно зі статистичними даними за період 2010-2020 років в Україні спостерігається тенденція щодо зменшення кількості відходів згоряння, що утворюється на об'єктах паливно-енергетичного комплексу [13]. Якщо у 2010 році утворилося 25967,6 тис. т відходів, то у 2020 році – 10845,7 тис.тонн (рис. 1.7). Однак не дивлячись на зменшення кількості утворюваних відходів

проблема поводження з відходами теплових електростанцій залишається вкрай актуальною.

Таблиця 1.1 – Концентрації забруднюючих речовин у воді, що використовується для транспортування шлаку та золи на ТЕС [14]

№	Показник	Транспортування шлаку від печі		Транспортування золи уловлювання	
		мінімум	максимум	мінімум	максимум
1	Витрата води м ³ /хв	18	88	11,5	33,2
2	pH	4,1	7,9	3,6	6,3
3	Завислі речовини, мг/л	70	405	142	821
4	Алюміній, мг/л	0,5	8,0	3,2	8,8
5	Аміак (в перерахунку на азот), мг/л	0,02	0,32	0,04	0,43
6	Миш'як, мг/л	0,003	0,16	0,006	0,024
7	Кадмій, мг/л	0,002	0,003	0,024	0,053
8	Хлор, мг/л	6	16	6	15
9	Мідь, мг/л	0,02	0,15	0,17	0,46
10	Ціанід, мг/л	0,02	0,02	0,02	0,02
11	Залізо, мг/л	1,8	12	0,34	6,7
12	Свинець, мг/л	0,01	0,04	0,02	0,3
13	Магній, мг/л	0,4	9,4	9,5	21
14	Ртуть, мг/л	0,0003	0,0027	0,0003	0,0007
15	Сульфати, мг/л	42	81	241	442
16	Цинк, мг/л	0,02	0,17	1,2	2,8

Україна не належить до країн з найвищим показником кількості утворюваних відходів згоряння. Наприклад, в США щорічно утворюється близько 100 млн тонн золошлакових відходів, при цьому близько 60% відходів утилізується, що дозволяє енергетичним підприємствам додатково отримати близько 2,3 млрд. доларів щорічно. В Європі показник утилізації відходів згоряння ще вище і становить в середньому по країнах близько 92%, а в Нідерландах та Данії – 100%. Тому важливим є не лише показник обсягу відходів, що утворилося, а й показник обсягу відходів, що утилізується. Що стосується України, то відсоток утилізованих золошлакових відходів

варіюється від 43,3% у 2019 році до 28,44% у 2015 році (рис. 1.8), що в рази менше в порівнянні з іншими країнами. Основна ж частина золошлакових відходів, що утворюється на теплових електростанціях накопичується на шлакових або золошлакових відвалах.

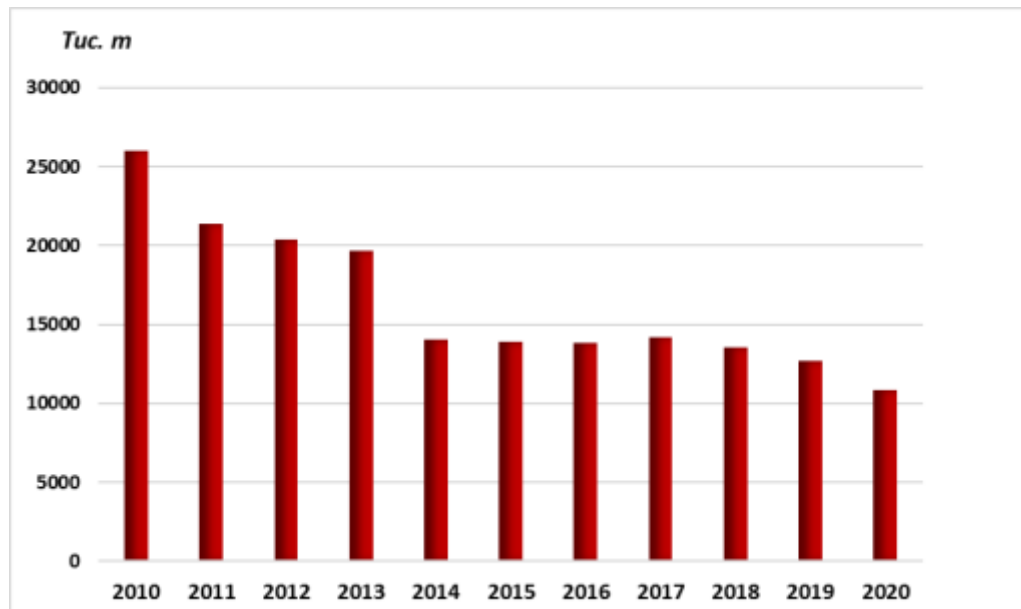


Рисунок 1.7 – Обсяг відходів згоряння, що утворилися на ТЕС України з 2010 по 2020 рік

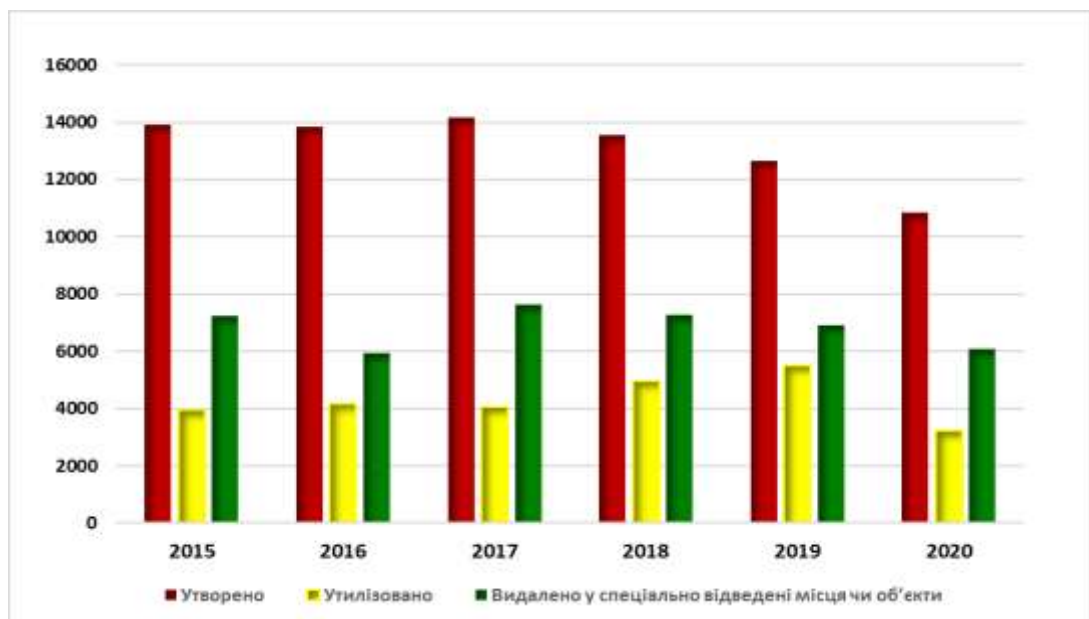


Рисунок 1.8 – Поводження з відходами згоряння в Україні (2015-2020 р.)

Площа земель в Україні, що зайнята під золошлаковими відвалами становить понад 22 тис. га [15]. Наприклад, на Ладижинський ТЕС щорічно утворюється понад 500 тис. тонн золошлакових відходів, які накопичуються на золовідвалі площею 120 га.

На Курахівській ТЕС обсяг золошлакових відходів, що утворюється за рік, становить близько 1 млн. тонн, більша частина яких також вивозиться на золовідвали та зберігається. На балансі підприємства є 4 золошлакових відвали, серед яких один діючий, площею 57 га, та три недіючих відвали, площа яких відповідно 57 га, 49 га та 59 га. Глибина золовідвалів від 35 до 50 м. Серед недіючих, золовідвал №2 (рис. 1.9) є природно рекультивованим, на більшій його площі ростуть місцеві види рослин – рогіз, багаторічні трави та поодинокі дерева лоха вузьколистого. На інших двох недіючих золовідвалах №3 та №4 рослини відсутні, тому задля зменшення пиловиділення їх поверхня постійно зрошується.

Шлакові та золошлакові відходи належать до техногенних об'єктів підвищеної небезпеки. На території золовідвалів цілорічно протікають два процеси. Перший пов'язаний з випаровуванням води та утворенням сухих ділянок, що пилять, а другий пов'язаний з інфільтрацією води, у нижні шари ґрунту та у ґрунтові води.

Токсичні важкі метали та інші забруднюючі речовини з вугільної золи потрапляють у стічні води золовідвалів. Інфільтрація таких вод призводить до отруєння підземних вод, вод поверхневих водойм, прилеглих ґрунтів. Токсичні метали у вугільній золі не розкладаються і розчиняються через деякий час. Багато токсичних металів, таких як селен, біоакумулюються і збільшують концентрацію в міру просування вгору по харчовому ланцюгу. Шкода рибі та іншим тваринам від золовідвалів та токсичного стоку може бути значною. Вчені встановили, що шкідливі компоненти вугілля, такі як селен і миш'як, накопичуються в «дуже високих концентраціях» у рибі та диких тваринах, що зазнали впливу фільтрату золовідвалів. Це може призвести до зменшення їх популяцій та загибелі.



Рисунок 1.9 – Золовідвали Курахівської ТЕС: 1 – діючий, 2-4 – недіючі золовідвали.

Іншою значною проблемою золошлакових відвалів теплових електростанцій є пиління їх поверхні. Зола з поверхні золовідвалів може здуватися, як при сухому її зберіганні, так і при мокрому, внаслідок випаровування води. Опинившись у повітрі, цей «летючий» пил може мігрувати за межі об'єкта. В результаті робітники та жителі прилеглих районів можуть підпадати під вплив значної кількості великих твердих частинок (PM10) та дрібних твердих частинок (PM2, PM 5).

Вугільна зола містить значну кількість кремнезему як у кристалічній та аморфній формі. Респірабельний кристалічний кремнезем у вугільній золі може накопичуватися в легенях і викликати силікоз, рубцювання легеневої тканини, може призвести до захворювання легень, або викликати рак нирок та легень.

Летюча зола забруднює ґрунти навколо вугільних електростанцій та золовідвалів. При потраплянні в ґрунт, в ньому можуть накопичуватися важкі метали, включаючи миш'як. Рослини, вирощені на забруднених вугільною золою ґрунтах, можуть містити підвищений рівень токсичних металів. До того ж через цементуючі здатності летуча зола може зробити ґрунт твердим і непроникним.

1.5 Мета та завдання дослідження

Однією з умов забезпечення енергетичної незалежності України є функціонування об'єктів паливно-енергетичного комплексу, таких як – атомні електричні станції, теплові електростанції, гідроелектростанції.

Станом на 2021 рік близько 30% всієї електричної енергії, що виробляється в Україні підприємствами паливно-енергетичного комплексу припадає на теплові електричні станції. В ході виробництва електроенергії на теплових електричних станціях утворюється значна кількість відходів з різним агрегатним станом (тверді, рідкі, газоподібні), які забруднюють атмосферу, гідросферу, літосферу та впливають на життя всіх біологічних організмів.

Найбільшу небезпеку становлять тверді відходи згоряння – зола та шлак. Щорічно в Україні утворюється понад 11 млн. т золошлакових відходів. Згідно зі статистичними даними в Україні спостерігається тенденція щодо зменшення кількості відходів згоряння, що утворюється на об'єктах паливно-енергетичного комплексу. Однак важливим є не лише показник обсягу відходів, що утворюється, а й показник обсягу відходів, що утилізується. Так, в Україні відсоток утилізованих золошлакових відходів варіюється від 43,3% в 2019 році до 28,44% у 2015 році, що в рази менше в порівнянні з іншими країнами. Основна ж частина золошлакових відходів, що утворюється на теплових електростанціях накопичується на шлакових або золошлакових відвалах.

Таким чином, проблема поводження з відходами згоряння в Україні залишається край актуальною.

Мета роботи – розробка пропозицій щодо зменшення антропогенного впливу на довкілля теплових електростанцій за рахунок утилізації відходів згоряння.

Об'єктом дослідження є механізми утворення і перенесення до навколишнього середовища золошлакових відходів.

Предмет дослідження – способи зменшення впливу на довкілля золошлакових відходів.

Методи досліджень: комплексний метод досліджень, що включає аналіз і узагальнення літературних джерел; аналіз нових перспективних та ресурсозберігаючих технологій поводження з відходами згоряння; розрахунково-аналітичний метод.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розглянути вплив теплових електростанцій на довкілля;
- проаналізувати сучасні та перспективні напрями утилізації золошлакових відходів;
- розробити пропозиції щодо зменшення антропогенного впливу на довкілля теплових електростанцій за рахунок утилізації відходів згоряння;
- розробити заходи з охорони праці.

2 НАПРЯМИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ЗГОРЯННЯ

2.1 Розвиток технологій утилізації золошлакових відходів у світі

2013 рік вважався роком коли світова вугільна галузь досягла свого історичного максимум. Це визначалось тим, що в цей рік у світі було видобуто 8270,9 млн т. вугілля, що було найвищим показником за всі роки існування вугільної галузі. В період з 2014 по 2020 рік у всіх вуглевидобувних країнах, окрім Африки та Південної Америки де рівень видобутку залишився на колишньому рівні, спостерігалась тенденція щодо скорочення видобутку вугілля (наприклад, у 2017 році було видобуто 7727,3 млн т. вугілля), а отже й скорочення кількості золошлакових відходів, що утворювалися на енергетичних підприємствах [16].

Однак, починаючи з 2021 року, кількість видобутого вугілля у світі знову починає збільшуватися, це пов'язано з підвищенням попиту на електроенергію та високими цінами на газ. Відповідно, проблема поводження з відходами згоряння набуває ще більшої актуальності. Використання золошлакових відходів наразі є одним зі стратегічних шляхів вирішення екологічних проблем у зоні функціонування теплових електростанцій.

Використання відходів згоряння не є новим у світі. Перші спроби використання відходів згоряння у народному господарстві відносять до глибокої давнини. Встановлено, що в Давньому Римі була розроблена технологія одержання бетону з використанням вулканічного попелу. В сучасному світі, перші спроби переробки золошлакових відходів, як добавка до цементу, були зроблені у 1914 році.

У XX сторіччі передовою країною з переробки відходів згоряння була США. Згідно з літературними даними, починаючи з 1930-х років, золошлакові відходи тут використовувалися для будівництва греблі Гувера, дамби Hungry Horse. З того часу золошлакові відходи стали розглядати вже не як відходи, а як цінний ресурс який можна використовувати у будівельній промисловості.

Наразі існують сотні проєктів, в яких відходи згорання використовуються у різних напрямках – від серійного випуску цегли, що спостерігається навіть у бідних країнах (Намібія) до будівництва цілих метрополітенів (Вашингтон, США) та рекордних по висоті хмарочосів (Бурдж-Халіфа, Дубай).

На рисунку 2.1 представлена еволюція технологій в галузі переробки золошлакових відходів.

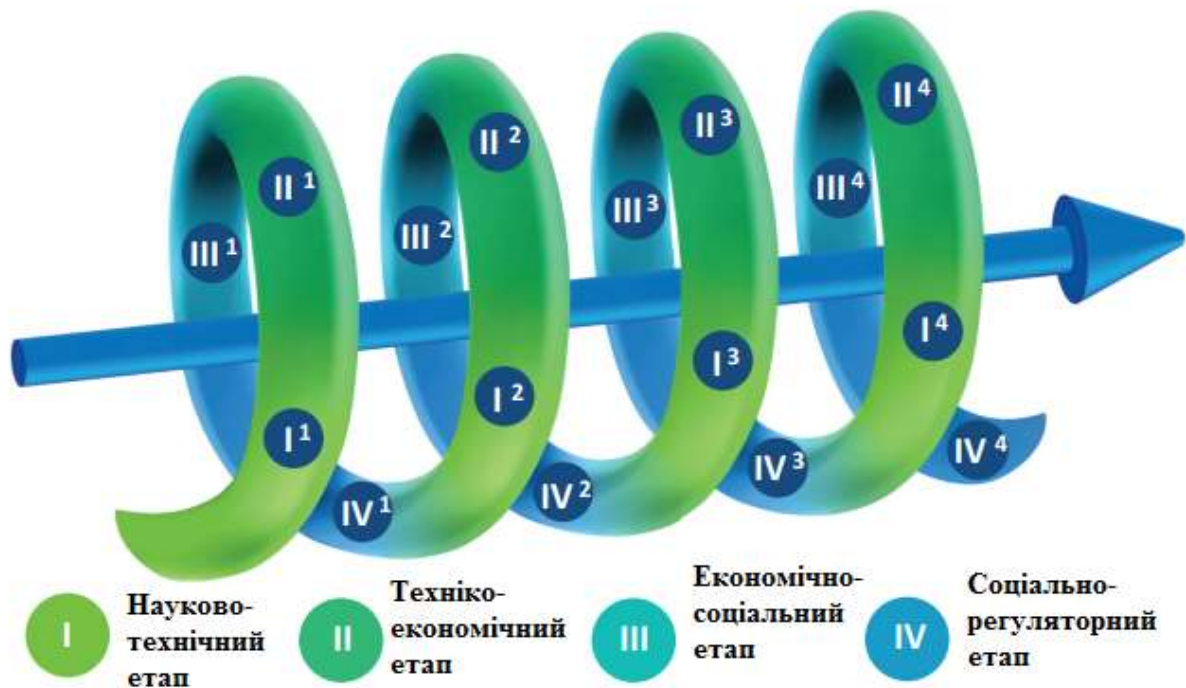


Рисунок 2.1 – Еволюція технологій в галузі переробки золошлакових відходів

На рисунку показано наступні історичні етапи:

I¹ – перші дослідження щодо застосування відходів згорання (1910-1930);

II¹ – перші значущі застосування золошлакових відходів, що обумовлені техніко-економічною доцільністю (при використанні золи, як компонента бетону при ремонті дамби Гувера керувалися тим, що це дозволить скоротити витрати сировини) (1930–1950);

III¹ – перше узагальнення простих технологій у формі наукових публікацій, поширення застосування цих технологій (1950-1960);

IV¹ – введення первинних регуляторних заходів (науково-технічна документація, рекомендації щодо застосування золошлакових відходів) (1960-1980).

I² – розвиток аспектів простих технологій (створення високоміцного бетону);

II² – перехід до вдосконаленої технології внаслідок її економічної ефективності;

III² – великомасштабні та знакові проекти із застосуванням технології (будівництво Бурдж-Халіфа, Дубай)

IV² – регуляторні заходи, що встановлюють обов'язковість застосування цих технологій (у 2015 р. муніципалітет Дубая ухвалив, що при будівництві всіх нових будівель частина використовуваного портландцементу має бути замінена на золошлакові відходи [17]).

Паралельно попередньому витку:

I³ – наукові дослідження комплексних технологій переробки відходів згоряння;

II³ – формування науково-технічної бази (патенти, лабораторні дослідження, комерційна пропозиція);

III³ – реалізація одиничних проектів;

IV³ – формування науково-технічної документації та нормативно-правових актів.

Прогноз:

I⁴ – техніко-економічна оптимізація комплексних технологій переробки золошлакових відходів за допомогою наукових пошуків;

II⁴ – апробація цих технологій у поодиноких проектах

III⁴ – систематизація досвіду та нові проекти реалізації

IV⁴ – актуалізація науково-технічної документації та нормативно-правових актів.

Виходячи з досвіду використання відходів згоряння у світі, можна сказати, що золошлакові відходи енергетичних підприємств є цінним

вторинним ресурсом, які можуть стати сировинною базою для інших галузей промисловості.

Існує дуже багато технологій та напрямів переробки золошлакових відходів, серед яких, найбільш популярними є – будівельна індустрія та дорожнє будівництво.

Так, виділяють наступні напрями використання термічно оброблених твердих відходів теплових електростанцій:

- заповнювачі для важких та легких бетонів;
- матеріал для виготовлення силікатної цегли;
- матеріал для виготовлення будівельних розчинів;
- кремнеземистий компонент для пористих бетонів;
- в'язучі для пористих бетонів;
- мінеральний порошок для асфальтобетонних сумішей;
- дрібний заповнювач для конструкційно-теплоізоляційного бетону (лімітується вміст недопалу, SO_3 , крупність зерен, питома поверхня);
- використання для виробництва цементу (відповідно до вимог глинистого компонента шихти);
- виробництво штучних пористих заповнювачів (аглопоритовий гравій і щебінь, глиноземний керамзит);
- використання у виробництві склокристалічних матеріалів будівельного та технічного призначення: виробництво шлакоситалів, склошлакових облицювальних плиток, корозійностійких склошлякоемалевих покриттів металів (товщина покриттів 300–500 мкм);
- виготовлення піноскла (має вогнестійкість і низьку теплопровідність).

На рисунку 2.2 наведена діаграма напрямів використання відходів згоряння в світі. Вибір напрямку використання золошлакових відходів залежить від їх фізико-хімічних та механічних властивостей, теплових характеристик, наявності в їх складі цінних компонентів та радіонуклідів, а також напрямку залежить від рівня економічного розвитку країни.



Рисунок 2.2 – Напрями використання відходів згорання теплових електростанцій у світі

2.2 Використання відходів згорання теплових електростанцій у будівельній галузі

Найменш шкідливим способом використання вугільної золи теплових електростанцій є «інкапсулювання», тобто включення її у твердий субстрат, такий як бетон, цегла та плитка. Таке повторне використання набагато безпечніше, ніж інші способи утилізації через можливість вилугування токсичних хімічних речовини у воду, до того ж повторний викид твердих частинок у повітря значно знижується.

Виробництво цементу. Підприємства з виготовлення бетону споживають дуже багато ресурсів і цей показник щороку збільшується. Якщо в 2010 році обсяг видобутку цементу становив 3,3 млрд т [18], то у 2021 році вже 4,4 млрд т [19]. Швидкий ріст виробництва цементу негативно впливає на довкілля, через викиди величезної кількості CO₂. Тому, для зменшення впливу на довкілля та раціонального використання ресурсів, доцільно використовувати суміші, які є відходами інших підприємств і за властивостями є подібними до традиційних компонентів цементу. З погляду сталого розвитку використання побічних продуктів у цементній та бетонній промисловості має значні екологічні переваги. Ці матеріали використовуються не тільки для зниження

енергоспоживання та викидів CO_2 у процесі виробництва цементу, але й завдяки їх добре відомим властивостям довговічності.

Цемент являє собою гідравлічне мінеральне в'язуче, що змішується з водою, яке здатне тверднути як на повітрі, так і у водному середовищі.

Процес виробництва цементу складається з двох стадій. На першій стадії одержують портландцементний клінкер, за рахунок спікання вапняку та глини в масі співвідношення 3:1 при температурі близько 1450°C . На другій стадії отриманий портландцементний клінкер подрібнюють і змішують із сирим гіпсом або іншими твердими добавками, що покращують його фізико-механічні властивості.

Як коригувальні компоненти сировини у виробництві цементу використовуються спеціальні добавки, а саме – натуральні та штучні пуцолани. До натуральних пуцоланів належать вулканічні туфти, алюмінієві та висококремністі аморфні SiO_2 , такі як діатоміт та трас. Штучні пуцолани – доменний шлак, летюча зола теплових електростанцій, мікрокремнезем та ін.

Зольний пил завдяки різкому охолодженню зберігає аморфну структуру і тому має пуцоланові властивості. Замість клінкеру можна використовувати летючу золу до 60% за масою. Характеристики летючої золи залежить від типу вугілля, що горить, а також від режиму горіння. Загалом, летюча зола з великим вмістом кремнезему це пуцолан, і якщо в ній переважає кальцій, то вона має приховані гідравлічні властивості.

Використання зольного пилу, як добавки до цементу, має як екологічні так і економічні переваги. До екологічних переваг належить зниження техногенного впливу на довкілля відходами згорання поблизу енергетичного підприємства шляхом зменшення забруднення ґрунту та водних ресурсів навколо золовідвалів, забруднення повітря під час транспортування золи. Серед економічних – зменшення вартості виробництва бетону, за рахунок використання дешевої сировини. Оскільки встановлено, що найбільш енергозатратним процесом, а відповідно й з найбільшим рівнем антропогенного навантаження на довкілля, при виробництві цементу є саме виготовлення

клінкеру [20]. До технологічних переваг, можна віднести те, що вироблені на основі такого цементу композитні матеріалу мають високу міцність та довговічність.

Виробництво геополімерної цегли. Зола теплових електростанцій може бути використана, як один з компонентів для виготовлення геополімерної цегли. Тайські вчені розробили спосіб виготовлення геополімерної цегли, яка складається з трьох основних компонентів, які є відходами металургійної та енергетичної галузей промисловості: відпрацьований формувальний пісок, шлак електродугової печі та зола-вловлювання [21].

Геополімерна цегла має високі показники міцності, а тому може використовуватися для будівництва споруд різного призначення. Результати оцінки життєвого циклу геополімерної цегли, від початкового етапу виробництва до етапу утилізації, показали, що вплив виробництва геополімерної цегли на довкілля у всіх аспектах нижчий, ніж вплив традиційного способу виробництва бетону, який є енергоємним через необхідність прожарювання цементного клінкеру. Отже, виготовлення геополімерної цегли, на основі золи електростанцій та відходів металургійного сектору, дозволить скоротити кількість промислових відходів та сприятиме підвищенню їх цінності, як сировини для виробництва цегли з використанням більш екологічно чистого виробничого процесу.

Виготовлення добавок до цементу. Використання золошлакових відходів, як мінеральної добавки для традиційних портландцементів має ряд переваг:

- встановлено, що активні мінеральні добавки дещо скорочують час схоплювання портландцементу;
- мінеральні добавки позитивно впливають на рівномірність зміни об'єму цементного каміння;
- цементний камінь на портландцементі з мінеральними добавками з відходів згоряння має більш високу міцність і жаростійкість, у порівнянні зі зразками без добавок [22].

Мінеральні добавки, що виготовлені з золи уловлювання можуть становити до 75% маси цементу, проте існують суворі стандарти, що регулюють їх використання.

Виготовлення високопористої склокераміки. На основі золи-уловлювання вугільних електростанцій, металургійних шлаків феронікелевого виробництва та склокерамічних відходів телевізійних моніторів, вікон та фляг можна виробляти склокерамічні високопористі композити, які є екологічно безпечними матеріалами. Високопориста склокераміка складається на 50% із золи уловлювання теплових електростанцій, 20% шлаків металургійного виробництва та 30% склокерамічних відходів. Отримана склокераміка може стати потенційним матеріалом для виготовлення дифузорів, які можна використовувати для аерації води [23].

Виготовлення золокерамічної цегли. Відомий спосіб повної утилізації золошлакових відходів теплових електростанцій для виготовлення золокерамічної цегли.

Технологія містить наступні процеси: зола надходить безпосередньо в магнітний сепаратор, який своєю чергою відокремлює магнітну фракцію. Далі, дрібні частинки шлаку та золи відокремлюються від великих випарною головкою та направляються до дробарки де знову вступають в технологічний процес. Дрібні частинки змішують у змішувачі зі зв'язуючими. Потім зола перетворюється на гранули, а після цього направляється або в сушильний барабан для отримання керамзитобетону або у віброформував та сушарку для отримання кінцевого продукту – золокерамічної цегли. Золокерамічна цегла перевершує глиняну цеглу за такими параметрами, як міцність, морозостійкість, хімічна стійкість.

Виготовлення пресованої цегли. Виготовлення пресованої цегли відбувається шляхом ретельного перемішування чотирьох основних компонентів, це: вода, портландцемент, зола уловлювання теплових електростанцій та гранульований доменний шлак, що отримується шляхом розпилення під високим тиском водяного струменя на доменному

розплавленому шлаку. Змінення концентрації золи та шлаку дозволяє отримати пресовану цеглу, що має різні параметри пористості, міцності, морозостійкості та жаростійкості.

Технологія виготовлення пресованої цегли з відходів згоряння має наступні переваги [24]:

1. Пресована цегла – стійка технологія яка споживає менше електроенергії, що призводить до зменшення економічних витрат та зменшення впливу на довкілля.

2. Порівняно з обпаленою глиняною цеглою, пресована цегла має гарний зовнішній вигляд і стабільні розміри під час виготовлення. Ці цеглини мають приємний колір, як цемент, мають однорідну форму та гладку поверхню, крім того, вони не вимагають штукатурки при будівельних роботах.

3. Мають просту технологію виготовлення.

4. Вартість пресованої цегли менша, ніж вартість обпаленої цегли.

Виготовлення легких заповнювачів. Летуча зола може бути використана у виробництві легких заповнювачів з використанням спечених (обпалених) та необпалених (холодних) способів обробки. Ці наповнювачі легкі через наявність в них повітряних порожнин. Використання легких заповнювачів в конструкційному легкому бетоні дозволяє зменшити постійне навантаження на бетонну конструкцію та призводить до значної економії з точки зору проектування будівельних конструкцій.

До інших напрямів використання золошлакових відходів у будівництві можна віднести виготовлення бруківки, бетонних каркасів для труб. Бетонні каркаси для прокладання труб, що виготовлені з додаванням летючої золи, є більш водонепроникними та більш стійкими до впливу слабких кислот та сульфатів у порівнянні зі звичайними цементобетонними каркасами.

Також відходи згоряння теплових електростанцій можуть застосовуватися для виготовлення залізничних шпал, ізоляторів ліній електропередач, стовпів огорож та інших будівельних конструкцій та елементів.

2.3 Використання відходів згоряння теплових електростанцій як вторинної сировини

В залежності від хімічного складу продукти згоряння можуть розглядатися як вторинна сировина, з якої можна отримати різні цінні компоненти, такі як глинозем, кремнезем, магнезит, солі – сульфат алюмінію та хлорид алюмінію, залізо, недопал, метали, мікросфери та хвости сортування.

За різними даними, в золі теплових електростанцій може міститися до 28% глинозему, тобто з однієї тонни відходів при застосуванні відповідних способів збагачення можна отримати до 280 кг чистого глинозему [25]. Ці дані вказують на важливість розв'язання проблеми залучення золи теплових електростанцій у виробництво глинозему.

Вилучення глинозему зі золошлакових відходів можливо шляхом застосування методів флотації, обробки лугом або спікання, останній є найбільш перспективним.

Щоб зола стала повноцінною сировиною для виробництва глинозему, вона має бути оброблена на першому етапі хімічним збагаченням. Ця процедура спрямована на зневоднення, що дозволяє отримати концентрат глинозему 1,65-1,67. Збагачений глиноземний концентрат є сировиною, придатною для отримання продукту з вмістом $Al_2O_3 > 98\%$ шляхом спікання. Після додаткового знекремнення метод спікання є перспективним для виробництва глинозему, який відповідатиме якості металургійної сировини.

Вибір технології збагачення золошлакових відходів, в першу чергу, визначається хімічними властивостями вихідної сировини. Однак важливим є також врахування економічних та екологічних особливостей. Якщо у складі відходів згоряння переважає якийсь один компонент, то для його вилучення застосовується монотехнологія. Якщо склад вихідної сировини є неоднорідним, зі складним речовинним складом, то доцільно застосовувати комплексні технології збагачення, які дозволять повною мірою вилучити цінні компоненти.

На рисунку 2.3-2.5 наведено можливі технології збагачення відходів згоряння для видалення магнітної фракції, недопалу та мікросфер.

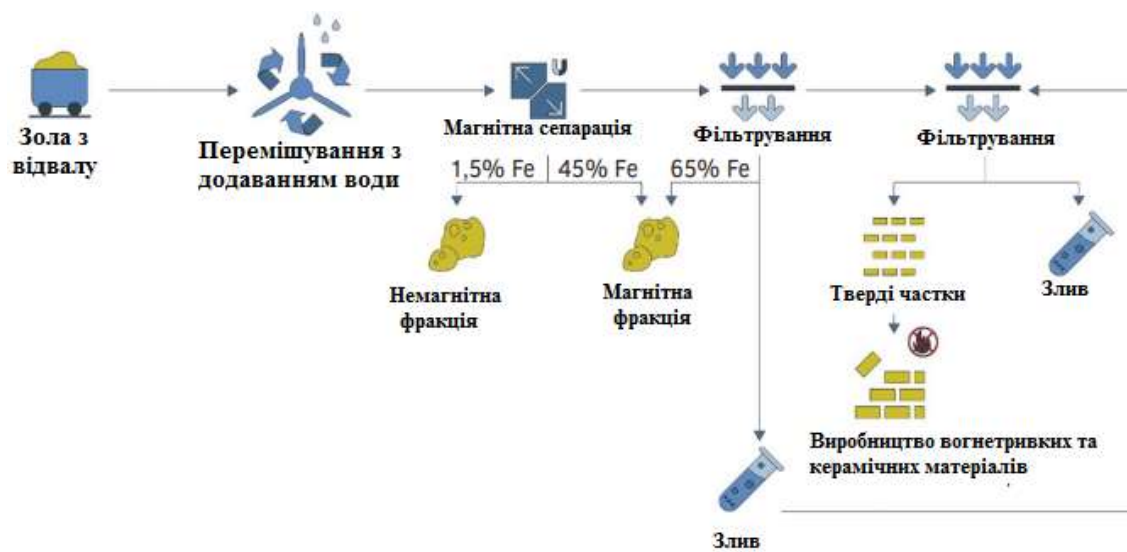


Рисунок 2.3 – Технологія напівпромислового збагачення золошлакових відходів із вилученням магнітної фракції

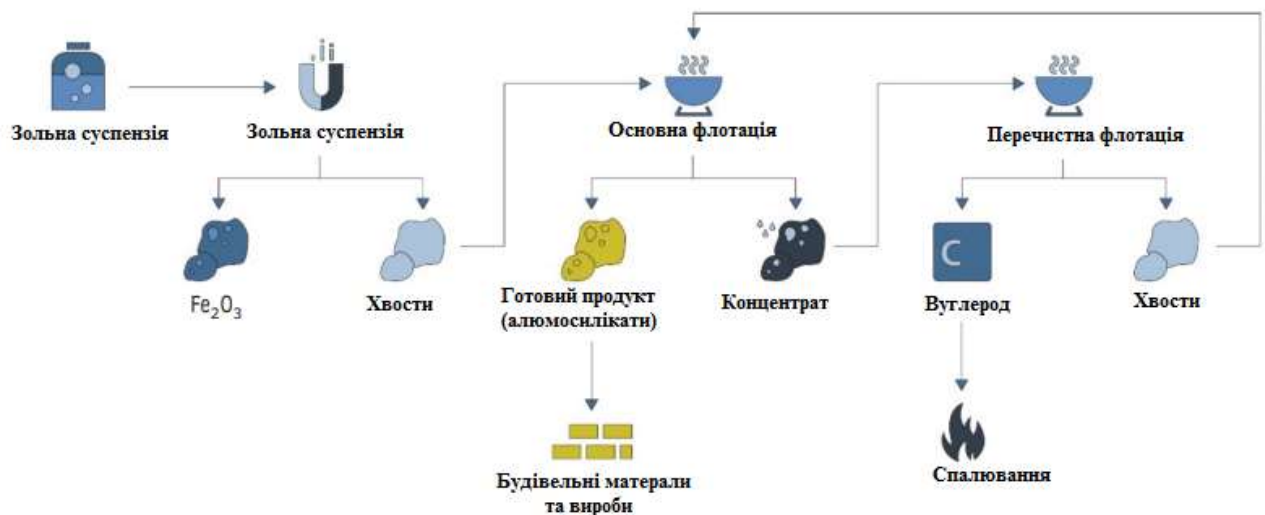


Рисунок 2.4 – Технологічна схема збагачення золи з виділенням магнітного концентрату та недопалу

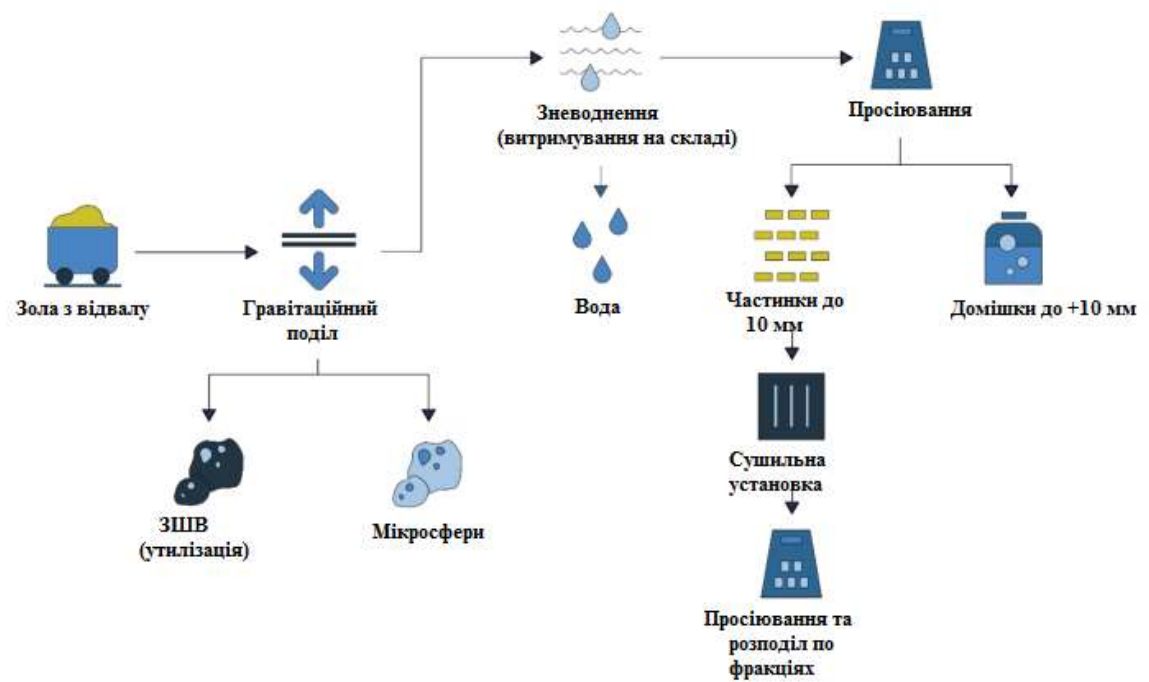


Рисунок 2.5 – Технологічна схема вилучення з відходів згорання мікросфер

На рисунку 2.6 представлена загальна спрощена схема збагачення золошлакових відходів теплових електростанцій з метою їх переробки та подальшої утилізації

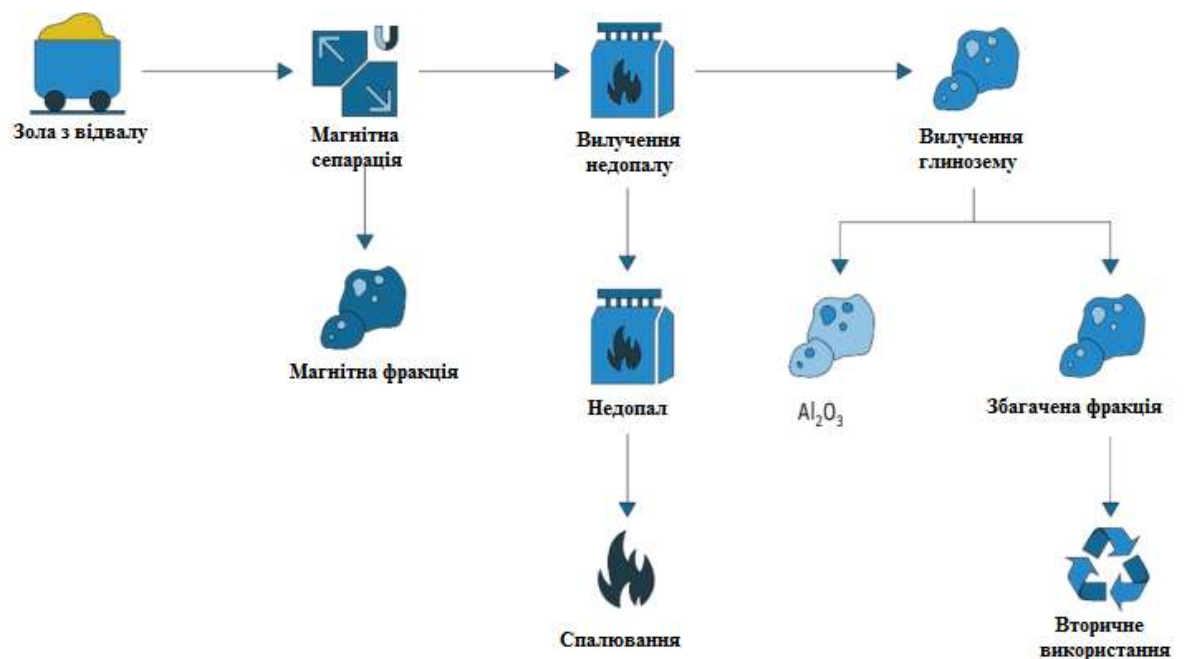


Рисунок 2.6 – Загальна спрощена схема збагачення золошлакових відходів

2.4 Використання золошлакових відходів у сільському господарстві

Ще одним можливим напрямом утилізації золошлакових відходів теплових електростанцій є сільське господарство. Завдяки своїм характеристикам та здатності змінювати стан ґрунту та впливати на врожайність за рахунок макро- та мікроелементів, що містяться в їх складі, зола та шлак мають великі перспективи використання у сільському господарстві. До того ж зола і шлак вугільних електростанцій містить майже всі елементи (K, Na, Zn, Ca, Mg и Fe), що необхідні для живлення рослин і тому можуть бути використані, як добрива для сільськогосподарських культур.

Використання золошлакових відходів, як добриво може розв'язати проблему деградації та заболочування ґрунтів. Численні дослідження з використання відходів згоряння у різних ґрунтово-кліматичних умовах доводять, що внесення золи та шлаку у ґрунт покращує його фізико-хімічні та біологічні властивості, сприяє збільшенню кількості аммоніфікуючих бактерій, що відіграють роль нітрифікаторів у ґрунті, підвищує вологоутримуючу здатність, змінює поживний режим і кислотність ґрунту та діє як меліоративний засіб [26].

Однак зола та шлак, як мінеральне добриво, позитивно впливає на ґрунт та рослини лише при невеликих їх концентраціях. Результати досліджень показують, що введення золошлаку у дозі 10-30% підвищує родючість ґрунту, а також збільшує приріст врожайності сільськогосподарських культур. Так, використання золи та шлаку в кількості 30 т/га покращує зростання та врожайність олійних культур (соняшника).

При збільшенні концентрації до 40-50% з'являється зворотній, негативний ефект, який пов'язаний з тим, що введення більш високих доз вугільної летючої золи, як мінерального добрива у ґрунт, вивільняє токсичні елементи, що призводить до забруднення ґрунту та ґрунтових вод, а також виникненню серйозних проблем зі здоров'ям у населення. Таким чином ефективність та екологічна безпека використання золошлакових відходів

теплових електростанцій залежить від дози їх застосування у конкретних природно-кліматичних умовах [27].

Іншим фактором, що обмежує використання золошлакових відходів є наявність у їх складі радіоактивних та інших шкідливих речовин, які можуть сприяти пригніченню росту рослин.

Перед тим, як використовувати золу та шлак для виготовлення мінеральних добрив, необхідно обов'язково провести їх хімічний аналіз з метою визначення їх радіоактивності, мікроелементного складу та канцерогенних властивостей.

Таким чином, для того, щоб продукт переробки золи та шлаку був мінеральним добривом, а не джерелом забруднення, вміст хімічних елементів у ньому має бути нижчим за показники гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин для ґрунту.

3 ЗМЕНШЕННЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ ТЕС НА ДОВКІЛЛЯ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ЗГОРЯННЯ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ДОРІГ

3.1 Аналіз можливості використання відходів згоряння для будівництва доріг

Утворення понад 11 млн тонн на рік відходів згоряння на теплових електростанціях України вимагає пошуків додаткових шляхів їх комплексної утилізації. Як зазначалось раніше, золошлакові відходи можуть стати цінною вторинною сировиною для різних галузей промисловості. Однак, використання відходів згоряння, як вторинної сировини, обмежується їх хімічним складом. Нерідко, через недостатній вміст в них цінних компонентів, застосування технологій їх збагачення стає економічно недоцільним. Використання золошлакових відходів в будівельній галузі потребує значних фінансових інвестицій, через необхідність створення промислових підприємств, які будуть спеціалізуватися на цьому. Тому, золошлакові відходи стали розглядати як сировину для будівництва доріг.

Згідно з Державними будівельними нормами ДБН В.2.3-4, через сприятливі кліматичні умови, використовувати відходи згоряння вугільних теплових електростанцій можна для будівництва доріг по всій території України [28].

До золошлакової сировини, що в подальшому буде використовуватися в будівництві доріг висувають певні технічні вимоги з урахуванням вимог екологічної безпеки [29]:

1. Допустима питома активність радіонуклідів у відходах згоряння для будівництва доріг в межах населених пунктів – 740 Бк/кг, для доріг за межами населених пунктів – 740-1350 Бк/кг.

2. Допустимий вміст оксиду кальцію CaO у зольній складовій відходів згоряння повинен бути до 10% у загальній масі золошлакової суміші.

3. Допустимий вміст оксиду магнію MgO до 5% у загальній масі золошлакової суміші.

4. Допустимим є вміст сірчаних та сірчаноокислих з'єднань у перерахуванні на SO_3 до 3%, при цьому вміст сульфідної сірки не повинен перевищувати 1% у загальній масі золошлакової суміші.

5. Допустимий вміст лужних оксидів в перерахуванні на Na_2O становить до 3% у загальній масі золошлакової суміші.

6. Золошлакова суміш, для будівництва доріг, не повинна містити більш ніж 2% гумусових речовин.

7. Зольна складова повинна забезпечувати рівномірну зміну об'єму, допустимим відхиленням є розширення до 10 мм.

8. Для будівництва доріг можна використовувати золу теплових електростанцій з вологістю до 1%.

Сухі відходи згоряння (зола та шлак) більшості вугільних електростанцій України відповідають встановленим вимогам, а тому можуть використовуватися для будівництва доріг, як у населеному пункті, так і за його межами.

Для будівництва доріг можна використовувати всі види відходів згоряння вугільних електростанцій. Найоптимальнішим є наступні напрями застосування відходів:

1) зола уловлювання: спорудження земляного полотна, відсіпання насипів та стабілізації ґрунтів, які повільно твердіють, як самостійне в'язуче або активна гідравлічна добавку;

2) шлаковий щебінь: спорудження щебеневих основ і як заповнювач у конструкціях дорожнього одягу автомобільних доріг;

3) суміш золи та шлаку: як замітник ґрунту, для зведення насипів земельного полотна, для спорудження нижніх шарів основи дорожнього полотна, а також для спорудження морозозахисних шарів.

Загальна схема дорожнього полотна представлена на рисунку 3.1.

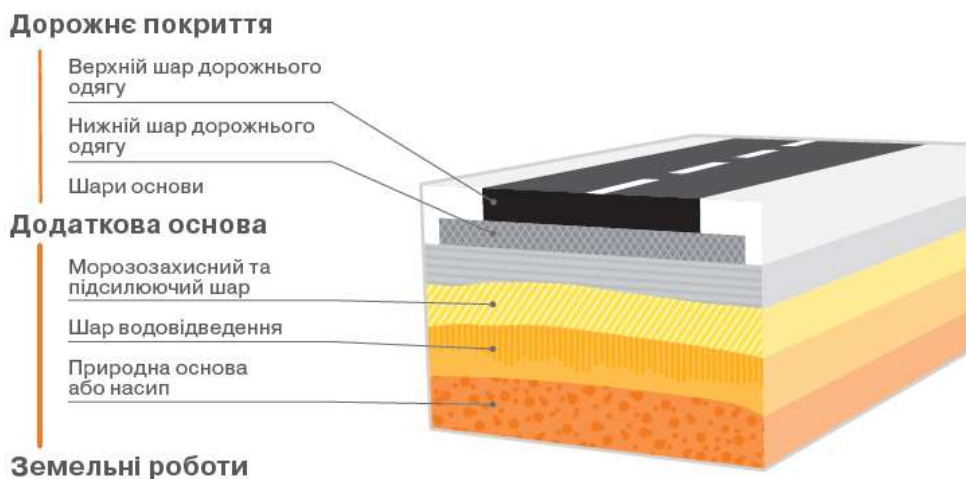


Рисунок 3.1 – Загальна схема дорожнього полотна [30].

Досвід багатьох країн свідчить про те, що окрім сухої золи та шлаку в дорожньому будівництві можна використовувати й відвальні золошлакові суміші гідровидалення. Їх можна використовувати як:

- техногенний ґрунт для спорудження дорожніх насипів;
- матеріал, що укріплений цементом або іншими в'язкими, для влаштування основ та додаткових шарів дорожнього одягу;
- малоактивна гідралічна добавка до вапна при приготуванні золовапняних в'язучих для зміцнення ґрунтів та кам'яних матеріалів;
- замість мінерального порошку та частково піску при приготуванні асфальтобетону;
- заповнювач при приготуванні важкого піщаного бетону.

3.2 Використання відходів згоряння Курахівської ТЕС для будівництва доріг

Як приклад було розглянуто можливість використання відходів згоряння енергетичного підприємства Курахівська ТЕС для будівництва доріг. У 2021 році на підприємстві, в результаті спалювання вугілля та торфу, було утворено близько 1 млн тонн твердих відходів згоряння.

Починаючи з 2014 року Курахівська ТЕС співпрацює з компанією Universal Music Group, якій щороку передає на утилізацію близько 2400-5000 т золошлакових відходів. З отриманих золошлакових відходів UMG виробляє кераміку, цемент та асфальт. Ще певну частину відходів згоряння Курахівська ТЕС використовує для власних потреб, а саме для облаштування дамб золовідвалу, що розташований у Сухій балці [31].

Однак рівень утилізації золошлакових відходів, що наразі застосовується на підприємстві, є недостатнім, оскільки повторному використанню підлягає лише 1-5% утворюваних твердих відходів згоряння. У зв'язку з чим виникає необхідність пошуку додаткових напрямів використання золошлакових відходів.

Золошлакові відходи Курахівської ТЕС, перед їх повторним використанням обов'язково проходять лабораторний контроль в Донецькому обласному лабораторному центрі МОЗ України, де визначається клас відходів та рівень їх радіації. Належна якість золошлакових відходів підтверджує можливість їх використання для дорожнього будівництва.

Золошлакові відходи Курахівської ТЕС пропонується використовувати як заміник традиційних матеріалів, що використовуються для спорудження земляного полотна – піщаний ґрунт. В цьому випадку конструкція дорожнього одягу буде складатися з наступних шарів (рис. 3.2):

- 1 верхній шар дорожнього одягу – щільний асфальтобетон, завтовшки 5 см;
- 2 нижній шар дорожнього одягу – асфальтобетон пористий завтовшки 6 см;
- 3 морозостійкий та посилений шар – щебінь чорний завтовшки 6 см;
- 4 водовідштовхувальний шар – гравій завтовшки 5 см;
- 5 земельне полотно – відвальна золошлакова суміш завтовшки 16 см.

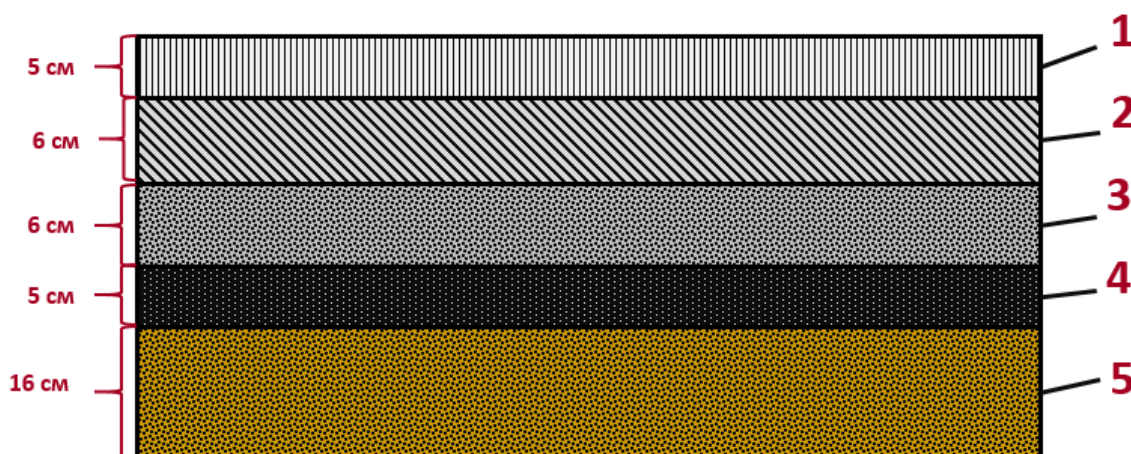


Рисунок 3.2 – Конструкція дорожнього одягу із застосуванням золошлакових відходів

Відповідно до нормативних вимог мінімальний коефіцієнт міцності дорожнього одягу повинен становити 1,43. При заміні традиційного піщаного ґрунту на золошлакові відходи при спорудженні земельного полотна, коефіцієнт міцності дорожнього одягу становитиме 1,66, що на 15% більше від мінімального нормативного показника. Це означає, що застосування золошлакових відходів дозволяє на 15% збільшити міцність дороги.

3.3 Аналіз ефективності прийнятих рішень

З досвіду будівництва доріг в Україні відомо, що на спорудження дорожнього полотна 1 км дороги першої категорії з асфальтобетонним покриттям використовується близько 20,25 тис т піску, що еквівалентно 9,11 млн грн (станом на 25.05.2023 середня вартість 1 т піску в Україні дорівнює 450 грн). Якщо замінити пісок аналогічним обсягом золошлакових відходів вугільної електростанції вартістю 150 грн за тонну, то витрата становитиме 3,04 млн грн, що майже в 3 рази менше.

За розміщення відходів згоряння, відповідно до Податкового кодексу України, Курахівська ТЕС сплачує екологічний податок. Станом на 25.05.2023 вартість розміщення 1 т золошлакових відходів, що належать до III класу

небезпеки, становить 14,12 грн [32]. Відповідно, при використанні відходів згоряння для будівництва 1 км дороги, Курахівська ТЕС може заощадити близько 285,93 тис. грн, за рахунок несплати екологічного податку.

Наразі в Донецькій області стан дорожнього покриття характеризується, як критичний. Через активні бойові дії, а також відсутності фінансування ремонт доріг не відбувається. Відповідно після перемоги, питання відновлення автодоріг, як в Донецькій області, так і в цілому по Україні, набуде ще більшої актуальності. Використання золошлакових відходів для будівництва доріг дозволить вирішити одразу два питання:

- 1 – зменшити техногенне навантаження на довкілля, за рахунок повторного використання відходів згоряння;

- 2 – зменшити на 30% вартість дорожнього покриття та збільшити на 15% його міцність.

ВИСНОВКИ

Згідно з поставленою метою в роботі розроблена пропозиція щодо зменшення антропогенного впливу на довкілля теплових електростанцій за рахунок використання відходів згоряння для будівництва доріг.

Основні результати роботи полягають в наступному:

1. Аналіз впливу теплових електростанцій на довкілля показав, що негативних змін зазнають всі компоненти біосфери, при цьому, характер та інтенсивність антропогенного впливу залежать насамперед від виду палива, що використовується на енергетичних підприємствах для отримання кінцевого продукту – теплової та електричної енергії.

2. Однією з основних екологічних проблем діяльності українських ТЕС є утворення з негорючої частини вугілля, твердих продуктів спалювання, що складаються у золошлакові відвали, які займають площу понад 22 тис. га.

3. В Україні спостерігається тенденція щодо зменшення кількості відходів згоряння, що утворюється на об'єктах паливно-енергетичного комплексу. Так, за останні 10 років кількість утворюваних відходів скоротилася у 2,12 раза.

4. Не дивлячись на зменшення кількості утворюваних відходів проблема поводження з відходами теплових електростанцій залишається вкрай актуальною, оскільки лише 30% відходів утилізується, що є найменшим показником серед всіх країн Європи.

5. Золошлакові відходи є цінною вторинною сировиною для різних галузей промисловості. Однак, використання відходів згоряння, як вторинної сировини, обмежується їх хімічним складом, тому перспективним є використання відходів згоряння для будівництва доріг.

6. Була розроблена пропозиція зменшення антропогенного впливу на довкілля підприємства Курахівська ТЕС за рахунок утилізації золошлакових відходів для спорудження земляного полотна дорожнього покриття.

7. Встановлено, що при заміні традиційного піщаного ґрунту на золошлакові відходи при спорудженні земельного полотна, коефіцієнт міцності дорожнього одягу становитиме 1,66, що на 15% більше від мінімального нормативного показника.

8. Розраховано, що використання відходів згоряння для будівництва доріг дозволить заощадити Курахівській ТЕС близько 285,93 тис. грн за кожний 1 км прокладеної дороги, за рахунок несплати екологічного податку за розміщення золошлакових відходів.

9. Реалізація золошлакових відходів будівельно-дорожнім організаціям, дозволить отримати підприємству Курахівська ТЕС додатковий прибуток у розмірі 3,04 млн грн на 1 км дороги.

9. Використання золошлакових відходів для будівництва доріг дозволить вирішити одразу два питання: 1 – зменшити техногенне навантаження на довкілля та поліпшити умови існування населення поблизу розміщення золовідвалів; 2 – зменшити на 30% вартість дорожнього покриття та збільшити на 15% його міцність.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Buha Marković, Jovana Z., Ana D. Marinković, Jasmina Z. Savić, Milica R. Mladenović, Milić D. Erić, Zoran J. Marković, and Mirjana Đ. Ristić (2023). Risk Evaluation of Pollutants Emission from Coal and Coal Waste Combustion Plants and Environmental Impact of Fly Ash Landfilling. *Toxics*. 11, no. 4: 396. <https://doi.org/10.3390/toxics11040396/>
2. IPCC, Climate Change (2007). The Physical Science Basis, Cambridge University Press, Cambridge, 2013.
3. Thermal electricity. Режим доступу: <https://www.engie.com/en/activities/thermal-energy/thermal-power-stations> (дата звернення 08.05.2023). – Назва з екрана.
4. H. Ohyama, K. Shiomi, N. Kikuchi, I. Morino, T. Matsunaga. (2021). Quantifying CO₂ emissions from a thermal power plant based on CO₂ column measurements by portable Fourier transform spectrometers. *Remote Sensing of Environment*, 267, 112714, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112714>
5. Coal power air pollution in Europe. Режим доступу: <https://ember-climate.org/insights/research/coal-power-air-pollution/?fbclid=IwAR1D7cC199EpEKURR7QM7CV-XnqJCidmiGjtw9quBx-uQkbkAeyr5hCevxM> (дата звернення 08.05.2023). – Назва з екрана.
6. Rosen, M.A., Bulucea, C.A., Mastorakis, N.E., Bulucea, C.A., Jeles, A.C., Brindusa, C.C. (2015). Evaluating the Thermal Pollution Caused by Wastewaters Discharged from a Chain of Coal-Fired Power Plants along a River. *Sustainability*. 7, 5920-5943. <https://doi.org/10.3390/su7055920>
7. Istrate, M.; Gusa, M. (2000). Impactul Producției, Transportului și Distribuției Energiei Electrice Asupra Mediului (Environmental Impact of Electric Energy Generation and Transportation); AGIR Publishing House: Bucharest, Romania.

8. Medarac H., Magagna D., Hidalgo-González I. (2018). Projected fresh water use from the European energy sector EUR 29438 EN, *Publications Office of the European Union, Luxembourg*, 10.2760/30414.

9. Petrakopoulou F., Robinson A., Olmeda-Delgado M. (2020). Impact of climate change on fossil fuel power-plant efficiency and water use. *Journal of Cleaner Production*, 273, 122816.

10. Sagar D. Impact of thermal power on biodiversity. Режим доступу: https://www.academia.edu/15576819/Impact_of_thermal_power_on_biodiversity (дата звернення 10.05.2023). – Назва з екрана.

11. ASTM D5759-12; Standard Guide for Characterization of Coal Fly Ash and Clean Coal Combustion Fly Ash for Potential Uses. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2020; p. 4.

12. Кошлак Г.В. Розвиток наукових основ утилізації відходів теплових електричних станцій для зменшення техногенного навантаження на довкілля: дисертація на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук/ Кошлак Г.В.; наук.керівн. Крижанівський Є.І – Полтава, 2016-332 с.

13. Статистичний щорічник України, 2022 рік.

14. Chera-Anghel I., Popescu L., Condrea F. (2020). Impact of pollutants in the energy sector on the environment and technologies for treating liquid and solid waste from power plants. *E3S Web of Conferences* 180, 02010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018002010>

15. Popov O, Iatsyshyn A, Kovach V, Artemchuk V, Kameneva I, Radchenko O, Nikolaiev K, Stanytsina V, Iatsyshyn A, Romanenko Y. (2021). Effect of Power Plant Ash and Slag Disposal on the Environment and Population Health in Ukraine. *J Health Pollut.* 11(31):210910. doi:10.5696/2156-9614-11.31.210910

16. Видобуток кам'яного вугілля та лігніту. Режим доступу: <https://energystats.enerdata.net/coal-lignite/coal-production-data.html> (дата звернення 15.05.2023). – Назва з екрана.

17. Dubai buildings must use green concrete. Режим доступу: <https://www.kitco.com/news/2015-03-29/Dubai-buildings-must-use-green-concrete.html> (дата звернення 15.05.2023). – Назва з екрана.
18. MCS, Mineral commodity summaries U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, United States of America. (2011).
19. MCS, Mineral commodity summaries U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, United States of America. (2022).
20. Bušatlić I., Bušatlić N., Karić A., Halilović A. (2019). Industrial waste materials as raw materials for the production of low heat hydration cement. *Recycling and Sustainable Development*, 12, 31-36.
21. The potential of industrial waste: using foundry sand with fly ash and electric arc furnace slag for geopolymer brick production. Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020305429> (дата звернення 17.05.2023). – Назва з екрана.
22. R. Niyazbekova, M. Userbaev, G. Kokayeva. (2018). Ash Deposits CHP – as an Additional Source of Raw Material for Construction Production. *Chemical engineering transactions*, 70, 649-654.
23. B. Mangutova, E. Fidancevska, M. Milosevski J. Bossert. (2004). Production of highly porous glass-ceramics from metallurgical slag, fly ash and waste glass, *Acta periodica technologica*, 35, 103-110.
24. An Experimental Study on Utilization of Fly Ash and Slag in the Production of Compressed Bricks. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/296591297_An_Experimental_Study_on_Utilization_of_Fly_Ash_and_Slag_in_the_Production_of_Compressed_Bricks (дата звернення 18.05.2023). – Назва з екрана.
25. Rawat K., Yadav A.K., 2020, Characterization of coal and fly ash (generated) at coal based thermal power plant, *Materials Today Proceedings*, 26, 2, 1406-1411.
26. Environmental risk assessment of coal fly ash on soil and groundwater quality. Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/329477293>

Environmental risk assessment of coal fly ash on soil and groundwater quality Aligarh India (дата звернення 23.05.2023). – Назва з екрана.

27. Gulmira Kyzdarbekova et al. (2023). Effectiveness of the Use of Ash and Slag Fertilizer on Ordinary Chernozem for Linum usitatissimum Crops. *OnLine Journal of Biological Sciences* 23 (3): 276.285.

28. ДБН В.2.3-4:2007 Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво.

29. СОУ 42.1-37641918-104:2013 Золи-винесення та суміші золошлакових теплових електростанцій для дорожніх робіт. Технічні умови.

30. Золошлакові матеріали – вигідна альтернатива природним матеріалам для будівництва доріг. Режим доступу: https://ppv.net.ua/uploads/work_attachments/Ash_Use_in_the_Road_Construction_UA_.PDF (дата звернення 23.05.2023). – Назва з екрана.

31. Екологічно і практично: із золошлаків ДТЕК Курахівської ТЕС роблять керамічну плитку і будують будинки. Режим доступу: <https://ecolog-ua.com/news/ekologichno-i-praktychno-iz-zoloshlakiv-dtek-kurahivskoyi-tes-robyat-keramichnu-plytku-i> (дата звернення 24.05.2023). – Назва з екрана.

32. Податковий Кодекс України <https://tax.gov.ua/nk/>