

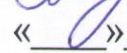
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Факультет економіки та екології моря

Кафедра екології та природоохоронних технологій

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

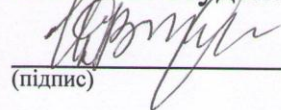
 Трохименко Г.Г.
«» 12 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему **«ЕКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ НАПРЯМІВ УТИЛІЗАЦІЇ ЗОЛИ ВІД
СПАЛЮВАННЯ БІОМАСИ»**

Виконав: студент 6271м групи

 Іванюк Д.В.
(підпис)

Керівник: к.е.н., доцент
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

 Літвак О.А.
(підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Факультет економіки та екології моря

Кафедра екології та природоохоронних технологій

Спеціальність 101 «Екологія»

Освітня програма «Екологія та охорона навколишнього середовища»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

д.б.н., професор

Наконечний І.В.

“ ” _____ 2024 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»**

Студенту Іванюку Дмитру Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Екологічний аналіз напрямів утилізації золи від спалювання біомаси»

Керівник роботи Літвак Ольга Анатоліївна, канд. екон. наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора № 1108-УЧ від « 24 » жовтня 2024 року

2. Термін подання роботи: _____

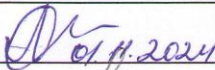
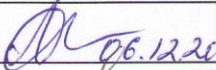
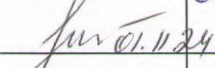
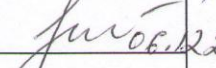
3. Вихідні дані по роботі: технічна документація, статистичні дані, методичні вказівки, наукові публікації.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)

1. Характеристика та властивості золи при спалюванні біомаси. 2. Екологічний аналіз напрямів використання золи від спалювання біопалива. 3. Перспективи використання золи біопалива у виробництві будівельних матеріалів. 4. Аналіз ефективності використання золи біомаси як добрива. 5. Економічні аспекти використання золи біопалива. 6. Охорона праці.

5. Перелік презентаційних матеріалів: Презентація – 20 слайдів.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

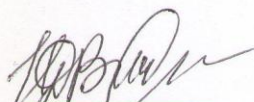
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
5	Літвак О.А., к.е.н., доцент	 01.11.2024	 06.12.2024
6	Маринець О.М., к.т.н., доцент	 01.11.24	 06.12.2024

7. Дата видачі завдання 15.09.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір теми кваліфікаційної роботи	15.09.2024	
2	Визначення мети, завдань, об'єкта та предмета дослідження	26.09.2024	
3	Складання плану, підбір і опрацювання списку використаних джерел	05.10.2024	
4	Вивчення фізико-хімічних властивостей золи від спалювання біомаси	17.10.2024	
5	Екологічний аналіз напрямів використання золи від спалювання біопалива. Перспективи використання золи біопалива у виробництві будівельних матеріалів.	01.11.2024	
6	Проведення аналізу ефективності використання золи біомаси як добрива	25.11.2024	
7	Дослідження економічних аспектів використання золи біопалива	01.12.2024	
8	Розробка заходів з охорони праці та техніки безпеки	08.12.2024	
9	Підготовка до захисту кваліфікаційної роботи	20.12.2024	
10	Захист кваліфікаційної роботи	23.12.2024	

Студент


(підпис)

Іванюк Д.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Літвак О.А.
(прізвище та ініціали)

Анотація
до кваліфікаційної роботи «Екологічний аналіз напрямів утилізації золи
від спалювання біомаси»
студента Іванюка Дмитра Віталійовича

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування ефективних напрямків утилізації золи від спалювання біомаси та узагальнення досвіду її використання як добрива в сільському господарстві.

Об'єкт дослідження – зола, що утворюється в процесі спалювання різних видів біомаси.

Предмет дослідження – обґрунтування ефективних напрямків утилізації золи від спалювання біомаси з урахуванням її фізико-хімічних властивостей.

В роботі вивчено основні характеристики та властивості золи, що утворюється в процесі спалювання різних видів біомаси. Визначено обсяги утворення золи від спалювання біопалива в Україні та обґрунтовано ефективні напрями утилізації золи біомаси. Проаналізовано досвід та особливості використання золи від спалювання біомаси в Німеччині та інших країнах світу. Визначено перспективи використання золи біопалива у виробництві будівельних матеріалів. Проведено аналіз ефективності використання золи біомаси як добрива на основі результатів наукових експериментів, що були виконані дослідниками за останні 20 років в різних країнах світу. Обґрунтовано драйвери, що сприятимуть вирішенню проблеми ефективної утилізації золи біомаси в Україні. Проведено аналіз українського ринку добрив на основі золи біомаси. Розглянуто питання охорони праці та вимог техніки безпеки при роботі з добривами.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел. Основний зміст викладено на 87 сторінках комп'ютерного тексту, у тому числі 21 рисунок, 18 таблиць, список використаних джерел із 71 найменування.

Ключові слова: зола, біомаса, біопаливо, утилізація, виробництво будівельних матеріалів, добрива, важкі метали, поживні речовини, ефективність.

Summary
to the qualification work «Environmental analysis of ash utilization directions
from biomass combustion»
Ivaniuk Dmytro

The purpose of the qualification work is to substantiate the effective ways of utilising ash from biomass combustion and to summarise the experience of its use as fertiliser in agriculture.

The object of research is ash generated during the combustion of various types of biomass.

The subject of the study is to substantiate effective ways of utilising ash from biomass combustion, taking into account its physical and chemical properties.

The paper studies the main characteristics and properties of ash generated during the combustion of various types of biomass. The volumes of ash formation from biofuel combustion in Ukraine are determined and the effective directions of biomass ash utilisation are substantiated. The experience and peculiarities of the use of biomass ash in Germany and other countries of the world are analysed. The prospects for the use of biofuel ash in the production of building materials are determined. An analysis of the efficiency of using biomass ash as a fertiliser is carried out on the basis of the results of scientific experiments carried out by researchers over the past 20 years in different countries of the world. The drivers that will contribute to solving the problem of efficient biomass ash utilisation in Ukraine are substantiated. The Ukrainian market of biomass ash fertilisers is analysed. The issues of labour protection and safety requirements when working with fertilisers are considered.

The qualification work consists of an introduction, six chapters, conclusions, and a list of references. The main content is presented on 87 pages of computer text, including 21 figures, 18 tables, and a list of 71 references.

Key words: ash, biomass, biofuels, utilisation, construction materials production, fertilisers, heavy metals, nutrients, efficiency.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ВЛАСТИВОСТІ ЗОЛИ ПРИ СПАЛЮВАННІ БІОМАСИ	10
1.1 Процеси утворення золи під час спалювання біомаси	10
1.2 Хімічні властивості та інші характеристики золи біомаси	19
1.3 Основні джерела отримання золи	23
РОЗДІЛ 2 ЕКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ НАПРЯМІВ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ ВІД СПАЛЮВАННЯ БІОПАЛИВА	26
2.1 Визначення обсягів утворення золи від спалювання біопалива в Україні	26
2.2 Напрями утилізації золи від спалювання біомаси	31
2.3 Досвід та особливості використання золи від спалювання біомаси в Німеччині	37
РОЗДІЛ 3 ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ БІОПАЛИВА У ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	43
3.1 Ключові аспекти і перспективи використання золи біопалива у виробництві будівельних матеріалів	43
3.2 Особливості використання золи при виробництві бетону	45
3.3 Переваги та недоліки використання золи у виробництві будівельних матеріалів	49
РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ БІОМАСИ ЯК ДОБРИВА	51
4.1 Зола біомаси як ефективний засіб для удобрення рослин	51
4.2 Аналіз результатів наукових досліджень, щодо ефективності використання золи біомаси як добрива	58
4.3 Визначення кількості добрив на основі золи від спалювання соломи пшениці	71
4.4 Драйвери, що сприятимуть вирішенню проблеми ефективної утилізації золи біомаси в Україні	73

РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ	
БІОПАЛИВА	75
5.1 Аналіз українського ринку добрив на основі золи біомаси	75
5.2 Економічна та енергетична ефективність застосування добрив на основі золи біомаси	76
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ	79
6.1 Загальні положення охорони праці	79
5.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при роботі на розкидачі добрив	80
6.3 Розрахунок стійкості розкидача добрив під час експлуатації.....	82
6.4 Вимоги техніки безпеки при роботі з розкидачем добрив	83
ВИСНОВКИ	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	90

ВСТУП

Актуальність теми. Питання поводження з відходами від спалювання твердого палива в останні роки привертають дедалі більшу увагу дослідників. З одного боку, це пов'язано з необхідністю використання земель, зайнятих золовідвалами, що розширюються, з іншого – зі збільшенням обсягів утвореної золи внаслідок залучення місцевих ресурсів біомаси (деревних, сільськогосподарських та інших органічних відходів) до паливно-енергетичного балансу регіонів країни.

Накопичені обсяги золи від спалювання біомаси є джерелом забруднення довкілля: збільшується запиленість повітря, що спричиняє забруднення водних об'єктів, ґрунтів та негативно позначається на стані здоров'я населення.

Разом з тим, за своїм фізико-хімічним та агрегатним складом зола є унікальним ресурсом, який можна використовувати в різних галузях виробництва з отриманням значного соціального та еколого-економічного ефектів.

При сучасному рівні та масштабах споживання природної сировини першорядне значення має повне використання та залучення у виробництво відходів як вторинного матеріального ресурсу. Тому обґрунтування напрямів використання золи та шламів, що утворюються в процесі спалювання палива в котельнях на теплових електростанціях, представляє проблемне завдання. Складність в першу чергу обумовлена непостійністю складу мінеральної складової твердого палива, з одного боку, та придбанням нових фізико-хімічних характеристик у процесі спалювання, з іншого.

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування ефективних напрямків утилізації золи від спалювання біомаси та узагальнення досвіду її використання як добрива в сільському господарстві.

Об'єкт дослідження – зола, що утворюється в процесі спалювання різних видів біомаси.

Предмет дослідження – обґрунтування ефективних напрямків утилізації золи від спалювання біомаси з урахуванням її фізико-хімічних властивостей.

Для досягнення мети в роботі вирішувалися наступні **завдання**:

- вивчення основних характеристик та властивостей золи, що утворюється в процесі спалювання різних видів біомаси;
- визначення обсягів утворення золи від спалювання біопалива в Україні;
- обґрунтування ефективних напрямів утилізації золи від спалювання біомаси;
- аналіз досвіду та особливостей використання золи від спалювання біомаси в Німеччині та інших країнах світу;
- визначення перспектив використання золи біопалива у виробництві будівельних матеріалів;
- проведення аналізу ефективності використання золи біомаси як добрива на основі результатів наукових експериментів, що були виконані дослідниками в різних країнах світу;
- обґрунтування драйверів, що сприятимуть вирішенню проблеми ефективної утилізації золи біомаси в Україні;
- проведення аналізу українського ринку добрив на основі золи біомаси;
- розгляд питань охорони праці та вимог техніки безпеки при роботі з добривами.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ВЛАСТИВОСТІ ЗОЛИ ПРИ СПАЛЮВАННІ БІОМАСИ

1.1 Процеси утворення золи під час спалювання біомаси

За останні десятиліття енергетичне використання біомаси стало важливим фактором для переходу з викопного палива на відновлюване у всіх масштабах спалювальних пристроїв і електростанцій. Зола, що накопичується, може використовуватися як альтернативні матеріали для заміни клінкеру при виробництві цементу, тим самим потенційно скорочуючи значні викиди парникових газів у галузі. Летуча зола деревини на середніх і великих електростанціях виробляється у великих кількостях і часто має схожі властивості, як і зола від спалювання вугілля, що широко використовується. Тим не менш, склад і якість вугільної летучої золи досить постійні, оскільки вугільні електростанції є великомасштабними камерами згоряння, що спалюють стандартизоване паливо при постійних параметрах згоряння, а летюча зола вловлюється стандартизованими пристроями очищення димових газів. Навпаки, летюча зола від електростанцій, що працюють на біомасі, демонструє великі відмінності у складі та морфології залежно від типу палива, масштабу електростанції та стратегії очищення димових газів. Паливо із біомаси має різну природу. В залежності від місцевої доступності біомаси існують типи палива, що варіюються від соломи та лісових відходів до деревної тріски та стандартизованих гранул. Стандартизовані гранули є найбільш однорідним типом деревного палива і в основному використовуються для прямого спалювання в невеликих камерах згоряння або газифікуються для електрогенераторів. Тим не менш, найбільш поширеним типом біомасового палива для середніх камер згоряння є деревна тріска, яка складається з подрібненої деревини розміром в кілька сантиметрів і може бути виготовлена з різних порід дерев. Великі електростанції на біомасі призначені для

спалювання широкого спектра типів біомасового палива або спільного спалювання з небіомасовим паливом. Для досягнення оптимізованих умов згоряння великі установки спалювання біомаси у багатьох випадках використовують технологію псевдозрідженого шару. Такі псевдозріджені шари покращують умови горіння для великих партій твердого палива та сприяють повному згорянню. Добавки, що зазвичай складаються з вапняку, роблять внесок у кінцевий склад летучої золи, що уловлюється нижче по потоку від димового газу, і вони надзвичайно багаті кальцієм. На великих електростанціях, що працюють на біомасі, як паливо часто використовується суміш деревини та органічних відходів, таких як залишки врожаю.

Процес спалювання твердих видів біопалива (подача палива, його горіння, видалення твердих і газоподібних частинок) залежить від виду твердого біопалива, що використовується, його фізичних характеристик (наприклад, розміру частинок, об'ємної щільності, вмісту вологи, загальної теплотворної здатності) та хімічного складу. Завдяки останнім науковим дослідженням, впровадженню у виробництво, технології спалювання біомаси досягли дуже високого рівня та використовуються в установках будь-якої теплової потужності. Найважливіша перевага біопалива в порівнянні з викопними видами палива полягає в тому, що його спалювання розглядається CO_2 -нейтральним процесом. Крім того, сучасні системи спалювання біомаси, включаючи системи спільного спалювання з іншими видами палива, забезпечують низькі рівні викиду CO -, NO_2 - та загального органічного вуглецю, порівняні з рівнями викиду від установок, призначених для спалювання викопного палива.

Внаслідок розширення практики використання біомаси для виробництва енергії, зростає і кількість твердих відходів, таких як зола, вміст якої в біопаливі коливається від 0,5 вагових відсотків (на суху масу) для м'яких порід деревини до 4-8 вагових відсотків для кори, яка характеризується підвищеним вмістом золи з одного боку, і великим вмістом мінеральних домішок (піску, землі, каміння) з іншого боку (табл.1.1). Вміст золи вимірюється у вагових

відсотках (за сухою масою). Вимірювання вмісту золи проводиться згідно з ISO 1171-1981 при температурі 550°C.

Таблиця 1.1. Вміст золи у різних видах біопалива

Вид біопалива	Вміст золи, %
Кора	5,0-8,0
Деревна тріска з корою (лісова)	1,0-2,5
Деревна тріска без кори (промислова)	0,8-1,4
Тирса	0,5-1,1
Солома	2-10 %

У зв'язку із збільшенням витрат на утилізацію золи, що отримується від спалювання біомаси, встає питання необхідності її регульованого використання. Для стійкого використання золи дуже важливо замкнути цикл обігу компонентів золи і включити золу біомаси до природних циклів обігу речовин. З цієї причини цикл обігу мінералів (грунт/поживні речовини → коріння/рослина → спалювання → зола → грунт) має бути максимально замкнутим.

Раніше проведені дослідження показали, що природний цикл обігу мінералів у процеси отримання енергії з біомаси порушується внаслідок накопичення важких металів у лісовій екосистемі внаслідок забруднення навколишнього середовища. З цієї причини в більшості випадків неможливо використовувати в повному обсязі золу, що утворюється у процесі спалювання. Відділення частини золи, багатой важкими металами, має забезпечити можливість утилізації основний її частини.

Щоб використання золи, одержуваної при спалюванні біомаси, було максимально стійким, потрібна попередня її переробка, що робить золу корисним продуктом для сільського господарства та інших галузей промисловості. Золу необхідно перемішувати таким чином, щоб забезпечити необхідний хімічний склад, що відстежується за допомогою системи контролю якості.

При сучасному рівні та масштабах споживання природної сировини першорядне значення має повне використання та залучення у виробництво відходів як вторинного матеріального ресурсу. Освоєння природних ресурсів та відмова від будівництва нових золошлаковідвалів здешевить як виробництво будівельних матеріалів, так і промислове та цивільне будівництво. Склад і властивості золи залежать від складу мінеральної фракції палива, типу системи видалення пилю, режиму спалювання, способу уловлювання і видалення, місця збору золошлаків у вловлювальних установках (табл. 1.2).

Таблиця 1.2. Основні фактори, що впливають на кількість, елементний склад і інші властивості утвореної золи

Фактор	Пояснення
Види спалюваної біомаси	- види і походження рослин; - частини спалюваних рослин; - форми і технології зберігання біомаси для спалювання
Технології спалювання	- спалювання на решітці або в киплячому шарі; - конструкції камери згоряння і котлів; - параметри процесу спалювання: температура горіння, витрата повітря, а також і інші параметри.
Технології уловлювання золи з димових газів	- циклони - рукавні фільтри - електрофільтри
Додаткові технології запобігання наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря	Наприклад, введення аміачної води або доломіту у шар спалювання.

Летючі сполуки золи, які включають K, Na, S, Cl, а також важкі метали (Zn і Cd), виділяються з палива в газову фазу і потім вступають в реакції газової фази. Як тільки тиск пари в суміші перевищує тиск насичення, що може мати місце або внаслідок високої швидкості утворення даного з'єднання, або внаслідок охолодження топкового газу, відбувається утворення частинок в

результаті конденсації таких парів на існуючих поверхнях. Процеси краплеутворення та конденсації завжди супроводжують один одного, і, якщо є достатня поверхня для конденсації, процес краплі може частково або повністю пригнічуватися. Інакше утворюються дуже малі аерозольні частки. Як тільки такі частинки утворюються, вони починають коагулювати з іншими аерозолями або частинками великої фракції виносу (рис. 1.1).

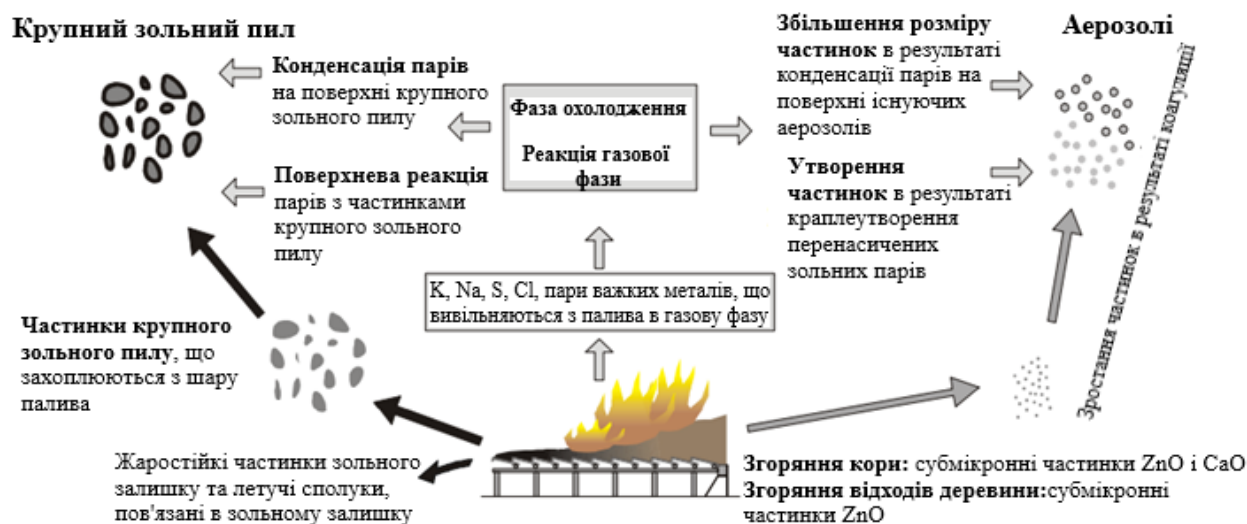


Рис. 1.1. Механізми, що беруть участь в утворенні золи в процесі згоряння біомаси

Внаслідок різниці у процесах утворення великих частинок золи виносу та аерозолів, а також внаслідок відмінності їх хімічного складу та поведінки ці дві фракції золи виносу завжди повинні оброблятися та використовуватися окремо. Однак оскільки присутність великих частинок золи виносу впливає на утворення та поведінку аерозолів, необхідно враховувати фактори взаємодії між цими двома фракціями.

Зола – незгоряючий залишок із зернами дрібнішими за 0,16 мм, що утворюється з мінеральних домішок палива при повному його згорянні та виділений з димових газів золоуловлювальними пристроями (рис. 1.2).

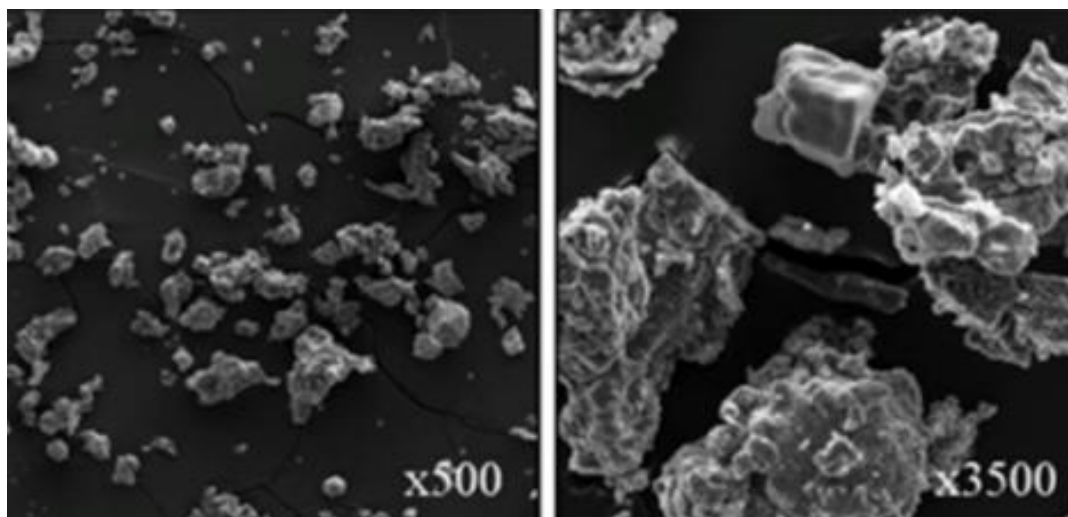


Рис. 1.2. Зовнішній вигляд золи під скануючим електронним мікроскопом [45]

Властивості золи біомаси в основному залежать від технології спалювання та походження біомаси. Для спалювання біомаси використовуються різні технології, і серед них три в основному застосовуються в промислових масштабах: спалювання в нерухомому шарі (а), спалювання в киплячому шарі (б) і циркуляційне (в) та спалювання пилоподібного палива (г) (рис.1.2). Основна відмінність між цими технологіями полягає у зоні горіння. При спалюванні у нерухомому шарі горіння відбувається на матеріалі шару. У технології псевдозрідженого шару матеріал шару (кварцовий пісок або доломіт) вводиться в потік газу, утримується у зваженому стані та згорає. Різниця між технологією щільного псевдозрідженого шару та технологією циркулюючого псевдозрідженого шару полягає у швидкості подачі газу, яка забезпечує зважений стан або циркуляцію суміші біомаси та матеріалу шару. Унікальною особливістю технології спалювання розпиленої біомаси є те, що згорання відбувається, коли біомаса перебуває у виваженому стані. У кожній технології для завершення горіння додається первинний та вторинний повітряний потік.

У процесі горіння можна спостерігати різні фази перетворення частинок біомаси на золу. Цими фазами є сушіння, піроліз, газифікація та горіння (рис. 1.3). На утворення золи в результаті цих реакцій впливає технологія горіння та, зокрема, ефективність технології горіння задля досягнення максимально повного згорання. У разі технологій із псевдозрідженим шаром наявність

матеріалу шару (зазвичай піску) призводить до більш складної адгезії та сплавлення біомаси з матеріалом шару.

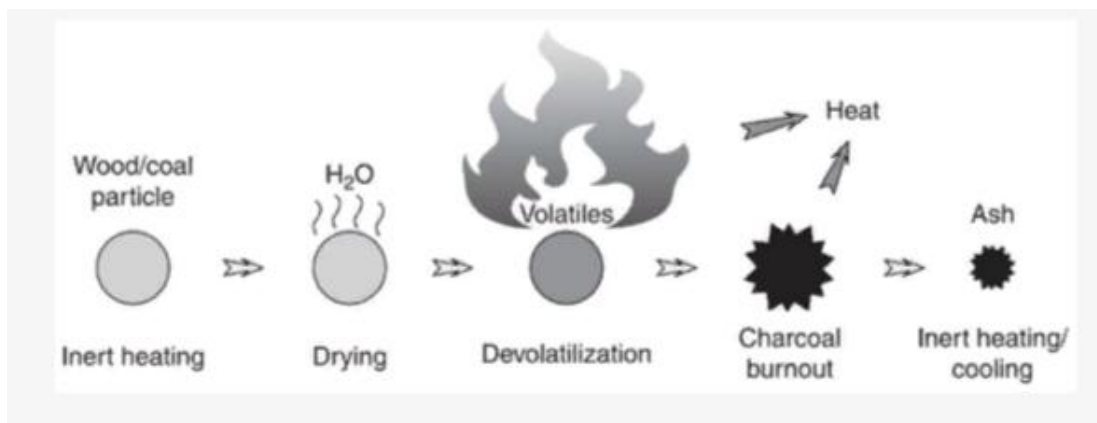


Рис. 1.3. Процес горіння частинок і утворення золи

В установках для спалювання біомаси зазвичай присутні три фракції золи:

- зольний залишок (подова зола);
- зола виносу із циклонів (циклонна зола);
- зола виносу з фільтрів (фільтраційна зола) (рис. 1.4, рис. 1.5).

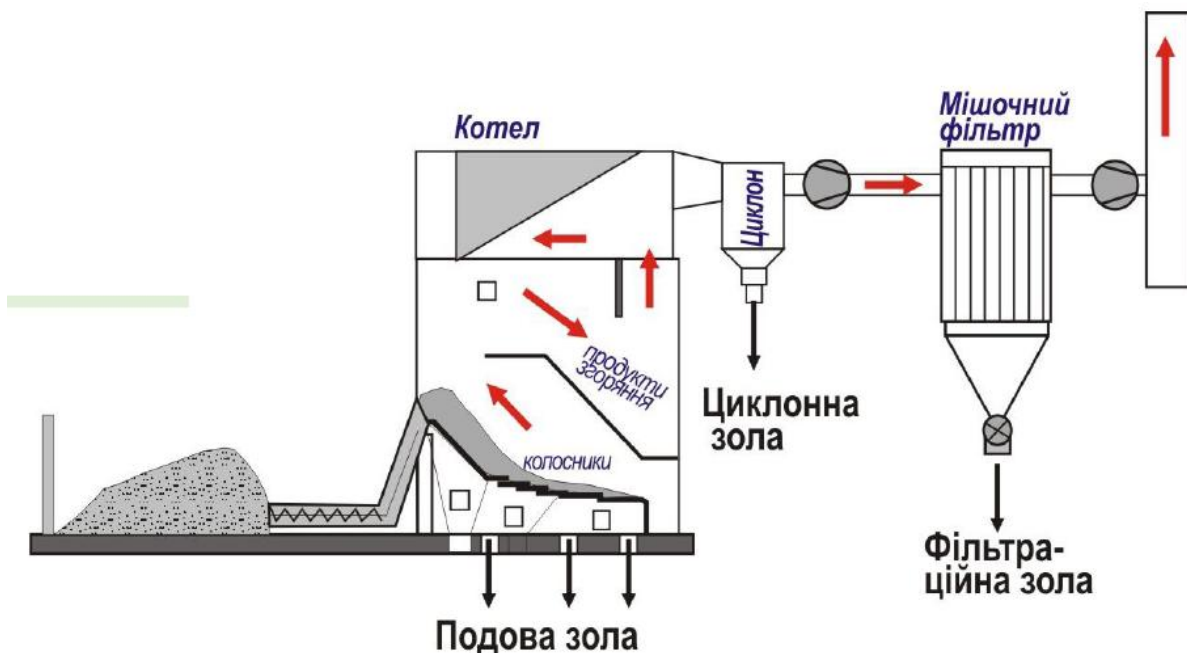


Рис. 1.4. Процеси утворення трьох фракцій золи [27]



Подова зола



Зола виносу

Рис. 1.5. Зовнішній вигляд фракцій золи

Подова зола утворюється на ґратах у топці. Ця зольна фракція часто поєднується з мінеральними домішками, що містяться в біопаливі, такими як пісок, каміння та земля. Мінеральні домішки можуть викликати, особливо в котельних установках з нерухомим шаром при великому вмісті кори, утворення шлаку (через зниження температури плавлення) та спікання частинок золи в зольному залишку.

Циклонний зольний пил включає дрібні, в основному неорганічні, частинки золи, що несуть разом з топковим газом з топки і осаджуються переважно в мультициклонах, розташованих за топкою. Ця зольна фракція, переважно, містить великі частинки золи виносу.

Фільтраційна зола виносу являє собою другу, дрібнішу фракцію, що вловлюється в електростатичних фільтрах, тканинних фільтрах або у вигляді шламу конденсаційного в блоках конденсації топкового газу (звичайного розташованих за мультициклонами). Ця зольна фракція в основному включає аерозолі. Якщо установка для спалювання біомаси не оснащена фільтрувальним обладнанням, така летюча зола надходить в атмосферу у вигляді залишкового пилу.

Стандартні значення середнього розподілу за масою різних фракцій золи щодо її загального вмісту в топці з нерухомим шаром наведені в табл.1.3. Наведені відмінності обумовлені застосуванням різних технологій спалювання та різними розмірами подрібненого біопалива. Розподіл по масі також залежить

від геометрії топки, подачі повітря для горіння, системи управління процесом та технології відділення пилу.

Таблиця 1.3. Питома вага різних зольних фракцій від загальної кількості золи, %

Зольна фракція біопалива	Кора	Деревна тріска	Тирса
Подова зола	65-85	60-90	20-30
Циклонна зола виносу	10-25	10-30	50-70
Зола тонкої фільтрації	2-10	2-10	10-20

Середня кількість одержаної золи залежить насамперед від палива. Робота систем спалювання в псевдозрідженому шарі супроводжується виділенням більшого обсягу пилу в порівнянні з системами спалювання в нерухомому шарі, оскільки, крім золи, одержуваної при спалюванні біомаси з топки також виводиться інертний робочий матеріал самого шару. Частка подової золи в загальному обсязі золи, одержуваної в установках для спалювання в псевдозрідженому шарі, значно нижче, ніж у системах спалювання з нерухомим шаром, і становить 20-30%. Інші 70-80% одержуваної золи становить зола виносу, яка виноситься з топковим газом і відокремлюється в секціях котла та в пилоосаджувачах, розташованих за секціями котла.

Густина частинок зменшується в міру переходу від подової золи до фільтраційної золи, що можна пояснити зменшенням кількості мінеральних домішок у зольній фракції та збільшенням солевмісту. Об'ємна (насипна) щільність зменшується зі зменшенням розмірів зольної фракції (табл. 1.4).

Таблиця 1.4. Середня щільність частинок та об'ємна (насипна) щільність золи біомаси (на суху масу)

Зольна фракція	. Середня густина частинок, кг/м ³	Об'ємна (насипна) щільність	
		Середнє значення, кг/м ³	Стандартне відхилення, кг/м ³
Спалювання кори (рухомі ґрати та топка з нижньою подачею палива)			
Подова зола	2600 – 3000	950	200
Циклонна зола виносу	2400 – 2700	650	120
Зола тонкої фільтрації	2300 – 2600	350	120

Спалювання тріски (рухомі ґрати та топка з нижньою подачею палива)			
Подова зола	2600 – 3000	950	200
Циклонна зола виносу	2400 – 2700	500	150
Зола тонкої фільтрації	2300 – 2600	-	-
Спалювання тирси (топка з нижньою подачею палива)			
Подова зола	2600 – 3000	650	150
Циклонна зола виносу	2400 – 2700	300	100
Зола тонкої фільтрації	2300 – 2600	-	-

Розміри частинок залежать від фракційного складу палива, що використовується, вмісту золи, хімічного складу золи та обсягу мінеральних домішок у паливі. Розміри частинок подової золи залежать від її спікання, тоді як розміри частинок золи виносу залежать від використовуваної технології поділу золи виносу, і навіть від хімічного складу біопалива (табл. 1.5).

Таблиця 1.5. Вплив розміру частинок золи на її насипну щільність

Вид палива	Фракція золи	Розмір частинок, мкм	Насипна щільність, кг/м ³
Тирса	Подова зола	10-30000	662
	Циклонна зола	2-100	283
Подрібнена деревина	Подова зола	15-15000	960
	Циклонна зола	2-160	430

1.2 Хімічні властивості та інші характеристики золи біомаси

Хімічний склад золи при спалюванні біопалива включає різноманітні мінеральні сполуки, які раніше утримувалися в біомасі. Основними компонентами золи є:

- кальцій та магній, вміст яких може становити значну частку золи. Ці сполуки зазвичай пов'язані з речовинами, що містяться у ґрунті та воді;
- оксид кремнію, оксид заліза, оксид алюмінію та інші. Оксиди можуть надавати золі характерний колір та впливати на її фізичні властивості;
- сульфати, включаючи сульфат кальцію, також можуть бути присутніми у золі. Вони утворюються із солей, що містяться в деревині;
- фосфат кальцію;

- калій, залізо та мідь. Ці елементи можуть бути корисними для ґрунту та рослин при використанні золи як добрива.

Таким чином у золі є всі неорганічні речовини, крім азоту. Кальцій – основний компонент деревної золи. Середні концентрації біогенних елементів у зольних фракціях різних видів палива наведено у табл.1.6, табл. 1.7, рис. 1.6. Цінність солом'яної золи і від лушпиння соняшника як добрива нижче за деревну, оскільки їх основним компонентом є кремній, найбільший вміст якого відзначається в рисовій соломі.

Таблиця 1.6. Типовий хімічний склад золи від спалювання різних видів біомаси (у % до маси сухої речовини)

Елемент	Тріска хвойних порід	Кора деревини хвойних порід	Солома зернових (пшениця, жито, ячмінь)	Лушпиння соняшнику
Ca	26,0-38,0	24,0-36,0	4,5-8,0	3,7
K	4,9-6,3	5,0-9,9	10,0-16,0	28,8
Mg	2,2-3,6	2,4-5,6	1,1-2,7	1,2
Na	0,3-0,5	0,5-0,7	0,2-1,0	0,8
P	0,8-0,9	1,0-1,9	0,2-6,7	0,3
Si	4,0-11,0	7,0-17,0	16,0-30,0	21,3
C	0,2-3,1	0,2-1,1	9,0-16,6	-

Таблиця 1.7. Середня концентрація поживних речовин в різних зольних фракціях

Поживні речовини	Подова зола	Циклонна зола	Фільтраційна зола тонкого очищення
MgO	6,0±1,2	4,4±0,9	3,6±0,7
K ₂ O	6,5±2,1	6,8±2,3	14,3±7,2
P ₂ O ₅	2,6±1,0	2,5±0,9	2,8±0,9
Na ₂ O	0,7±0,2	0,6±0,3	0,8±0,6

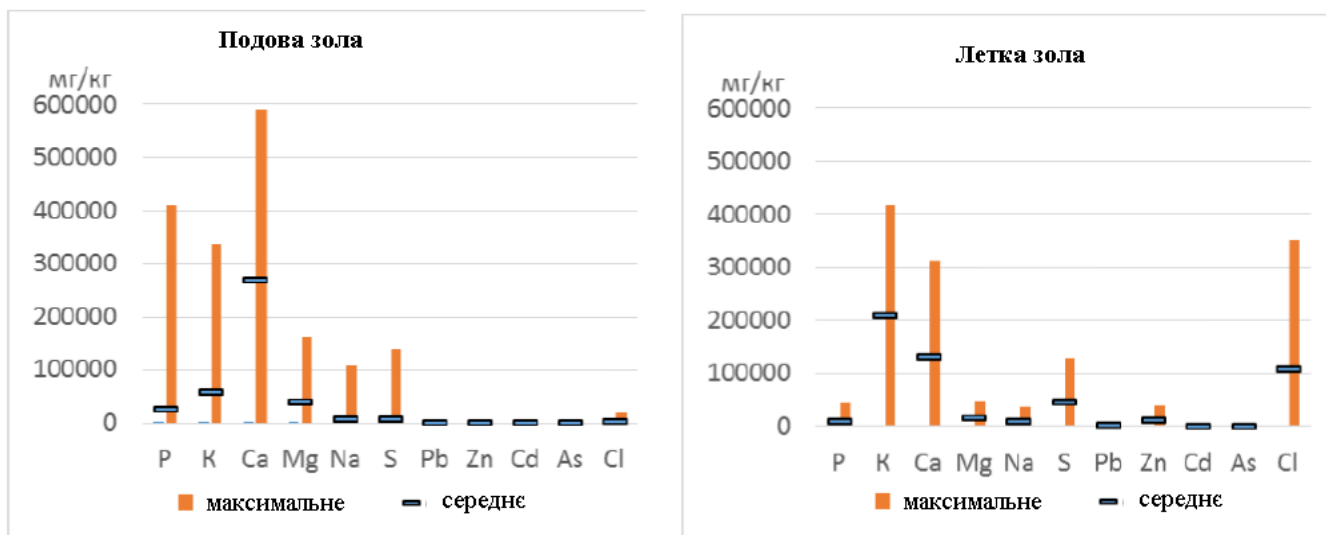


Рис. 1.6. Граничні та середні значення вмісту хімічних елементів в різних фракціях золи біомаси [26]

Вміст елементів у золі може варіювати в залежності від типу деревини і процесу згоряння. Наприклад, листяні дерева можуть давати золу з вищим вмістом калію, тоді як хвойні дерева можуть давати золу з вищим вмістом кальцію. Такий склад робить золу від біомаси цінним джерелом мінеральних елементів, який може бути використаний у сільському господарстві, садівництві та інших галузях.

Проте раніше проведені дослідження показали, що природний цикл мінералів у процесі отримання енергії з необробленої біомаси порушується внаслідок осадження важких металів у лісовій екосистемі внаслідок забруднення навколишнього середовища. З цієї причини в деяких випадках використовувати всю золу, одержувану у процесі згоряння, неможливо. Це, здебільшого, справедливо для такого деревного палива, як кора, тріска та тирса. Важкі метали, що містяться в біопаливі (Zn і Cd), небезпечні для навколишнього середовища, концентруються, переважно, у золі виносу, тоді як поживні (M, Mg і P) і вапняні речовини (Ca) містяться, переважно, в подовій золі [41]. Зола, що отримується при спалюванні деревини та кори, багата Ca, в

той час як зола, одержувана при спалюванні соломи та злакових, має великий зміст К.

У летючій золі вміст більшості важких металів значно збільшується, оскільки дрібнодисперсні леткі сполуки (наприклад, миш'яку, кадмію, ртуті, свинцю, цинку) при горінні конденсуються на летючій золі і надходять в атмосферу разом з димовими газами в міру охолодження. Нелеткі сполуки, наприклад, хрому та міді, залишаються у великій золі (табл. 1.8).

Таблиця 1.8. Вміст важких металів у золі різних видів палива (мг/кг на суху масу)

	Подова зола			Циклонна зола			Фільтраційна зола		
	Свіжа деревина	Стара деревина	Солома	Свіжа деревина	Стара деревина	Солома	Свіжа деревина	Стара деревина	Солома
Cu	165	6914	17	143	15667	26	389	164000	44
Zn	433	1234	75	1870	437	172	12981	422	520
As	4,1	17	<5	6,7	59	<5	37,4	104	22
Ni	66	179	4	59,6	167	<5	63,4	74	<2,5
Cr	326	466	135,5	159	1415	17,5	231	404	6,8
Pb	13,6	2144	5,1	57,6	8383	21,5	1053	50000	80
Cd	1,2	20	0,2	21,5	70	1,8	80,7	450	5,2
Hg	0,01	<0,5	<0,1	0,004	0,7	0,1	1,5	<0,5	0,7

Отже, суміш подової золи та циклонної золи (в основному, у вигляді великих частинок золи виносу), так звана «придатна зола» з низьким вмістом важких металів, може бути використана як добрива, а фракцію фільтраційної золи (яка зазвичай становить лише 10% від загальної кількості золи) з високим вмістом важких металів необхідно утилізувати чи піддавати промисловій переробці.

Для ефективного відділення з'єднань важких металів установку для спалювання біомаси необхідно обладнати надійною системою підготовки робочої повітряної суміші, щоб забезпечити низький коефіцієнт надлишку повітря для горіння на решітці та в первинній камері горіння.

Температура топкового газу у цій зоні має бути високою. Коефіцієнт надлишку повітря для горіння нижче 1 (відновне середовище) та висока температура підсилюють вихід летких сполук важких металів із шару палива.

Крім того, система очищення повинна мати дві стадії осадження золи виносу, включаючи осад великої фракції золи пилу та високоефективний осаджувач дрібної фракції. Рекомендується відокремлювати потоки золи з малим та великим вмістом металів (фільтраційного зольного пилу) та використовувати основну частину одержуваної золи як вторинну сировину – для добрива та вапнування сільськогосподарських та лісових земель.

1.3 Основні джерела отримання золи

Отримання золи від біомаси – це процес спалювання органічних матеріалів, таких як деревина, сільськогосподарські залишки, трава або інші види біомаси, при високих температурах з метою отримання енергії або інших корисних продуктів. Після спалювання залишаються мінеральні речовини у вигляді золи. Основні етапи цього процесу наведені нижче:

1. **Збір біомаси.** Біомаса може бути зібрана з різних джерел: деревина, солома, лушпиння соняшника, виноградні відходи, трава, листя, кора дерев тощо. Матеріал повинен бути сухим для ефективного спалювання.

2. **Підготовка біомаси.** Підготовка біомаси включає її подрібнення, якщо вона велика (наприклад, деревина), сушіння до потрібного рівня вологості, щоб забезпечити краще спалювання та зниження кількості залишкової вологи.

3. **Спалювання.** Біомаса спалюється в спеціальних котлах, печах або реакторах при температурі приблизно 800–1000°C. Процес може бути виконаний у різних типах установок: промислових, сільськогосподарських або побутових.

4. **Утворення золи.** Після спалювання біомаси залишається неорганічний осад, який називають золою. Основні компоненти золи включають оксиди кальцію, калію, магнію, фосфору, а також різні мікроелементи. Кількість золи залежить від типу біомаси (наприклад, деревина дає менше золи, ніж солома).

5. Охолодження та збирання золи. Після спалювання золу охолоджують і збирають для подальшого використання. Золу можна просіяти для відокремлення крупніших часток або домішок.

Отримана зола може бути використана в різних сферах: як добриво, збагачене калієм і фосфором, для підвищення родючості ґрунту; в якості компоненту для будівельних матеріалів (наприклад, в цементній промисловості); для покращення структури ґрунту та захисту рослин від деяких шкідників.

Зола від спалювання біомаси може утворюватися з різних джерел, залежно від типу біомаси, яка використовується як паливо. Основними видами біомаси, що спалюється для отримання енергії є:

- залишки сільськогосподарських культур – солома зернових культур (пшениця, ячмінь, овес тощо), кукурудзяні стебла, лушпиння соняшника;
- лісові залишки – гілки та відходи деревини після лісозаготівлі (обрізки, кора), відходи від деревообробки (пиломатеріали, стружка, тирса);
- енергетичні культури – міскантус, енергетична верба, тополя тощо;
- органічні відходи – тваринницькі відходи (залишко гною, посліду тощо), відходи харчової промисловості (відходи виробництва масла, сиру, пива тощо);
- відходи садівництва та ландшафтного дизайну – залишки обрізки дерев, чагарників, газонів (табл. 1.9, табл. 1.10).

Таблиця 1.9. Показники деяких видів біомаси

Вид біомаси	Калорійність, МДж/кг	Вміст золи, %	Температура плавлення, °С
Листяна деревина	18,8	тріска з корою: 1,0-2,5	1426
Хвойна деревина	18,4	тріска без кори: 0,8-1,4 тирса: 0,5-1,1	1340
Кора	19,2	5,0-8,0	1440
Солома	17,2	4,0-7,0	998
Лушпиння соняшнику	16,8	3,0-4,0	960
Міскантус	17,6	2,0-5,0	973
Верба енергетична	18,4	1,0-2,5	1283
Виноградна тріска	19,8	2,0-3,0	1450

Таблиця 1.10. Джерела утворення золи біомаси

Основні джерела отримання золи	Опис	Приклади
Термічна обробка деревних відходів	Зола, отримана при спалюванні деревини	Спалювання деревної тирси, обрізків, тріски в печах та камерах
Твердопаливні джерела	Зола, що утворюється при спалюванні вугілля	Вугільні шахти, домашні печі і котли
Сільське господарство та садівництво	Зола, отримана при спалюванні рослин	Спалювання соломи, рослинних відходів
Промислові процеси	Зола, що утворюється на виробництві	Виробництво цементу, скла тощо
Домашні вогнища та каміни	Зола, що утворюється при спалюванні дров	Каміни, печі, барбекю
Рослинні відходи	Зола, отримана з біологічних джерел	Спалювання біомаси, опалого листя

Таким чином зола від біомаси має ряд переваг, таких як екологічна безпека та багатофункціональність, раціональне використання відходів лісового та сільського господарства, але також має деякі недоліки, такі як обмежене застосування та можливість викликати алергічні реакції (табл. 1.11).

Таблиця 1.11. Переваги та недоліки використання золи від біомаси

Основна перевага у напрямі використання	Переваги	Недоліки
Екологічна безпечність	Натуральна і безпечна сировина	Обмежене використання
Багатофункціональність	Застосування в різних сферах	Може викликати алергічні реакції
Нейтралізація запахів	Здатність усувати неприємні запахи	Не завжди ефективна
Удобрення ґрунту	Насичення мінеральними речовинами ґрунту	Можливість перенасичення ґрунту
Природний засіб для чищення	Ефективне очищення різних поверхней	Потребує додаткових засобів
Дезінфікуюча дія	Знешкодження бактерій і мікробів	Можливість пересушування
Природність та відсутність хімічних домішок	Безпека для здоров'я	Обмежена стабільність

РОЗДІЛ 2

ЕКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ НАПРЯМІВ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ ВІД СПАЛЮВАННЯ БІОПАЛИВА

2.1 Визначення обсягів утворення золи від спалювання біопалива в Україні

За даними Державної служби статистики України, у 2020 році (інформація за 2021-2024 роки відсутня), на території країни було використано понад 5508 тис. тонн твердого біопалива різних видів (табл. 2.1, рис. 2.1). У ході їх використання в котлоагрегатах різної конструкції, крім корисного продукту у вигляді теплової енергії, що виділяється при згорянні, утворювався побічний продукт – зола, яка досить часто не використовується за місцем утворення і переводиться в розряд відходів.

Таблиця 2.1. Обсяги використаного твердого біопалива в Україні в 2020 році [5]

Вид палива	Використано всього	у тому числі	
		на перетворення в інші види палива та енергію	На власне споживання енергетичним сектором
Вугілля деревне, т	447	-	-
Паливні брикети та гранули з деревини та іншої природної сировини, т	471771	394279	-
Дрова для опалення, т	2319257	886858	95
Стружка і тріска деревні, т	1009468	932917	254
Інше тверде біопаливо рослинного походження, т	1707861	1503175,5	-
Всього, т	5508803	-	-

Значна частина відходів золи, що відноситься до різних видів, спрямовується на полігони захоронення, у зв'язку з чим безповоротно

втрачається як джерело сировини. Також досить розповсюджене незаконне вивезення золи в не передбачені для цього місця. Частково, зола біомаси використовується як добриво – в основному, та, що утворюється у власних пічках чи котлах у населення та використовується на присадибних ділянках. В ряді випадків, місцеве населення безоплатно розбирає золу біомаси з найближчих котельних.

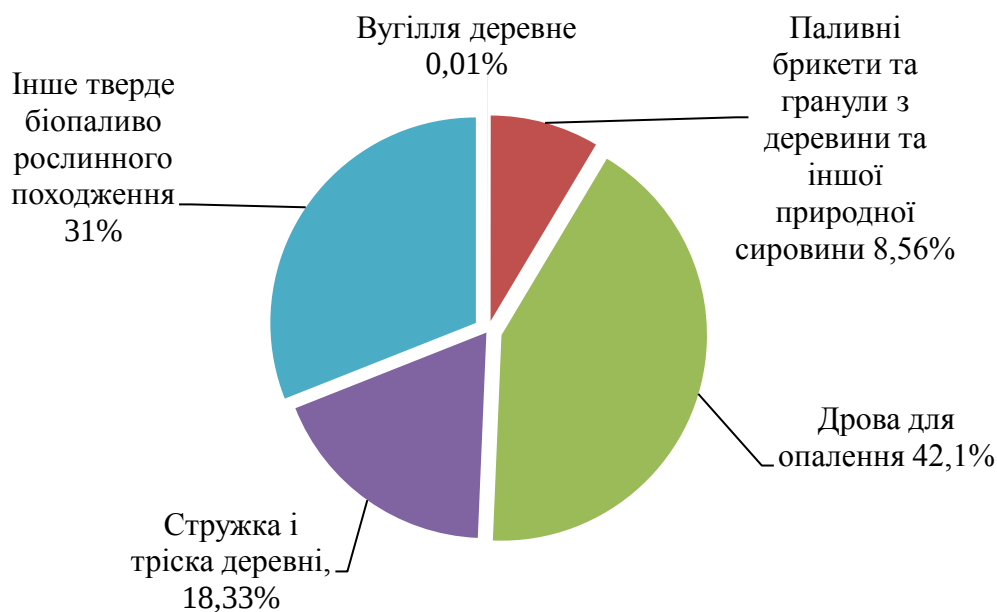


Рис. 2.1. Питома вага різних видів біомаси в енергетичному споживанні твердого біопалива в Україні у 2020 році

Через відсутність в Україні об'єктів з використання відходів, які б приймали золу від сторонніх організацій як вторинну сировину і використовували у виробництві, завдання пошуку науково обґрунтованих рішень, що сприяють переробці золи, є дуже актуальним у сфері поводження з відходами.

Для визначення обсягів утворення золи від спалювання біопалива в Україні були використані дані «Енергетичного балансу України за 2020 рік (продуктовий)», що формується Державною службою статистики України [17]. Результати розрахунків наведено в табл. 2.2 і на рис. 2.2.

Таблиця 2.2. Розрахунок обсягів утворення золи від спалювання твердого біопалива в Україні у 2020 році

Сектор	Тверде біопаливо, ТДЖ	Питомий вихід золи, т/ТДЖ	Вихід золи з урахуванням недопалу 10 %, т
Перетворення, в тому числі:	52493	1,65	86613
Електростанції	1213	1,65	2001
ТЕЦ	5676	1,65	9365
Теплоцентралі	32700	1,65	53955
Інше перетворення	12904	1,65	21292
Власне споживання енергосектором	60	1,65	99
Кінцеве споживання, в тому числі:	84986		82374
Промисловість	3164	1,65	5221
Побутовий сектор	79250	0,92	72910
Торгівля та послуги	1414	1,65	2333
Сільське господарство	1158	1,65	1911
Всього перетворення + кінцеве споживання			168988

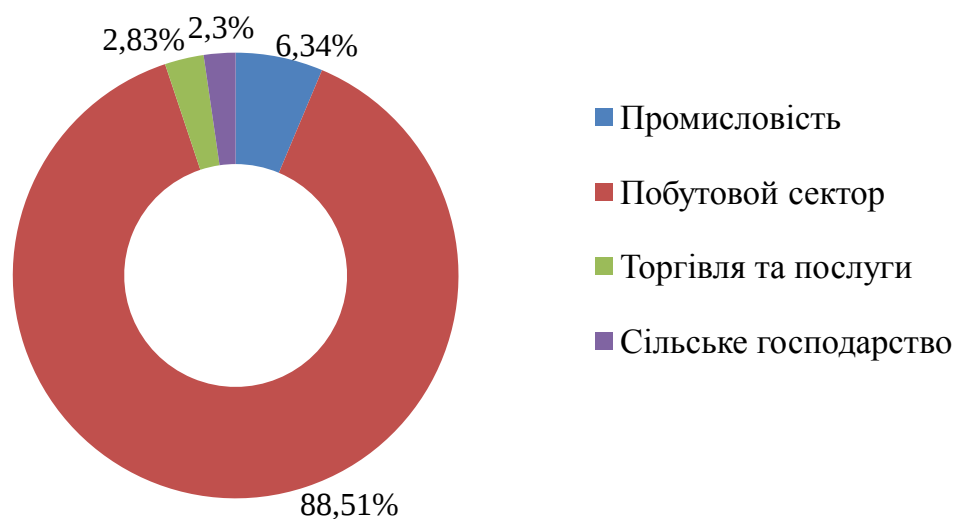


Рис. 2.2. Питома вага обсягів утвореної золи від біомаси від різних секторів у кінцевому споживанні енергії

За розрахованими в табл. 2.2 значеннями загальна кількість золи від спалювання різних видів твердого біопалива в різних секторах за 2020 рік становить – майже 169 тис. тонн. Враховуємо згідно [28], що в основному використовується шарове спалювання біомаси, а також те, що циклонами та іншими системами очищення димових газів обладнані лише великі установки. Отже було розміщено на полігонах 80 % всього обсягу утвореної золи від спалювання біомаси, тобто – близько 135,2 тис. тонн.

Внаслідок зростаючих обсягів використання біомаси, як енергетичного ресурсу (рис.2.3), будуть збільшуватися і обсяги утворюваної золи, що потребує системного підходу до вирішення проблеми ефективної її утилізації та раціонального використання як вторинної сировини. Розуміння процесу утворення та характеристик золи біомаси забезпечує передумови та основу для альтернативного її використання.



Рис. 2.3. Обсяги кінцевого споживання твердого біопалива та утворюваної золи в Україні за 2012-2021 роки

Відповідно до Державних санітарних правил та норм, подова зола відноситься до IV класу – «речовини малонебезпечні», а летка зола – до IV або III класу «речовини помірно небезпечні». На даний час українське законодавство не містить обов'язкових вимог утилізації золи від теплогенеруючих установок, в тому числі золи від спалювання біомаси.

Основними бар'єрами системної утилізації відходів від спалювання біомаси можна звести до такого:

- *відсутність чіткого законодавчого врегулювання для використання золи від спалювання біомаси як вторинної сировини.* Це передбачає додаткові витрати постачальників на утилізацію та сертифікацію продукції. У свою чергу, закріплена процедура переведення відходів у побічний продукт та спрощення нормативних процедур залучення промислових відходів у господарський оборот на законодавчому рівні може суттєво допомогти у подоланні даного бар'єру;

- *нестабільність ринку золи біомаси та те, що її великий потенціал не реалізується,* що можна подолати розробкою бізнес-моделей з єдиною базою технологічних рішень та постачальників для створення сталого попиту;

- *низький рівень поінформованості про успішні напрями утилізації золи.* Можливим рішенням для подолання даного інформаційного бар'єру може бути просування у ЗМІ, тобто, популяризація практик використання золи як вторинної сировини, а також пілотні проекти її утилізації, які допоможуть у тому числі напрацювати практичний досвід;

- *віддаленість об'єктів утворення золи від спалювання біомаси від потенційних споживачів.* Економічно доцільно транспортувати такі відходи у радіусі до 150 км від об'єкту їх переробки та використання у виробництві. У зв'язку з цим необхідно опрацювати цінові гарантії від постачальників сировини та продумати скорочення транспортних витрат.

Важливим кроком до раціонального використання золи від біомаси є стимулювання попиту на вторинну сировину за рахунок держзамовлень та

надання пільг на залізничні перевезення, що допоможе нівелювати бар'єр віддаленості об'єктів утворення золи від промислових об'єктів.

2.2 Напрями утилізації золи від спалювання біомаси

Зола від спалювання біомаси є екологічно безпечним продуктом, оскільки вона є натуральним побічним продуктом процесу згоряння деревини. Її використання у сільському господарстві та інших галузях сприяє утилізації деревних відходів та зниження впливу на довкілля.

Зола є важливим ресурсом, який можна використовувати ефективно та екологічно відповідально. Її хімічний склад та властивості роблять її цінним інгредієнтом для різних виробничих та сільськогосподарських процесів.

Використання золи від біомаси є важливим елементом сталого розвитку, оскільки дозволяє мінімізувати відходи та використовувати їх з користю для різних секторів. Основні напрямки використання золи від біомаси наведені на рис. 2.4.

Інноваційні методи використання деревної золи. Зола від біомаси знайшла своє застосування в інноваційних матеріалах та технологіях. Вона може бути додана до складу композитних матеріалів, таких як бетон або пластик, для покращення їх властивостей, таких як міцність та теплоізоляція.

Енергетична переробка. Зола, одержана в результаті спалювання деревини, може бути використана в інноваційних енергетичних процесах. Вона може бути додана в процес генерації електроенергії для покращення ефективності спалювання та зменшення викидів.

Укріплення берегової лінії та рекультивація. Завдяки своїй структурі, зола може бути використана для зміцнення берегів водойм та в проектах з рекультивації техногенно змінених земель.



Рис. 2.4. Напрями ефективної утилізації золи від спалювання біомаси

Сільське господарство та добрива. Інноваційні методи застосування деревної золи у сільському господарстві включають використання її як добрива. Зола може збагатити ґрунт важливими мінералами, такими як калій та фосфор, сприяючи зростанню рослин. Зола може бути застосована як основне добриво перед посівом або посадкою, а також внесена до ґрунту протягом вегетаційного періоду.

Зола має лужний характер і може використовуватися для регулювання кислотності ґрунту. Внесення золи може допомогти знизити кислотність ґрунту (збільшити лужність), що особливо корисно для культур, які віддають перевагу нейтральному або слаболужному середовищу.

Зола містить різноманітні мікроелементи, які є важливими для здоров'я рослин. Її застосування допомагає підтримувати баланс макро- та мікроелементів у ґрунті, що сприяє більш повному та здоровому розвитку рослин. Залежно від типу біомаси, зола може містити шкідливі речовини, такі як важкі метали, які обмежують її використання, особливо у сільському господарстві.

Очищення стічних вод. Цікавим напрямком використання золи є її застосування для очищення стічних вод. Запропонована авторами [65] система, що містить золу винесення, значно покращила якість води для цілей зрошення за рахунок зниження каламутності на 95%, кольору на 98% та вмісту хлоридів на 49% та збільшення вмісту розчиненого кисню на 33%.

Зола може застосовуватися як сорбент для видалення забруднюючих речовин, таких як нафтопродукти та важкі метали з ґрунту або води.

Використання золи в Україні. Окрім вивезення на полігони ТПВ, відомо про використання золи від спалювання біомаси як добрива. В основному, зола знаходить використання як добриво на присадибних ділянках населення. Використовується зола, утворена від спалювання біомаси у власних пічках чи котлах. Також відомо досить багато випадків, коли населення розбирає золу біомаси з найближчих котельних, як правило, безоплатно.

Використання золи в країнах світу. В країнах ЄС важливого значення надають питанню сталого використання біомаси, що передбачає повернення мінеральних речовин, що міститься в золі біомаси, в їх природний цикл. З іншого боку, першочергове значення надається питанням безпеки використання золи для людини та навколишнього середовища, тому встановлюються відповідні обмеження, зокрема, щодо вмісту важких металів. При цьому спосіб утилізації золи має бути економічно вигідний або, принаймні, найменш

витратний. У багатьох країнах економічні та екологічні чинники стали основним стимулом підвищення рівня утилізації золи. Політика оплати за вивезення відходів у Європі покликана надати додатковий стимул електростанціям для утилізації золовідходів, що утворюються. (табл. 2.3).

Таблиця 2.3. Напрями утилізації золи від спалювання біомаси в країнах світу

Спосіб утилізації	Австрія	Канада	Данія	Німеччина	Італія	Нідерланди	Швеція
Полігони, звалища	Так	Так	Так	Так	Так	Так	Так
Добавка в цементне сире борошно	Так	Так			Так		
Заповнювач цементів і бетонів						Так	
Лісове господарство			Так				Так
Добриво/ покращувач ґрунтів	Так	Так	Так	Так	Так	Так	
Додавання до компосту	Так						
Заповнювач шахтних вироботок				Так		Так	
Цивільне будівництво	Так	Так	Так	Так	Так	Так	Так
Інші будівельні матеріали	Так					Так	

Що стосується використання золи біомаси як добрива в сільському чи лісовому господарстві, в деяких країнах встановлено вимоги не тільки щодо максимального вмісту важких металів, але й до мінімального вмісту основних поживних речовин, таких як калій, кальцій, магній, фосфор та азот. Як правило, фільтраційна зола біомаси, а також зола від спалювання в киплячому чи

циркуляційному киплячому шарі, не може застосовуватись як добриво (остання-через високий вміст баластних речовин та відповідно, низький вміст поживних елементів). Особливості використання золи як добрива в сільському чи лісовому господарстві окремих країн наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4. Досвід використання золи як добрива в деяких країнах світу [26]

Країна	Встановлені нормативні акти та обмеження
Австрія	В Австрії діє директива щодо утилізації золи біомаси в сільському господарстві. Дозволяється використовувати золу, що отримується тільки при спалюванні хімічно необробленого біопалива. Фільтраційну золу збирають роздільно і утилізують після відповідної обробки. Максимальна доза внесення золи складає до 2 т/га в рік на полях та до 1,5 т/га на пасовищах та луках. Дозволяється додавати золу в компост (максимум до 2%). Загалом, використання золи в сільському господарстві незначне.
Данія	Використання золи в сільському господарстві як допоміжного добрива відповідає вимогам національного законодавства щодо біомаси, а також загальній тенденції щодо максимально можливої утилізації вторинної сировини. Найбільш розповсюдженим способом є розкидання по полю з наступним заорюванням в ґрунт. Діють певні обмеження щодо внесення золи в ґрунт: не більше 5 тонн/га за 5 років. Також обмежуються обсяги внесення в ґрунт ряду речовин, зокрема кадмію і фосфору. Щодо фосфору, діє обмеження в кількості 30 кг/га, як для сільського, так і лісового господарства.
Німеччина	В основному, використовується деревна зола як добриво та розкислювач лісових ґрунтів. Дозволено використання лише золи необробленої деревини, яка до того ж має відповідати національним законодавчим вимогам до добрив. Діють обмеження щодо вмісту важких металів відповідно до законів про захист ґрунтів та лісового господарства. Дозволяється додавання золи в компост (до 5%) з метою регулювання його кислотності.
Італія	В основному, зола біомаси розглядається як «особливі відходи», поводження з якими покладається на уповноважені підприємства. Головним чином така зола потрапляє на звалища або використовується в будівельній промисловості. Дозволяється використання в хімічній промисловості для

	виробництва добрив, а також золи від спалювання необробленої деревини в органічному землеробстві як добрива та покращувача ґрунту. Як правило, подова зола біомаси від великих котельних чи ТЕЦ використовується в промисловості або потрапляє на звалища. Зола від маленьких котельних та приватних котлів може вивозитись на полігони або використовуватись як добриво безпосередньо або як добавка до компосту. Частина золи вивозиться за межі країни.
Нідерланди	В країні немає спеціального законодавства щодо використання золи біомаси чи навіть саме деревної золи як добрива для лісового господарства, тому таке використання не дозволяється. Використання золи біомаси як добрива в сільському господарстві дозволене за умови відповідності національному законодавству щодо добрив, особливо щодо вмісту важких металів. Особливістю є те, що розглядається не тільки абсолютний їх вміст, але й відносний щодо основного діючого компонента добрива. Оскільки в золі як правило немає основного компонента, а є кілька з найбільшим вмістом, відношення вмісту важких металів щодо одного з компонентів часто буває більшим за встановлену межу, і застосування золи не дозволяється
Швеція	Деревну золу рекомендується застосовувати як добриво в лісовому господарстві після очищення від сторонніх домішок. При цьому діють вимоги щодо мінімального вмісту поживних речовин та максимального вмісту шкідливих елементів. Перед використанням, зола повинна бути стабілізована (шляхом додавання води, самозатвердіння або гранулювання), а її доза має визначатись відповідно до кислотності ґрунту. Як правило, застосовують дозу 2-3 тонни на гектар протягом ротаційного періоду (70 років)
Канада	Різні провінції Канади мають різні законодавчі вимоги щодо використання золи біомаси як добрива. Частина з них розглядає таку золу як відходи певного ступеня небезпечності. В деяких провінціях дозволяється використання золи як добрива чи покращувача ґрунту після проведення відповідних аналізів щодо вмісту макро- та мікроелементів та важких металів. В деяких випадках проводиться оцінка впливу на довкілля. Згідно статистики, до 18% золи, що утворюються на заводах целюлозно-паперової промисловості Канади використовується як поліпшувач ґрунтів.

2.3 Досвід та особливості використання золи від спалювання біомаси в Німеччині

Традиційно золу біомаси використовують як добриво для підвищення родючості ґрунту (як замітник вапна через високий вміст кальцію – для ущільнення) у сільському та лісовому господарстві. У Німеччині існує спеціальний Регламент для використання добрив (DüMV), у якому чітко прописано допустимий вміст різних речовин у золі. Відповідно до DüMV, використання «золи з останньої фільтруючої установки в димарі», тобто дрібної летючої золи, як добрива заборонено. Залежно від системи очищення димових газів допускається застосування циклонної золи як добрива.

Накопичення важких металів у золі ускладнює її використання, і насамперед для добрива. Камера згоряння та повітропровід енергетичної установки повинні бути спроектовані таким чином, щоб важкі метали концентрувалися в основному в дрібнодисперсній летючій золі, що характеризується максимальною здатністю їх зв'язування. Крім того, щоб уникнути великих втрат поживних речовин золи, при спалюванні біомаси слід використовувати сепаратор дрібного пилу, що забезпечує оптимальне поділ трьох зольних фракцій.

DüMV регламентує лише золу натуральної деревини, яка досліджується відповідно до Постанови про взяття проб та аналізу добрив (DüngM-ProbV) на відповідність встановленим граничним або мінімальним вмістом поживних та забруднюючих речовин. В рамках контролю за викидами установок зі спалювання біомаси компетентний орган може вимагати переробки або видалення зол.

Для отримання добрива найвищої якості зола не повинна перемішуватись. Згідно DüMV, велику золу дозволено використовувати як вапна або калійне добрива, максимум 30% може бути додано до добрива типу карбонату вапна. Для того, щоб зола відповідала категорії «вапняне добриво від спалювання

рослинних речовин», вміст СаО в ній має бути не нижчим за 30%. Дані таблиці. 3 свідчать, що деревна зола відповідає цій вимозі.

Добрива, що містять деревну золу, дозволяється вносити тільки в дрібнодисперсному (пил) або гранульованому вигляді. DüMV визначає, що це досягається тільки якщо фракція 0,1 мм становить не більше 0,2%, фракція 0,05 мм - до 0,05%, сита 0,01 мм - до 0,005%. Крім того, деревну золу допускається використовувати як добриво тільки за умови правильного маркування.

Зола також може перероблятися разом із органічними відходами. Згідно з додатком 1 Постанови про утилізацію біовідходів на сільськогосподарських, лісових та садових ґрунтах (BioAbfV) велику золу можна додавати до біовідходів під час або після їх обробки. Якщо зола вноситься в компост або продукти ферментації після обробки, отримані суміші називають органомінеральними добривами.

Для отримання добрива найвищої якості зола не повинна перемішуватись. Згідно DüMV, велику золу дозволено використовувати як вапна або калійне добрива, максимум 30% може бути додано до добрива типу карбонату вапна. Для того, щоб зола відповідала категорії «вапняне добриво від спалювання рослинних речовин», вміст СаО в ній має бути не нижчим за 30%.

Добрива, що містять деревну золу, дозволяється вносити тільки в дрібнодисперсному (пил) або гранульованому вигляді. DüMV визначає, що це досягається тільки якщо фракція 0,1 мм становить не більше 0,2%, фракція 0,05 мм - до 0,05%, сита 0,01 мм - до 0,005%. Крім того, деревну золу допускається використовувати як добриво тільки за умови правильного маркування.

Зола також може перероблятися разом із органічними відходами. Згідно Постанови про утилізацію біовідходів на сільськогосподарських, лісових та садових ґрунтах (BioAbfV) велику золу можна додавати до біовідходів під час або після їх обробки. Якщо зола вноситься в компост або продукти ферментації після обробки, отримані суміші називають органомінеральними добривами.

Федеральна асоціація якості компосту (BGK) та Федеральна асоціація якості деревної золи (BGH) у ФРН запровадили контроль якості деревної золи.

Члени BGN можуть відзначати золу, що поставляється, знаком якості за системою забезпечення якості добрив RAL. Це означає, що зола дерева кваліфікується як сировина для добрив або як добрива, що відповідає DüMV.

Допустимі для використання види палива та деревної золи, вимоги до якості золи, а також внутрішній та зовнішній моніторинг є частиною системи забезпечення якості RAL. До дозволених видів палива відносяться натуральна деревина, порубкові залишки, залишки після ландшафтних рубок, а також кора, гранули, тріска, плантаційна деревина з коротким оборотом. Деревна зола застосовується тільки колосникова і котельня, а також з фільтрів, але не з останньої установки, що фільтрує.

На підприємствах, що мають великі обсяги золи (електростанції та котельні), необхідне внутрішнє управління якістю, повинні бути забезпечені професійні відбір проб та дослідження золи навченими відбірниками та працівниками служби контролю якості. Гарантію якості забезпечує внутрішній та зовнішній моніторинг. Для самоконтролю використовується система менеджменту якості, відібрані внутрішні проби направляються до сертифікованих випробувальних лабораторій для визначення ключових характеристик. Оператор на підприємстві несе відповідальність за збереження та документування зразків. Зовнішній моніторинг передбачає регулярні незалежні перевірки, звані аудити, які проводяться визнаними BGN інспекторами дома, а контрольних перевірок у незалежній лабораторії відбираються зразки золи.

Якщо під час аудиту будуть підтверджені необхідні характеристики золи, електростанція або котельня отримує знак якості RAL та сертифікат з відповідними інструкціями щодо поводження із золою та її використання.

Оскільки відбір зразків золи може істотно вплинути на результати розслідування, він проводиться згідно з LAGA PN 98 (Посібник з фізичних, хімічних та біологічних досліджень для утилізації різних відходів), що містить основні правила взяття проб твердих відходів, а також депонованих матеріалів.

Таким чином, управління якістю та сертифікація деревної золи не відрізняються від тих же процедур для деревних пелет, але норми якості жорсткіші, що ускладнює контроль якості та сертифікацію.

Інші варіанти утилізації золи. У ФРН згідно із Законом про управління вторинною переробкою (KrWG) зола відноситься до відходів, що підлягають переробці або утилізації належним чином.

Попел з високим вмістом забруднюючих речовин вивозять на звалище. Звалище має відповідати вимогам Регламенту про полігони (DepV). Велика зола зазвичай утилізується на звалищах I або II класу, а летюча зола настільки сильно забруднена, що згідно з DepV її можна складувати лише під землею – на звалищах класу IV.

Золу застосовують у цементно-бетонній промисловості як наповнювач. У 2018 році на німецьких цементних заводах було використано понад 2,5 млн т золи, одержаної при спалюванні бурого та кам'яного вугілля на електростанціях. Оскільки Німеччина заявила про повну відмову від вугілля в енергетиці до 2035–2038 років, вугільний зол доведеться замінити золою біомаси, зокрема деревини у тому чи іншому вигляді. За даними низки досліджень німецьких НДІ, така зола повністю відповідає потребам цементної промисловості і до того ж дозволить значно скоротити викиди CO₂ відповідно до Паризької угоди.

Шлакову золу використовують при будівництві доріг, тому що вона сприяє закріпленню вологого матеріалу на землі. У ландшафтному дизайні при рекультивациі звалищ та гірничих виробок зола служить ущільнювачем осаду стічних вод.

Одержання фосфору з деревної золи. Одна з поживних речовин, що містяться в золі – фосфор. Це невідновлювана та необхідна сировина з обмеженими запасами на Землі, хімічний елемент, що входить до ДНК, що бере участь у харчовому ланцюзі та багатьох інших біологічних процесах. Поряд із азотом фосфор регулює зростання рослин.

У природі фосфор не зустрічається в елементарній формі, його одержують із фосфатної руди, яка видобувається найчастіше відкритим способом і потребує складної переробки. Якість фосфатів, що видобуваються, знижується, при цьому обсяг переробки неухильно збільшується, як і рівень забруднення, особливо важкими металами. В результаті підвищується забруднення навколишнього середовища та збільшується споживання енергії та води.

Багато родовищ фосфатів у світі майже вичерпано або буде вичерпано в найближчому майбутньому. Вже 2035 року може бути досягнуто «пік фосфору» – коли глобальне споживання фосфору перевищить його виробництво. У ФРН близько 60% мінеральних фосфатів, що споживаються, використовуються у виробництві добрив, ще 20% – у виробництві кормів для тварин. Фосфор також застосовується в харчовій промисловості, при виробництві антипіренів та засобів для чищення, прання та догляду.

У Німеччині немає родовищ фосфатів, країна імпортує фосфорну сировину, зокрема з політично нестабільних країн. Рециркуляція фосфору – вилучення з вторинної сировини – дозволить знизити залежність від сировинних експортерів та зберегти природні ресурси. Державне управління з навколишнього середовища та геології федеральної землі Гессен (HLUG) провело дослідження для визначення потенціалу фосфору в золі біомаси. Тестувалися зразки золи з деяких котелень та електростанцій, що використовують біомасу (в основному деревну) як паливо, і визначався вміст фосфору в різних видах золи. Було встановлено, що у колосниковій золі міститься 1,26% P_2O_5 (0,55% P).

Зміст фосфору в золі залежить від виду деревної біомаси, що використовується, і способу її спалювання. Зола вторинної деревини (непридатних для подальшого використання європалет, будівельної опалубки, ящиків тощо) містила всього 0,042% фосфору. У золі відходів деревообробки та лісопиляння було виявлено 0,285% фосфору. Але найбільший вміст фосфору – 2,09% виявлено у золі паливних котлів, що працюють на дровах, трісках,

пелетах та брикетах у домашніх господарствах для отримання теплової енергії. Вона значно багатша фосфором, ніж зола ТЕЦ та ТЕС.

Опитування операторів німецьких установок для спалювання біомаси показало, що в даний час тільки 20% колосникової золи використовується як добавка до компоста або добрив, 40% скидається у відвали (звалища), 10% застосовується в будівництві, ще 10% домішується як добавка до будівельного щебеню, а 20%, що залишилися, передаються компаніям, що займаються переробкою або утилізацією відходів.

Потенційна оцінка з розрахунковим вмістом 1,3% фосфору в 100% золи показала, що для землі Гессен загальний потенціал фосфору в золі біомаси становить приблизно 22 000 т і дозволяє покрити близько 70% її потреби у фосфорі.

Оскільки фосфор, що міститься в золі, аналогічний фосфору, одержуваному з фосфатів, зола біомаси може бути перероблена за технологіями, що використовуються для отримання фосфору із золи висушеного осаду стічних вод та побічних продуктів тваринництва, наприклад курячого посліду.

Одержання кремнію із золи. Сьогодні діоксид кремнію (SiO_2) у невеликих обсягах одержують із рисової лушпиння або її золи. При луценні рису відокремлюється оболонка зерен – лушпиння (лушпиння), що характеризується підвищеним вмістом діоксиду кремнію. З тонни необрушеного рису можна отримати 200 кг лушпиння, при спалюванні якого утворюється до 40 кг золи. М'яка зола, від низькотемпературного спалювання лушпиння містить кремнезем у пористій некристалічній формі з високою площею поверхні (50-60 $\text{м}^2/\text{г}$) і є цінним продуктом.

У ФРН розроблена технологія газифікації або повільного спалювання рисового лушпиння для отримання золи, багатой кремнієм. При цьому використовується водяна пара, нагріта до 300–600°C. Таким чином можна обробляти й інші відходи, що містять целюлозу: соломі, деревину, кукурудзяні качани, висівки тощо.

РОЗДІЛ 3

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ БІОПАЛИВА У ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1 Ключові аспекти і перспективи використання золи біопалива у виробництві будівельних матеріалів

Зола-виносу від спалювання біомаси – це побічний продукт енергетичної галузі, який утворюється на теплових електростанціях, що працюють на біомасі. Вона є найбільшою фракцією витягнутої золи і в основному вивозиться на звалище.

Використання золи від спалювання біомаси для виробництва бетону та цегли є перспективним напрямом у рамках концепції циркулярної економіки. Це рішення дозволяє скоротити кількість відходів від енергетичних підприємств, які використовують біомасу, і водночас зменшити споживання природних ресурсів у будівельній галузі. Ось кілька ключових аспектів такого підходу:

1. Зменшення відходів: Зола від спалювання біомаси (наприклад, тирси, лушпиння зерна та інших органічних залишків) може стати побічним продуктом, який раніше розглядався як відхід. Замість утилізації золи її можна переробляти та використовувати у будівництві.

2. Заміна цементу: Зола може замінити частину цементу під час виробництва бетону, що допомагає знизити викиди вуглекислого газу. Виробництво цементу – одне з основних джерел викидів CO₂, тому заміна його на зольні матеріали дозволяє зробити процес більш екологічно чистим.

3. Властивості бетону та цегли: Додавання золи від біомаси може покращити властивості будівельних матеріалів, такі як міцність, довговічність та теплоізоляційні характеристики. Наприклад, зола може покращити структуру бетону, роблячи його щільнішим.

4. Зниження витрат: Використання золи від біомаси в будівельних матеріалах може призвести до зниження витрат на сировину, особливо в регіонах, де біомаса широко використовується для виробництва енергії.

5. Екологічність: Впровадження золи від біомаси у будівельні процеси сприяє зменшенню використання невідновлюваних ресурсів та скорочення обсягу відходів, що є важливим аспектом сталого розвитку.

Цей напрямок активно вивчається у різних країнах, включаючи Україну, оскільки біомаса є значним джерелом енергії в аграрних регіонах, що робить використання золи важливим елементом у переході до замкнутого циклу виробництва.

Наразі продовжуються дослідження в різних країнах світу щодо можливості використання золи як заміну природних заповнювачів у цементних матеріалах. Використання золи у виробництві бетону забезпечує економічний та екологічний спосіб її переробки. У той самий час її використання дозволяє економити природні ресурси та сприяє сталому розвитку. Основна увага приділяється використанню золи замість природних наповнювачів, що використовуються при виробництві бетону. Однак багато експериментальних робіт показують, що золу від спалювання біомаси можна використовувати у відповідних пропорціях для збереження заданих властивостей бетону.

В майбутньому, по мірі зміни співвідношень використання біомаси та вугілля в тепловій та електричній генерації, змінюватиметься і співвідношення утворення золи біомаси та вугілля. Враховуючи перспективи скорочення вугільної тепло- та електрогенерації, зокрема можливе її припинення в електроенергетиці до 2050 року [25], зола біомаси в майбутньому може стати одним з основних джерел твердих відходів в енергетичному секторі. Що дає поштовх до подальших розробок для ефективного і більш повного використання даного ресурсу.

3.2 Особливості використання золи при виробництві бетону

Бетон є на сьогоднішній день одним з будівельних матеріалів, що широко використовуються. За допомогою бетону зводяться різні конструкції, а також виготовляються певні вироби. Цей продукт має особливу міцність, надійність і довговічність, за рахунок наявності спеціальних компонентів у складі, а також застосування особливої технології при виробництві. Проте його виробництво робить значний внесок у загальні обсяги викидів вуглекислого газу – від 3% до 8 %. Тому розробка екологічно чистішого виду бетону є нагальним завданням виробників.

В сучасних умовах частіше використовується як вторинна сировина зола від спалювання вугілля. У Європейському Союзі використання вугілля для виробництва енергії скорочується на користь відновлюваних джерел енергії. Вугільна зола вже використовується як заповнювачів у цементних матеріалах. Як і вугільна зола, зола з біомаси має цікавий потенціал для виробництва цементних композитів. Однак фізичні та хімічні властивості золи з біомаси відрізняються від властивостей вугільної золи, яка має більш постійний склад та більші обсяги утворення, ніж зола від спалювання біомаси. Тому розглянемо технологію виготовлення бетону з додаванням золи-виносу, що утворюється на енергетичних установках, які працюють на вугіллі.

Зола-винос – тонкодисперсний продукт високотемпературної обробки мінеральної частини вугілля. Вона утворюється при його спалюванні в пилоподібному стані в топках котлів і осідає уловлюючи пристроями з димових труб. Для використання в якості активної мінеральної добавки або наповнювача краще підходять золи, які уловлені та транспортуються у сухому вигляді.

Основним компонентом золи (65%) є склоподібна алюмосилікатна фаза у вигляді частинок кулястої форми розміром до 100 мкм. Саме вони виявляють найбільшу гідравлічну активність, тобто здатність твердіти за рахунок зв'язування CaO . Однак певну гідравлічну активність у золах має також дегідратована та аморфізована глиниста речовина. У тих випадках, коли

мінеральна частина палива має значний вміст карбонатів, у золі утворюються низькоосновні силікати, алюмінати та ферити кальцію, здатні взаємодіяти з водою. У невеликій кількості золи містять домішки вільних оксидів кальцію та магнію, сульфатів, сульфідів. Доступність, поширеність та дешевизна золи роблять її дуже привабливою активною мінеральною добавкою в бетон.

Дисперсність золи характеризується питомою поверхнею і коливається від 1000 до 4000 $\text{см}^2/\text{г}$, часто наближаючись до питомої поверхні цементу. З високою питомою поверхнею золи пов'язані такі властивості як адсорбційна здатність, гігроскопічність, гідравлічна активність. Середня насипна густина золи коливається від 600 до 1100, справжня густина – від 1800 до 2400 $\text{кг}/\text{м}^3$. Золи поділяють на висококальцієві ($\text{CaO} > 20\%$) та низькокальцієві ($\text{CaO} < 20\%$). Висококальцієві золи поділяються на низькосульфатні ($\text{SO}_3 < 5\%$), отримані при спалюванні вугілля та торфу, і сульфатні ($\text{SO}_3 > 5\%$) – при спалюванні сланців.

Інтегральною характеристикою хімічного складу зол є модуль основності (m) – відношення масових часток основних оксидів до кислих. Для основних зол $m > 0,9$, кислих – $0,6 \dots 0,9$, надкислих $m < 0,6$. У основних золах сумарний вміст CaO сягає 50, а надкислих – до 12%. Останні є найпоширенішими.

За значенням питомої поверхні золи поділяють на тонко- ($S_3 > 4000 \text{ см}^2/\text{г}$), середньо- ($S_3 = 2000 \dots 4000$) та грубодисперсні ($S_3 < 2000 \text{ см}^2/\text{г}$). При насипній густині менше 800 $\text{кг}/\text{м}^3$ золи вважаються легкими; 800...1000 – це варильної щільності, більше 1000 $\text{кг}/\text{м}^3$ – важкими.

Основними компонентами у складі бетону є цемент і вода, за допомогою яких зв'язуються всі інші елементи до однорідної маси. Головним завданням при виготовленні бетонного складу є повне дотримання встановлених вимог і норм, а також чіткий розрахунок кількості основних компонентів. Та й до того ж при виробництві бетону обов'язково враховується рівень вологості піску та щебеню, а також їхній рівень вологопоглинання. Як тільки вода з'єднується з цементом, утворюється особливо твердий склад (рис. 3.1). Таким чином, можна говорити про утворення каменю, здатного надалі усаджуватися.



Рис. 3.1. Цемент у складі бетону

Для того щоб скоротити ступінь деформації суміші, у воду та цемент додаються ще деякі частинки. Тут мова йде про великі і дрібні заповнювачі, якими виступає щебінь і пісок (рис. 3.2).

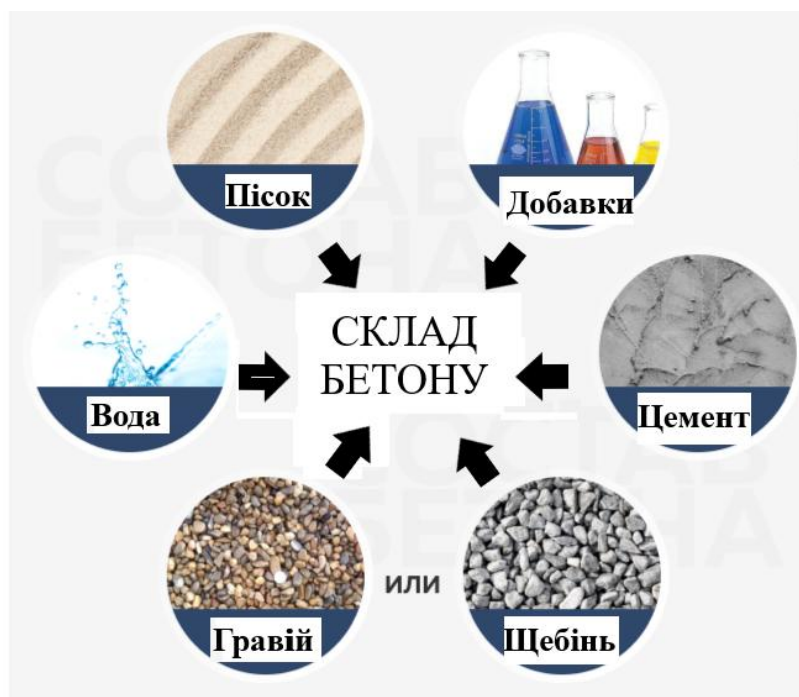


Рис. 3.2. Склад бетону

У бетонну суміш зола вводиться замість частини цементу та піску і виконує роль не тільки активної мінеральної добавки, яка збільшує загальну кількість в'язучого, але й мікронаповнювача, що покращує гранулометрію піску та активно впливає на процеси структуроутворення бетону.

Зменшення витрати цементу при введенні золи доцільно при надмірній активності цементу, тобто в тих випадках, коли марка цементу, що застосовується рекомендованою вище. У разі використання золи допускається зниження мінімальної типової норми витрати цементу для неармованих бетонних виробів до 150, армованих залізобетонних – до 180 кг/м³. Сумарна витрата цементу та золи повинна бути відповідно не менше 200 та 220 кг/м³.

Введення в бетонну суміш золи, на відміну від інших активних мінеральних добавок, як правило, не погіршує, а покращує зручність, що пояснюється кулястою формою частинок золи.

Введення золи сприяє зниженню водовідділення бетонної суміші. Пластифікуюча та водоутримуюча здатність золи сприяє її застосуванню у легких бетонах. Бетонні суміші з оптимальною добавкою золи мають досить високу життєздатність та придатні для транспортування на далекі відстані.

Заміщення частини цементу золою призводить до зменшення усадкових деформацій бетону внаслідок зниження водопотреби бетонної суміші. Зменшення усадки пояснюється також тим, що зол адсорбує з цементу розчинні луки з утворенням стійких нерозчинних алюмосилікатів. Випробування бетону тривалим навантаженням показали, що введення золи також знижує повзучість бетону.

Зола, як і інші активні мінеральні добавки сприяє підвищенню корозійної, в т.ч. сульфатостійкості цементних бетонів, підвищує їх водонепроникність.

Перспективи використання золи біомаси при виробництві бетону. Дослідники з університету штату Канзас ще в 2013 р. розробили та представили новий тип бетону, який відрізняється вищою міцністю та має мінімальний вуглецевий слід. З метою скорочення викидів вуглекислого газу вчені з Канзаського університету запропонували використовувати відходи від виробництва біопалива як часткову заміну портландцементу.

Зокрема, дослідники використовували лігнін із залишками целюлози — побічний продукт, що виходить у процесі виробництва целюлозного біоетанолу (біопалива з неїстівних матеріалів, таких як тріска та лушпиння зерна).

Зазвичай ці відходи просто викидаються у відстійник або спалюються, через неможливість подальшого їх використання або переробки (на відміну від побічних продуктів, що виходять від виробництва біопалива з кукурудзи – вони можуть бути використані як корм для худоби).

Вчені зазначили, що додавання лігніну до бетонної суміші призводить до збільшення міцності готового бетону. Шляхом проведення ряду експериментів вони визначили, що заміна 20 % цементу целюлозним матеріалом після спалювання збільшує міцність бетону на 32 відсотки [6].

3.3 Переваги та недоліки використання золи у виробництві будівельних матеріалів

В результаті проведеного аналізу можна визначити наступні переваги та недоліки використання золи від спалювання біомаси як вторинної сировини.

Переваги.

1. Енергозбереження. Переробка та утилізація золи від біомаси дозволяє ефективно реалізувати повторне використання ресурсів та уникнути марнотратності ресурсів. У той же час, знижуючи попит на сировину, це також знижує забруднення відхідними газами, і стічними водами, що утворюються при видобутку корисних копалин та інших виробничих процесах. Таким чином, використання золи може призвести до економії енергії та скорочення викидів.

2. Скорочення витрат. Зола може замінити деяку кількість цементу як доступнішу цементну суміш, тим самим знижуючи вартість будівельних матеріалів. Під час використання зола також може скоротити час приготування розчину та вміст цементу в бетоні, а також підвищити швидкість будівництва та якість бетонних проектів.

3. Поліпшити довкілля. Зола - дуже стабільний матеріал, який згодом не розкладається та не гниє. У той же час, завдяки відносно невеликій вазі золи, її транспортування та зберігання також зручніші. Всі ці фактори можуть

полегшити переробку летючої золи і зменшити забруднення навколишнього середовища, що викликається нею.

4. Поліпшення показників існуючих матеріалів. Як суміш для бетону зола може підвищити довговічність, морозостійкість, міцність на стиск та інші характеристики бетону. Цих характеристик важко досягти за допомогою традиційного бетону. Таким чином, додавання золи може не тільки заощадити ресурси, а й покращити експлуатаційні характеристики бетону, що дуже допомагає у практичному застосуванні.

5. Нові ринки і технології. Переробка летючої золи може відкрити нові ринки. У деяких регіонах, таких як Європа, Америка та Азія, летюча зола стала одним із будівельних матеріалів, що широко використовуються. У міру вдосконалення національних вимог до охорони навколишнього середовища та енергоефективності летюча зола привертатиме дедалі більше уваги.

Недоліки

1. При використанні золи як сировини необхідно суворо контролювати співвідношення бетону та золи, щоб не погіршити якість бетону.

2. Підходить не для всіх типів бетону. Хоча летюча зола може поліпшити експлуатаційні властивості бетону, вона підходить не для всіх типів бетону.

3. Якщо в бетон потрапить дуже багато летючої золи, це може призвести до таких проблем, як зниження міцності бетону. Однак оцінити кількість летючої золи складніше, тому при її використанні необхідно бути обережними, в іншому випадку це може вплинути на якість бетону.

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ БІОМАСИ ЯК ДОБРИВА

4.1 Зола біомаси як ефективний засіб для удобрення рослин

У зв'язку зі зростаючим занепокоєнням станом навколишнього середовища, пов'язаним з використанням викопного палива, постійно шукаються нові рішення для обмеження викидів парникових газів та пов'язаних з ними екологічних наслідків. Серед доступних альтернативних джерел енергії біомаса вважається відновлюваним джерелом енергії з високим потенціалом для задоволення енергетичних потреб сучасного суспільства як у промислово розвинених, так і в країнах, що розвиваються по всьому світу. Основні технології, що використовуються для енергетичного перетворення біомаси, як і раніше включають процеси термохімічного перетворення, в основному процеси спалювання. Найбільш ефективною технологією, що використовується в промислових масштабах, є псевдозріджений шар, як у вигляді киплячого псевдозрідженого шару, так і у вигляді циркулюючого псевдозрідженого шару, в якому для спалювання біомаси використовується гарячий піщаний шар, ґратових печей. Ця технологія характеризується процесом, що протікає при відносно низькій температурі, ізотермічними умовами роботи та високою гнучкістю у виборі палива, а також високою ефективністю згоряння. Печі з колосниковими решітками працюють при більш змінних температурах і підходять для спалювання біомаси з різним розміром частинок (з обмеженням за кількістю дрібних частинок у паливній суміші) та високим вмістом золи. Багато галузей промисловості, такі як целюлозно-паперова промисловість або теплові електростанції, використовують лісову та сільськогосподарську залишкову біомасу, отриману в результаті догляду за лісом/проріджування, переробки деревини та догляду за лісовими насадженнями, як тверде біопаливо. Однак відомо, що термохімічна переробка біомаси може створювати проблеми

в процесі експлуатації та впливати на навколишнє середовище. Серед найбільш актуальних питань, пов'язаних з перетворенням біомаси в енергію, є питання, пов'язані з золою, що утворюється, її характеристиками і утилізацією. Кількість золи, що утворюється при спалюванні біомаси, значно варіюється залежно головним чином від типу вихідного матеріалу, технології спалювання та умов експлуатації. Ці параметри визначають важливі якісні характеристики одержуваної золи, тим самим впливаючи можливість її подальшого використання. Зола від спалювання біомаси класифікується як тверді відходи відповідно до Європейського списку відходів (ELW, 2000) з різними кодами, що враховують її походження на теплових електростанціях: летюча зола, пісок з киплячого шару.

Незважаючи на вміст різних елементів у золі, її утилізація на звалищах, як і раніше, є поширеною практикою, що спричиняє значні витрати для операторів теплових електростанцій, які працюють на біомасі, та не використовується потенціал переробки золи. У майбутньому утилізація золи перебуватиме під суворішим контролем, оскільки екологічні норми стають суворішими, місць для звалищ стає меншим, а витрати на утилізацію зростають. Промисловість та науковці шукають способи повторного використання золи, наприклад, для внесення безпосередньо в сільськогосподарські або лісові ґрунти або в суміші з осадам стічних вод та компостом з лісової біомаси.

Однак важливою умовою для сталого використання золи у сільському та лісовому господарстві є оцінка безпеки та можливого впливу на навколишнє середовище. Таким чином, вкрай необхідні відповідні процеси спалювання для перетворення біомаси і методи управління різними фракціями золи, що утворюється. У деяких європейських країнах, таких як Австрія, Данія, Фінляндія, Німеччина та Швеція, вже розроблено рекомендації щодо утилізації золи від спалювання біомаси в енергетичних цілях. У цих рекомендаціях зазначені потоки золи, які можна використовувати в сільському господарстві або на лісових ґрунтах, граничні значення для деяких поживних речовин для

рослин та концентрація важких металів у золі, граничні значення (поверхнєве навантаження) для внесення золи та інші рекомендації щодо належного використання золи.

Відомо, що зола, що утворюється при спалюванні твердої біомаси, містить цінні поживні речовини для рослин, такі як калій, фосфор, магній і кальцій, які знаходяться у відносно розчинних формах. Високий вміст Ca, Mg і K зазвичай спостерігається у формі карбонатів, оскільки при спалюванні біомаси за високої температури сполуки мінералізуються, а основні катіони перетворюються на оксиди, які повільно гідратуються і згодом карбонізуються в атмосферних умовах. Фосфор зустрічається у вигляді фосфатів Fe, K і особливо Ca. Таким чином, переробка золи в сільськогосподарські або лісові ґрунти може сприяти скороченню використання штучних добрив та замкнутості природних мінеральних циклів. Однак зола біомаси є високолужною і може містити значну кількість важких металів, які необхідно контролювати. Зміна доступності поживних речовин у ґрунті є результатом поєднання трьох факторів:

- додавання поживних речовин із золи;
- зміни хімічної рівноваги ґрунту залежно від pH;
- зміни (в основному збільшення) мікробної активності.

У цьому контексті внесення золи біомаси в ґрунт може призвести до іммобілізації деяких металів через підвищення pH ґрунту.

Для застосування в сільському господарстві також важлива буферна здатність золи, яку можна виміряти та виразити у так званій здатності до нейтралізації кислот (ANC). Здатність до нейтралізації кислот визначає стійкість до впливу кислот, яка впливає на довговічність матриці і, отже, на вимивання забруднюючих речовин, оскільки на їх розчинність сильно впливають умови pH, а цілісність твердої матриці залежить від її здатності підтримувати лужні умови. Здатність відходів зберігати нейтральний або слаболужний рівень pH у довгостроковій перспективі є дуже важливою, оскільки вимивання забруднюючих речовин зазвичай мінімальне в цьому

діапазоні рН і багаторазово зростає при його зниженні або підвищенні. Вплив додавання золи на рН ґрунту залежить як від карбонатів кальцію та магнію, так і від ступеня подрібнення матеріалу, але також можуть мати значення сполуки алюмінію та кремнію.

Позитивний ефект від використання лужних матеріалів для поліпшення ґрунту визнаний, але їх застосування впливає на процеси, що контролюють рухливість елементів у покращених ґрунтах. Залежно від ефективності спалювання зола біомаси може також містити значну кількість вугілля, що знижує кінцеву нейтралізуючу здатність. Крім того, на вимивання із золи та ґрунтів впливають різні фізичні, хімічні та біологічні фактори. На золу з низькою буферною ємністю (наприклад, з ANC нижче 0,2 мольН⁺/кг при рН 5) легко впливають навколишні умови. Для таких видів золи, що особливо містять важкі метали, необхідно оцінити вплив рН на вилуговування, щоб переконатися, що викиди з відходів будуть прийнятними при зміні рН у довгостроковій перспективі. Тестування на вміст азоту особливо необхідне, якщо відходи утилізуються спільно або вступають у контакт з іншими матеріалами або дозвіллям, які можуть спричинити зміну рН. Щоб значно покращити якість золи, необхідно ґрунтувати обробку на розумінні механізмів, що визначають якість, та використовувати дані про характеристики для оцінки обробки. Таким чином, тест на вилуговування в залежності від рН є дуже хорошим засобом для взаємного порівняння різних видів золи, а також для порівняння поведінки при вилуговуванні в рамках одного типу золи.

Враховуючи, що склад золи не однаковий, оскільки можуть спалюватися різні породи деревини чи різні види рослинної біомаси, можна надати загальні корисні властивості золи біомаси, та переваги органічного підживлення рослин золою:

- для солей карбонату кальцію характерна властивість збільшувати рух корисних речовин по клітинах рослин, нормалізуючи перебіг біохімічних процесів у них.
- зола біомаси має характер фосфорно-калійного мінерального добрива.

- солі сульфату кальцію зазвичай відомі як суперфосфат, який досить популярний як мінеральне добриво.

- засвоєнню макроелементів сприяють солі кремнієвої кислоти.

- ортофосфатом калію можна відрегулювати водний баланс у рослинах, він допомагає при великих кількостях аміаку в плодах та листі.

- до активізації фотосинтезу веде така речовина, як хлорид кальцію. Завдяки його дії здійснюється транспортування поживних речовин до листя та бутонів.

- будівельним матеріалом є магній, його солі. Їх у золі достатньо.

Всі ці речовини надають позитивний вплив на ріст рослин, що дозволяє утримувати вологу в листі, стеблах, що особливо необхідно при посушливому літі.

Крім постачання овочів, квітів корисними речовинами зола допомагає проти захворювань зелених насаджень: розтріскування моркви, почорніння помідорів, гнилі картоплі, чорної ніжки у рожевих кущів. Можна використовувати деревну золу для кімнатних квітів. Застосування попелу як підживлення рослин відомо давно і приносить користь і рослинам, і землі.

Як органічне підживлення зола застосовують трьома способами:

1. Розсипаючи суху золу навколо плодових дерев, в огіркові лунки, між рядами цибулі, можна забезпечити рослини поживними речовинами, що бракують. Такий спосіб підживлення проводиться обов'язково з перемішуванням золи з ґрунтом. Зазвичай на квадратний метр городу вносять від ста до трьохсот грамів попелу, що відповідає половині літра. Процедуру проводять навесні, коли збагачують торф'яний та піщаний ґрунт, восени вносять у суглинок. Після того, як суху золу розсипали навколо рослин, це місце рясно поливають. Особливо радіють сухій золі грядки з цибулею, тому що попіл врятує овоч від шкідників.

2. Рідкий розчин органічного підживлення готують із однієї склянки попелу, розмішаного в десяти літрах води. Цією рідиною поливають посадки огірків, але тут не можна переборщити, інакше плоди будуть віддавати

гіркотою. А ось помідори, навпаки, відгукуються на підгодівлю насолодою, соковитістю. Розчин попелу корисний для розсади овочів, особливо капусти. Він врятує молоді сходи від гнилі, зміцнить їх.

3. Також золу додають у компост, щоб потім використовувати його у вирощуванні раннього врожаю огірків, капусти.

Рекомендації щодо використання золи як добрива. До основних правил внесення добрива у формі попелу належать такі.

Під час висадження розсади пасльонових – томатів, баклажанів – у відкритий ґрунт треба у кожную лунку посипати три столові ложки органічного добрива.

Перед посівом трави на газон розподіляють по ділянці сухий попіл з наступним перекопуванням.

Під яблуні, груші вносять добрива в чистому вигляді в канавку, створену довкола стовбура. Підгодовують садові дерева, чагарники один раз на три роки по два кілограми попелу на екземпляр. Після цього обов'язковий рясний полив.

Капусті показано органічне підживлення часто, бажано через десять – дванадцять днів. Тоді і качани будуть цілісні, соковиті, і від кіла овоч урятується.

Декілька разів за літо треба удобрювати золою виноград. Краще це робити увечері, розпорошуючи розчин попелу на листі рослини. Виготовляють його з однієї частини золи та п'яти – рідини.

Так само обприскують квіти в розарії. Перед вживанням не треба забувати про перемішування добрива, щоб фосфор, що є в ньому, не осідав на дно.

Кімнатні квіти краще підгодовувати або сухим засобом по столовій ложці на великий горщик або розчином з двох столових ложок попелу, змішаного з шістьма літрами води. При внесенні добрива необхідно бути обережним, щоб не обпалити кореневу систему рослин.

Деревну золу використовують проти дротяника, хрестоцвітої блішки. Для знищення останньої попіл треба перемішати з тютюновим пилом, обсипати сумішшю хворі рослини.

Для підгодовування картоплі можна застосовувати золу: це допомагає збільшити врожай, рятує від шкідників. Під час висаджування овоча разом із посадковим матеріалом у лунку підсипають чайну ложку деревного попелу. Маленький обсяг добрива необхідний через те, що кислотність землі може знизитися, а картопля цього не любить.

Добриво незамінне і для зміни складу ґрунту. Усього триста грам добрива на квадратний метр покращить родючість суглинистих та глинистих ґрунтів. Воно здатне збалансувати кислотність та лужний компонент землі на ділянці. Перш ніж вносити підживлення у формі попелу необхідно знати, чи можна це робити чи не слід.

Добриво з рослинної золи використовується після завершення сезону восени. Багате калієм добриво рекомендується використовувати в глинисті, важкі ґрунти. Крім постачання ґрунтового комплексу калієм, золу використовують для боротьби зі специфічними шкідниками окремих культурних рослин, наприклад, таких, як цибуля та часник. Землю, яка буде використовуватися навесні під посадку цих рослин, щедро опудрюють золою в останні теплі дні осені, з таким розрахунком, щоб це порошкоподібне добриво покрило грядки щільним шаром близько 1 см. Озимий часник і цибулю також можна захистити від шкідників у такий спосіб, але кількість золи необхідно зменшити, з розрахунком, щоб шар порошку, що покриває землю над головками часнику та цибулі, що йдуть під зиму, не перевищував 20 мм. Рекомендована доза 0,5 - 1 т/га, пудрити розоране поля. При цьому потрібен суворий контроль якості використовуваної сировини, тобто біопаливо без будь-яких хімічних добавок, що дозволяє виробляти золу з високим вмістом кальцію та калію, як біологічні добрива.

Коли не можна застосовувати підживлення золою. Як і будь-який продукт, зола має протипоказання до застосування. Так як це добриво містить

багато калію, кальцію, то при надлишку цих елементів у ґрунті внесення золи лише завдасть шкоди. Дізнатися про це допоможуть рослини: у них опадає листя або знебарвлюється, на помідорах відмирають пагони, а виноград та яблуня покриваються надлишковими листовими розетками, плоди фруктів починають буріти.

Не можна разом із золою вносити у ґрунт добрива азотисті та фосфатні, які придбано у магазині. Це призведе до посиленого виділення аміаку, що особливо шкодить рослинам.

Органічні підживлення у вигляді свіжого гною, сечовини, селітри також не терплять змішування з попелом.

Вибір золи біомаси як добрива допоможе дати сили для зростання овочам, фруктам, квітам, і здоров'я людини при цьому збережеться завдяки натуральному продукту для підживлення рослин.

4.2 Аналіз результатів наукових досліджень, щодо ефективності використання золи біомаси як добрива

Зола є мінеральним залишком, що утворюється при спалюванні різних органічних речовин. Насамперед, це гарне калійно-фосфорне та вапняне добриво. Але вона містить ще до 30 мінеральних компонентів, у тому числі масу мікроелементів. У ній є калій, кальцій, фосфор, магній, мікроелементи – залізо, кремній, сірка, бор, марганець та інші. Але в ній зовсім не міститься азоту. У ній немає хлору, негативно впливає зростання багатьох культур (наприклад, капусти, картоплі). Склад золи залежить від матеріалу, що спалюється. Зола березових дров багата калієм та фосфором (14 та 7%, відповідно), кальцієм (понад 30%). Цінну золу дає бадилля картоплі, яка містить понад 20% калію, до 8% фосфору і близько 32% вапна. Калієм і кальцієм дуже багата зола із соломи гречки та соняшника. Найменш цінною є зола торфу та кам'яного вугілля (табл. 4.1).

Таблиця 4.1. Вміст мінеральних речовин у золі від різних видів біомаси

Вид біомаси	Вміст мінеральних речовин, %		
	Калій (K_2O)	Фосфор (P_2O_5)	Кальцій (CaO)
Березові дрова	10-12	4-6	35-40
Соснові дрова	10-12	4-6	30-40
Ялинові дрова	3-4	2-3	23-26
Торф	0,5-4,8	1,2-7,0	15-26
Гречана солома	25-35	2-4	16-19
Житня солома	10-14	4-6	8-10
Пшенична солома	9-18	3-9	4-7
Стебла соняшника	30-35	2-4	18-20

Підвищений вміст кальцію в золі обумовлює її властивості, що розкислюють. Найбільше сполук кальцію містить зола деревних листяних і хвойних порід. Однак не слід нехтувати і спалюванням бур'янів, різнотрав'я – у такій золі більше калію. При внесенні золи відбувається розкислення ґрунту, а одночасно – пригнічення патогенної мікрофлори, що віддає перевагу кислому середовищу для розвитку. Вона також зненавиджена деякими шкідниками, що можна успішно використовувати для безпечної боротьби з ними. Внесення золи дуже бажано під ті культури, які віддають перевагу ґрунтам від слабокислого до лужного. З квіткових культур це календула, лівка, братки, гіпсофіла, настурція, петунія, запашний тютюн, тюльпани, лілії, гіацинти, хризантеми, айстри, дзвіночки, маргаритки, клематиси, троянди, шавлія, котівник. З овочевих культур з подякою понесуть на внесення золи капуста, томати, картопля, огірки, коренеплоди. При пересадках кімнатних рослин корисно додати 2 столові ложки золи на 1 л ґрунту для улюблених геранів, фуксій, цикламенів. Зазвичай золу вносять у сухому вигляді при підготовці ґрунту до посадки рослин. Норми внесення залежать від кислотності та якості ґрунту та потреб вирощуваних культур. Зберігають золу в сухому місці, тому що при намоканні вона втрачає один із найцінніших компонентів – калій. Зола хорошої якості може бути заміною калійним добривам. Однак і намокла зола зберігає масу цінних речовин, її використовують при компостуванні або для внесення

рідкому вигляді. Можна додавати настій золи в розчини мінеральних добрив для підживлення, але не можна поєднувати її з розчинами органічних добрив.

Можна застосовувати деревну та солом'яну золу і для боротьби з хворобами та шкідниками, наприклад проти сірої гнилі суниці. У період дозрівання ягід запилюють кущі із розрахунку 10-15 г золи на кущ. Іноді запилення повторюють 2-3 рази, але золи витрачають уже менше – по 5-7 г на кущ. Захворювання різко знижується і майже припиняється.

Також зола добре підходить для боротьби з борошнистою росою смородини, огірків, агрусу, вишневим слизовим обпилювачем та іншими шкідниками та хворобами. Для цього рослини обприскують розчином: 300 г просіяної золи кип'ятять протягом півгодини, відвар, що відстояв, проціджують і доводять до 10 л. Для кращого прилипання додають 40 г будь-якого мила. Обприскувати рослини краще увечері у тиху погоду. Таку обробку можна робити 2-3 рази на місяць.

Таким чином, основні переваги золи такі:

- дешева (безкоштовна) сировина;
- простота виготовлення;
- екологічність;
- збалансований склад;
- відсутність терміну придатності за дотримання умов зберігання.

Цінність золи визначається такими показниками:

- стимуляція зростання та прискорення обміну речовин рослин;
- активація фотосинтезу;
- покращення всмоктування корисних речовин;
- посилення приросту зеленої маси, як від азотного добрива;
- підвищення стійкості культур до морозів та деяких шкідників.

Удобрення золою має сильний підлугувальний ефект: воно призводить до збільшення рН і збільшує вміст поживних речовин (фосфору, калію, мікроелементів) як у торф'янистих, так і в кам'янистих ґрунтах. У кам'янистих ґрунтах внесення золи може допомогти компенсації видалення поживних

речовин в результаті, наприклад вирубування деревних рослин, перешкоджати вилуговуванню та закисленню ґрунтів. Внесення золи може таким чином давати позитивний ефект навіть за відсутності прискорення приросту обсягів зеленої маси.

В кваліфікаційній роботі виконано огляд наукової літератури за період 2005-2024 роки та проаналізовано результати проведених експериментів з використанням золи як добрива дослідниками в різних країнах світу..

Співробітниками кафедра агрохімії та охорони навколишнього середовища, факультету екологічного менеджменту та сільського господарства, Вармінсько-Мазурського університету, (м.Ольштин, Польща) проводився експеримент 3 роки в кліматичних умовах Польщі. Метою роботи була оцінка впливу золи від спалювання рослинної біомаси верби та пенсільванського ясеня на врожайність верби, що вирощується як енергетична культура, і властивості ґрунту. Трирічний вегетаційний досвід проводили на субстратах із суглинно-піщаним гранулометричним складом. Норми внесення золи ґрунтувалися на потребі калійних добрив. Було проведено інкубаційний експеримент для визначення впливу золи на основі біомаси на властивості ґрунту. Три види ґрунту з текстурними категоріями інкубували протягом 3 місяців із золою, дози якої визначали виходячи з гідролітичної кислотності ґрунтів ($\frac{1}{4}$; $\frac{1}{2}$ і 1,0 Нн). Було виявлено, що зола, отримана від спалювання верби або ясеню пенсільванського, може застосовувати замість фосфорних, калійних і магнієвих добрив при вирощуванні енергетичної верби (рис. 4.1). Внесення цих видів лужної золи підвищує вміст у ґрунті фітодоступних форм фосфору, калію та магнію. Досліджена зола збагатила ґрунт мікроелементами [70].

Серед макроелементів, доданих у ґрунт разом із золою, у перший рік після внесення рослини найлегше засвоювали калій і найменш засвоювали магній. Більше калію накопичувалося рослинами, удобреними золою з верби (17–22%), ніж із пенсільванського ясеня (12–14%). Використання фосфору з вербової золи сягало 10,4–13,6%, порівняно з 7,3–9,4%, коли золу з пенсільванської віялової пелюстки було внесено до ґрунту. Верба засвоювала

найменшу кількість магнію, доданого у ґрунт із золою (3,0–5,5%) у разі вербової золи та 0,9–2,7%, коли зола походила з пенсільванського ясеня. Засвоєння поживних речовин із золи було загалом трохи менше, ніж із мінеральних добрив.

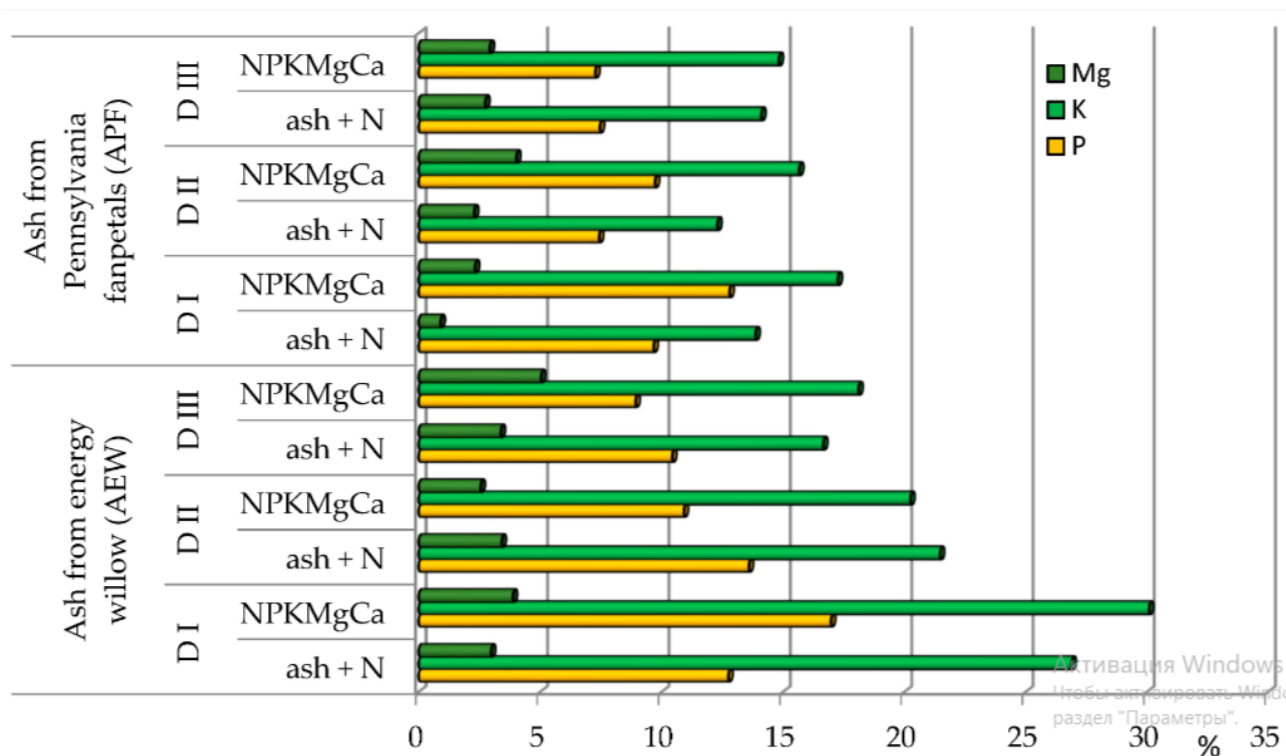


Рис. 4.1. Використання поживних речовин із золи (середнє значення за 3 роки досліджень) [70]

Все більш висока вартість мінеральних добрив та краща економічна утилізація деревної золи викликали необхідність дослідження використання деревної золи для зниження норми внесення добрив при вирощуванні кукурудзи. Порівняльний вплив деревної золи та NPK 15-15-15 на кукурудзу було досліджено в Акурі (Нігерія) [36]. Сорт кукурудзи з відкритим запиленням, стійкий до несправжньої борошнистої роси, був посаджений на площі 60 × 30 см у рандомізованому експерименті з повними блоками з чотириразовою повторністю, а гній вносився кільцем на відстані 10 см від рослини кукурудзи. Було проведено попередній аналіз ґрунту, який включав взяття проб ґрунту перед внесенням гною. Було досліджено дві культури

кукурудзи, і середні значення даних були розраховані для порівняння між обробками. Загальна площа листя на рослині, індекс площі листя та вміст хлорофілу корелювали з урожайністю зерна. Прибуток був розрахований для підтвердження економічної доцільності. Вміст хлорофілу та врожайність зерна були значно вищими при 200 кг/га суміші NPK 15-15-15 + 2 т/га деревної золи та при 300 кг/га NPK 15-15-15 у порівнянні з іншими обробками. Також було отримано відповідний вищий чистий дохід, що підтвердило, що суміш деревної золи та неорганічних мінеральних добрив (NPK 15-15-15) є придатною агрономічною практикою для рентабельного виробництва кукурудзи.

В роботі дослідників Інституту землекористування (м. Росток, Німеччина) зазначається, що повторне використання золи біомаси у сільському господарстві є важливим питанням для створення кругообігу поживних речовин та економії добрив. Щоб проаналізувати ефект фосфорних добрив золи біомаси сільськогосподарських культур (зола ріпакового борошна (RMA), зола соломи (SA) та зола зернових культур (CA) при взаємодії з різними культурами, були проведені два експерименти в горщиках з бідним суглинистим піском з дефіцитом фосфору. Крім трьох обробок золою, інші обробки включали потрійний суперфосфат (TSP) як високорозчинне джерело фосфору, хлорид калію (KCl) як високорозчинне джерело калію та контроль (CON) без фосфору і калію. Основні культури (кукурудза, люпин, ярий ячмінь, ріпак) у першому досвіді обробляли з квітня по травень, а проміжні культури (редька олійна, фацелія, райграс італійський, гречка) – у другому досвіді із серпня до вересня. Параметри рослин (біомаса та поглинання фосфору пагонами), рН ґрунту, різні запаси фосфору в ґрунті (загальний фосфор (Pt), водорозчинний фосфор (Pw), розчинний у подвійному лактаті фосфор (Pdl), розчинний в оксалатах фосфор (Pox)), Досліджували сорбційну ємність фосфору і ступінь насичення фосфору. Позитивний ефект золи біомаси був порівняний з ефектом TSP. У середньому всім культур найвище поглинання P (86,7 мг/горшка) було виявлено після застосування RMA, а найнижче поглинання P (66,6 мг/горщика) було виявлено для CON. Вміст фосфору в легко біодоступному ґрунті (Pw та Pdl) значно

збільшувалося при внесенні фосфору, незалежно від того, чи вносився фосфор із золою або з високорозчинним TSP. Ефекти фосфорних добрив також залежали від оброблюваних культур. Обробки золою призвели до найбільшого підвищення значень P_w ґрунту у поєднанні з обробітком гречки. Після збирання гречки вміст P_w у контролі становив 8,0 мг/кг, а обробках золою від 13,9 мг/кг (CA) до 15,7 мг/кг (RMA). З результатів цього дослідження автори дійшли висновку, що зола біомаси сільськогосподарських культур може бути ефективним джерелом фосфору, який можна порівняти з джерелом добре розчинного комерційного фосфорного добрива [62].

У Латвії виробляється значна кількість золи, що містить рослинні макро- і мікроелементи в збалансованих пропорціях. Якщо вихідним продуктом виробництва біоенергії є рослинна сировина, а обладнання працює нормально, залишки ферментації «побічного продукту» або деревна зола не повинні містити елементи в токсичних концентраціях. Деревна зола містить фосфор і калій, яких не вистачає в кислих органічних ґрунтах і які можуть працювати як Добриво, а також як засіб тривалого вапнування, крім того, в деревній золі є всі мікроелементи, необхідні для фізіологічних процесів. Деревну золу також можна використовувати як «активатори» – добрива для поліпшення зростання плантаційних лісів. Метою дослідження, яке проводилося вченими з Латвійський державний науково-дослідний інститут лісу (м. Рига, Латвія), є виявлення та опис позитивної дії добрив із деревної золи на ялину європейську (*Picea abies*) та інші господарсько цінні породи дерев. Результати досліджень показують позитивний вплив застосування деревної золи на зростання та життєздатність дерев протягом перших 2 років при використанні з метою рекультивації та ревіталізації [50].

Утилізація деревної золи (0,5–3 т/га перед посадкою) для удобрення лісових насаджень та *Picea abies* є стійким та ефективним рішенням для покращення росту дерев, а також екологічно безпечним методом утилізації відходів біоенергетичного виробництва (рис. 4.2, рис. 4.3).

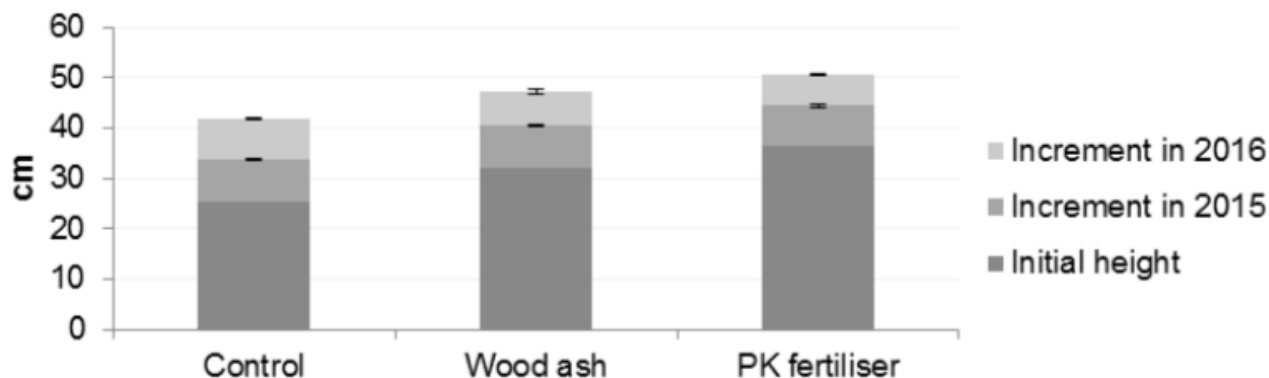


Рис. 4.2. Середня висота ялини та річний приріст у 2015 та 2016 роках, оброблені деревною золою або фосфорно-калійним добривом та контроль [50]

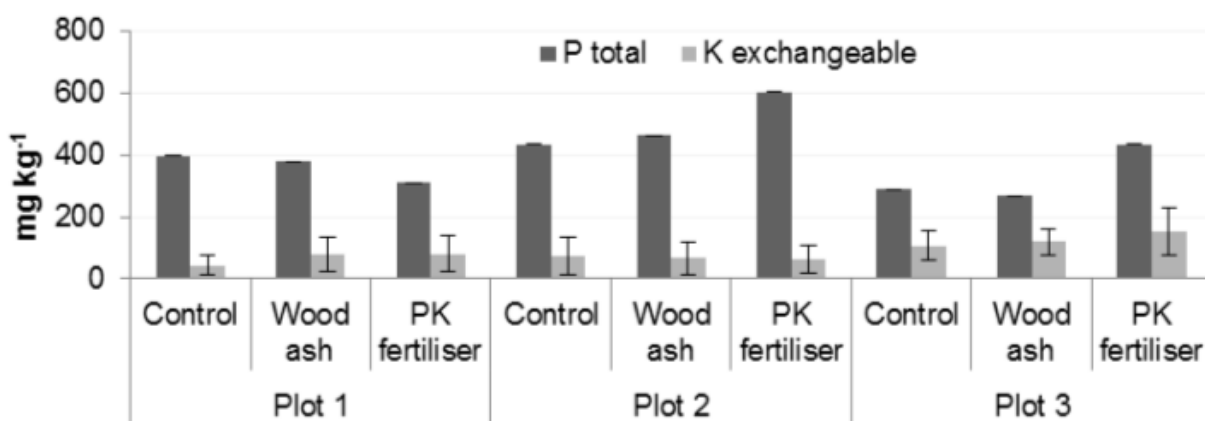


Рис. 4.3. Загальний вміст фосфору та обмінного калію в ґрунті на контрольних ділянках ревіталізації, оброблених деревною золою та фосфорно-калійним добривом [50]

У дослідженні вчених кафедри агроєкохімії та живлення рослин факультету агробіології, продовольства та природних ресурсів, Чеського університету природничих наук (м. Прага) повідомляється, що внесення золи біомаси у ґрунт може зберегти мінеральні поживні речовини через відносно високий вміст у ній кальцію, калію та фосфору. (гіпс для десульфурзації димових газів – FGDG) та P (простий суперфосфат – SP) на вихід та поглинання поживних речовин (Ca, K, P та S) райграсом (*Lolium perenne* L.), накопичення елементів живлення в рослинній біомасі на окремих чотирьох укосах та кількість доступних елементів живлення в кислому суглинистому ґрунті після останнього збирання врожаю. Рослини, вирощені у горщиках, збагачених

деревною золою, показали значно вищу врожайність та поглинання поживних речовин, ніж рослини без змін. На засвоєння елементів живлення рослинами, вміст елементів живлення в рослинах і в ґрунті істотно позитивно вплинули обидва компоненти, що вносяться в деревну золу, особливо ДДГ-гіпс. Ефективним виявилось поєднання деревної золи з добавками. Збагачення ґрунту WFA+SP+FGDG збільшило доступність фосфору, що міститься в SP, та вміст доступного фосфору у ґрунті навіть після збору врожаю [55].

Наступне дослідження проводилося вченими Науково-дослідницького інституту лісу Фінляндії. Доступність фосфору (P) та калію (K) зазвичай обмежує зростання дерев на осушених торфовищах. Поживний статус та об'ємне зростання сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) після різних доз добрива деревною золою досліджували у семи польових експериментах, розташованих на торф'яних ділянках у Фінляндії між 63° та 67° північної широти [54]. Зразки хвої брали через 14–20 років після внесення добрив, а дерева вимірювали через 15 років після внесення добрив. Щорічні темпи зростання та відмінності у листяних поживних речовинах були проаналізовані за допомогою двофакторної моделі ANOVA. Модель регресії використовувалася під час аналізу періодичного зростання відносного обсягу. Високі дози деревної золи (100–265 кг P/га, 225–450 кг K/га) призводили до сильніших змін концентрацій поживних речовин у листі та сильнішій реакції зростання, ніж низькі дози (5–50 кг P/га, 14–210 кг K/га). Значне збільшення маси хвої та концентрацій P, K та В спостерігалось у удобрених золою насадженнях з хорошим станом цих елементів через 20 років після внесення добрив. Залежно від дози золи середньорічний об'ємний приріст був на 0,5-1,4 м³/га вищим, ніж на контрольних ділянках протягом 15-річного періоду після внесення добрив (рис. 4.4).

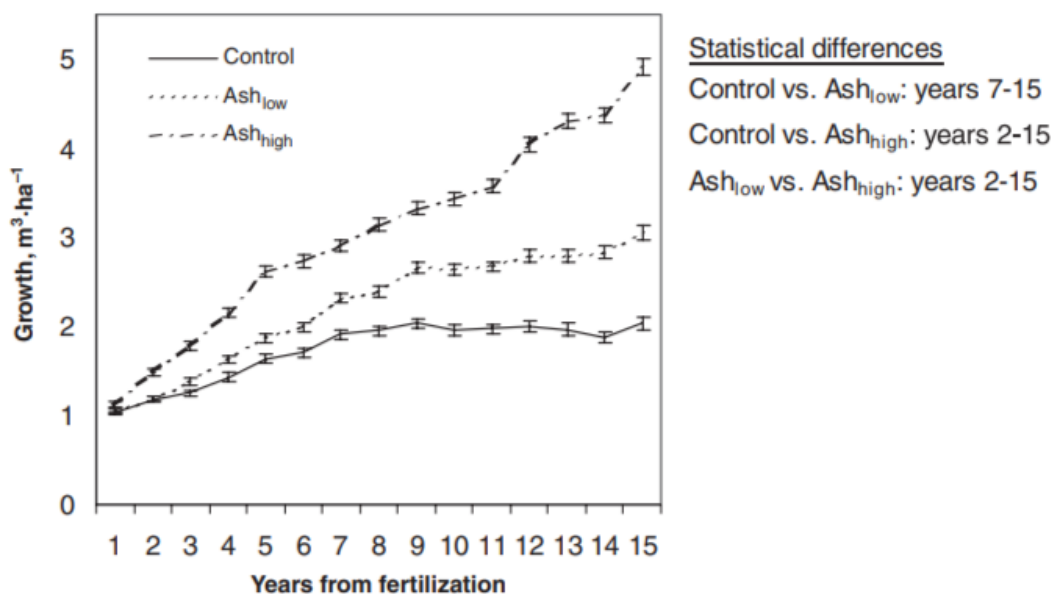


Рис. 4.4. Середній річний приріст об'єму зеленої маси насаджень після удобрення золою [54]

Обробки молодих хвойних насаджень, спрямовані на компенсацію втрати поживних речовин та лужності, пов'язаних із заготівлею цілих дерев для цілей біоенергетики можуть вплинути на зростання конкурентів хвойних дерев. Вченими кафедри екології Шведського університету сільськогосподарських наук (м.Упсала, Швеція) до молоді рослини *Picea abies* (L.), що росте на півдні Швеції, було застосовано три різні способи компенсації поживних речовин через 2–3 роки після суцільної рубки: дрібна фракція поживних залишків (15 Мг сух./га); гранульована деревна зола (4,1 Мг сух./га); безазотне вітальне добриво (двічі по 1,5 Мг/га); необроблений контроль (рис. 4.5).

Біомаса коренів та загальна біомаса злаків (в основному *Deschampsia flexuosa*(L.) Trin) були значно вищими при обробці деревною золою та добривом Vitality, ніж при обробці залишками та контрольною обробкою. На надземну та великокореневу біомасу природно регенеруючої берези (*Betula* spp.) та надземну біомасу чагарників (в основному *C. allua vulgaris* (L.) Hull.) та придонного ярусу обробки не вплинули [43]

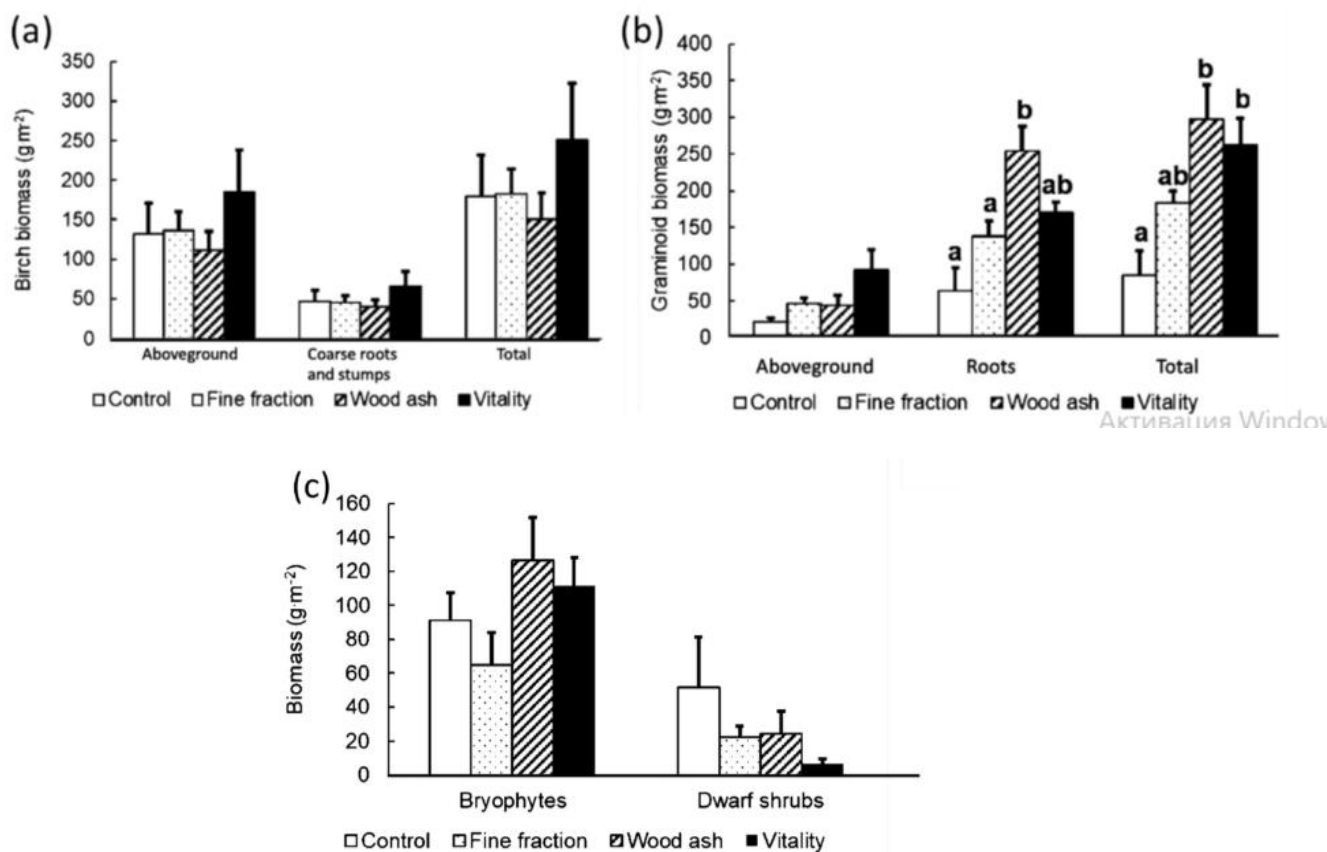


Рис. 4.5. Вплив деревної золи та інших речовин на збільшення біомаси рослин: а – надземна біомаса, біомаса грубого коріння і пнів і загальна біомаса берези (*Betula* spp.); б – надземна біомаса, біомаса тонких коренів та загальна біомаса злаків (*Deschampsia flexuosa*) та с – надземна біомаса карликових чагарників та нижнього ярусу [43]

Концентрації кальцію та магнію в надземній біомасі злаків та концентрація фосфору в біомасі придонного шару були значно вищими при обробці життєвим добривом. Таким чином, компенсація поживних речовин за допомогою добрив або гранульованої деревної золи може посилити конкуренцію з боку злаків на фазі укорінення.

У Північній Естонії вивчали короточасний вплив різних доз (0,25 та 0,5 кг/м^2) добрива деревною золою у польовому досвіді у 20-річному насадженні сосни звичайній на бідній поживними речовинами піщаному ґрунті (Arenosol) [52]. Як біохімічні показники для оцінки стану дерев з 2000 по 2005 р. використовували хімічні властивості ґрунту, накопичення поживних речовин, розчинні вуглеводи, крохмаль, геміцелюлозу, целюлозу та лігнін, рН та

концентрації K, Ca, B, Mg та інших елементів, крім N, після обробки. Встановлено статистичні залежності між дозами деревної золи, що використовується при обробці, та мінеральним складом ґрунту. Зміна властивостей ґрунту призвела до зміни накопичення поживних речовин у деревах, а діагностика хвої показала суттєве збільшення вмісту калію, магнію, заліза, марганцю та цинку у хвої. У вмісті розчинних вуглеводів (тенденція до зниження), крохмалю (тенденція до збільшення) та структурних вуглеводів статистично значущих змін не спостерігалось, але у хвої сосни звичайної зареєстровано трохи більше накопичення целюлози та лігніну. Вплив деревної золи на вуглеводний обмін та синтез лігніну, мабуть, залежав від стадії сезонного розвитку хвої та кліматичних умов. і структурних вуглеводів, але дещо більше накопичення целюлози та лігніну зареєстровано у хвої сосни звичайної. Вплив деревної золи на вуглеводний обмін та синтез лігніну, мабуть, залежало від стадії сезонного розвитку хвої та кліматичних умов. і структурних вуглеводів, але дещо більше накопичення целюлози та лігніну зареєстровано у хвої сосни звичайної. Вплив деревної золи на вуглеводний обмін та синтез лігніну, мабуть, залежав від стадії сезонного розвитку хвої та кліматичних умов.

Українськими вченими з Державного університету «Житомирська політехніка» було проведено дослідження та «порівняння впливу внесення калійного добрива й деревного попелу, а також їх поєднання на надходження ^{137}Cs із ґрунту в типові лісові рослини, такі як горобина звичайна (*Sorbus aucuparia* L.) та крушина ламка (*Rhamnus frangula* L.) в лісових екосистемах Полісся України, забруднених радіонуклідами в результаті аварії на Чорнобильській АЕС» [29]. В результаті експерименту доведено, що внесення калійних добрив (KCl) зменшує надходження радіоцезію для горобини та крушини лише на другий рік після внесення. Позитивний ефект внесення деревного попелу в розрахунку 100 кг(K)/га помітний для обох видів дерев лише із середини вегетації (липень) і найкращий результат показує в кінці вегетації (вересень) (рис. 4.6).

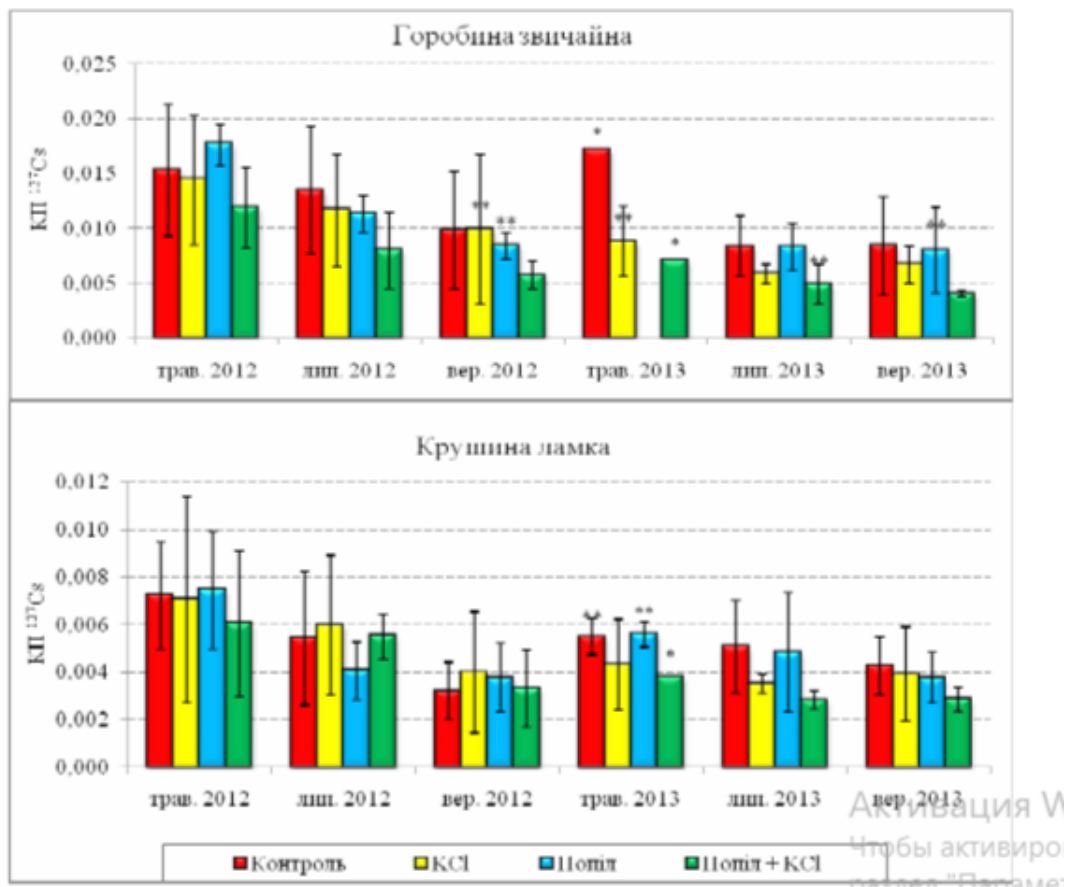


Рис. 4.6. Середні значення цезію-137, що переходить із ґрунту в листя та молоді пагони горобини звичайної (*Sorbus aucuparia* L.) і крушини ламкої (*Rhamnus frangula* L.) протягом 2012–2013 р при використанні різних добрив [29]

За результатами аналізу проведених в різних країнах досліджень за останні 20 років виявлено стабільний позитивний вплив золи від спалювання біомаси на активний ріст різних видів рослин, що зростають на різних типах ґрунтів і в різних кліматичних умовах. Дія золи майже не поступається ефективності суміші мінеральних добрив, вона сприяє нормалізації кислотності ґрунту та зменшенню накопичення радіонуклідів. Лабораторні та польові експерименти показали, що концентрація у ґрунті багатьох поживних речовин, особливо калію, магнію та фосфору, зазвичай підвищується після внесення деревної золи, а також зола збільшує рівень рН ґрунту, що може стимулювати активність мікроорганізмів, що можуть руйнувати залишки пестицидів і деякі інші забруднюючі речовини у ґрунті.

4.3 Визначення кількості добрив на основі золи від спалювання соломи пшениці

Розрахуємо масу золи, яку можна отримати від спалювання соломи пшениці у твердопаливних котлах, які встановлені у виробничих приміщеннях сільськогосподарського підприємства, що займається вирощуванням та переробкою зернових культур. При проведенні розрахунків використано методику з наукового джерела [3].

Брикетів з соломи завантажуються у твердопаливні котли. Витрата соломи за опалювальний період становить 2025 т/рік. Приймаємо зольність соломи 5 % при вологості соломи не більше 20-25 %. За одне завантаження витрачається 2250 кг соломи. Кількість завантажень брикетів соломи у твердопаливні котли – 5 разів на добу.

Розрахунок кількості добрив на основі золи від спалювання соломи пшениці наведений в табл. 4.2.

Таблиця 4.2. Розрахунок кількості добрив на основі золи від спалювання соломи пшениці та площі підживлення

Тривалість опалювального періоду	Маса спалюваної соломи, т	Кількість отриманої золи, т	Площа підживлена добривом з золи, га (при нормі 0,3 т/га)
1 доба	11,25	0,563	1,88
Тиждень	78,75	3,938	13,13
1 місяць	337,5	16,875	56,25
2 місяці	675	33,75	112,5
3 місяці	1012,5	50,63	168,75
4 місяці	1350	67,5	225
5 місяців	1687,5	84,38	281,25
6 місяців	2025	101,25	337,5

Таким чином на сільськогосподарському підприємстві за опалювальний період можна отримати 101,25 тонн золи від спалювання брикетів з соломи пшениці. Це дає можливість удобрити фосфорно-калійним добривом на основі

золи до 337,5 га сільськогосподарських земель, що буде сприяти підвищенню врожайності культур на 5-10 %.

Найбільш вдалим підходом у обробці золи був би метод, що дає продукт максимально схожий на штучні добрива. Гранулювання вирішило б практично всі проблеми використання сипучої золи. Зважаючи на більшу щільність ($900 \dots 1100 \text{ кг/м}^3$) зменшилися б питомі витрати на транспорт тощо. Кількість пилу в гранульованій золі дуже мала, що полегшує її використання. Набагато легше і дозувати, і поширювати гранульовану золу. Гранульована зола однорідніша за розміром, що оберігає дозатори від частих зупинок для чищення, її легше поширювати на велику площу (рис. 4.7).



Рис. 4.7. Переваги гранулювання золи як добрива

Процес виробництва гранул наступний. Агрегати для гранулювання збираються із обладнання, призначеного для гранулювання бетону. У процесі гранулювання суха зола і вода змішуються в бетонозмішувачі і потім подаються на похилу платформу, що обертається, діаметром близько 3 метрів. У процесі обробки суміш перетворюється на гранули. Вміст води у яких близько 12%. Розмір часток при такій обробці може бути різним. Ціна

гранульованої золи набагато вища. Гранульована зола розчиняється порівняно повільно, що призводить до повільнішого виділення поживних речовин. У той же час гранулювання згладжує різку зміну рН ґрунту при внесенні золи і може позитивно впливати на вміст у ґрунті важких металів. Важливою властивістю гранул є їхня механічна міцність – частка пилу в них незначна.

4.4 Драйвери, що сприятимуть вирішенню проблеми ефективної утилізації золи біомаси в Україні

Таким чином можна визначити драйвери що сприятимуть вирішенню проблеми утилізації золи біомаси в Україні, включаючи її використання як добрива (рис. 4.8).



Рис. 4.8. Драйвери ефективної утилізації золи від спалювання біомаси

Для розширення можливостей ефективної утилізації золи біомаси та використання її як вторинної сировини, в першу чергу як добрива, важливим ведення роботи в напрямках які наведені на рис. 4.9.

Напрями розширення можливостей утилізації золи від спалювання біомаси

- Стандартизація золи біомаси як добрива. Визначення критеріїв якості та походження золи для відокремлення тієї, що не може бути використана як добриво.
- Внесення стандартизованої золи до «Переліку агрохімікатів, дозволених до ввезення на митну територію України, виробництва, торгівлі, застосування та рекламування без їх державної реєстрації».
- Обґрунтування найбільш раціональних способів утилізації в інших галузях промисловості тієї золи, що не відповідає вимогам її використання в сільському господарстві.
- Заохочення проведення польових досліджень ефективності золи біомаси як добрива.
- Пропозиція внесення золи різних видів біомаси до переліку речовин, дозволених до використання в органічному виробництві.
- Розробка систем логістики для залучення золи біомаси з невеликих котельних до їх корисної утилізації.
- Дослідження та розвиток технологій покращення споживчих якостей золи як добрива.
- Розробка різних видів добрив на основі золи біомаси під різні типи ґрунту та різні види сільськогосподарських культур, з акцентом на кислі ґрунти, а також культури, вимогливі до калійно-фосфорного живлення, з великою інтенсивністю внесення цих добрив на одиницю площі. Розробка рекомендацій щодо їх використання, включаючи обґрунтовані співвідношення, згідно яких добривами на основі золи біомаси можна замінювати традиційні мінеральні добрива.
- Підвищення обізнаності серед потенційних груп споживачів про можливості застосування золи біомаси як добрива, розробка відповідних рекомендацій, що включали б технології застосування з підтвердженою ефективністю. Популяризація успішного досвіду агровиробників як України, так і інших країн.

Рис. 4.9. Напрями розширення можливостей утилізації золи від спалювання біомаси в Україні

Отже для стійкого використання біопалива дуже важливо замкнути цикл обігу мінералів і включити золу, що отримується при спалюванні біомаси, у природні цикли. Цикл мінералів має бути максимально замкнутим.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ БІОПАЛИВА

5.1 Аналіз українського ринку добрив на основі золи біомаси

Найближчим часом спостерігатиметься суттєве підвищення рівня використання біопалива. При виробництві біомаси потрібна повторна утилізація залишків, що утворилися в енергетичних процесах, для того, щоб мав місце кругообіг поживних речовин. Зола різних джерел може бути використана як добрива або як складова для багатокомпонентних добрив.

Проведено аналіз ринку добрив з вмістом золи біомаси в Україні. Деякі виробники пропонують золу біомаси на продаж, фасовану в пакети чи біг-беги, іноді у суміші з іншими компонентами, наприклад з компостом чи вапном. Частина таких препаратів внесена до Державного реєстру пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні, а деякі препарати не внесені до даного реєстру (табл. 5.1).

Таблиця 5.1. Деякі препарати на основі золи біомаси, що наявні на ринку України

Назва препарату	Виробник	Короткий опис
Препарати внесені до Державного реєстру пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні		
«ЕкоПлант (зола соняшника)»	ТОВ «ОРІЙ», Україна	Органо-мінеральне добриво (склад: P_2O_5 -7,66%, K_2O -49,29%, MgO -10,03%, CaO -12,26%), стимулює ріст рослин, прискорює терміни дозрівання врожаю, збільшує його об'єми, покращує смакові якості плодів і сприяє яскравішому забарвленню квітів [22]
«Екосойл»	ТОВ «Лігнін»	Комплексне мінеральне добриво рослинного походження, основним компонентом якого є попіл з лущиння соняшника. виявляє високу ефективність на ранніх стадіях розвитку овочевих культур, кукурудзи, соняшника, озимого та ярого ріпаку при весняному передпосівному застосуванні під культивування.

Препарати не внесені до Державного реєстру пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні		
«Органічне добриво Вугільний пил (попіл) деревини»	ФОП Островерхий В.І.	Отримується в результаті спалювання деревини, - вогнетривкі органічні залишки, які містять мінеральні речовини. застосовується як добриво, а також для зміни балансу складу ґрунту. Це сприятливо позначається на розмноженні мікроорганізмів у ґрунті, наприклад азотфіксуючих бактерій.
«Попіл дерева»	«Чарівна грядка»	Ефективне калійно-магнієве без хлорне добриво для овочевих та плодово-ягідних культур. Знижує кислотність ґрунту.
«Деревна зола (попіл просіяний)»	ТМ OGOROD	Калійно-фосфорне добриво для кислих та нейтральних ґрунтів. Для овочівництва та садівництва.
«Попіл соняшника»	ПП ОБІ	Природне комплексне добриво, що збагачує ґрунт поживними речовинами, оптимізує водний баланс та кислотність ґрунту.
«Попіл соняшника»	ПП «Квітка»	Природне комплексне добриво з високим вмістом фосфору (6-7%), калію (24-30%), кальцію (18-28%) та магнію (12,4%). Крім того, зола містить різноманітні мікроелементи, такі як сірка, залізо, магній, бор, марганець, молібден і цинк.

За результатами аналізу ринку добрив з вмістом золи біомаси, можна зазначити наявність значної кількості препаратів. Найбільше пропозицій добрив виробляються з золи соняшника. Джерелом сировини для виробництва таких добрив є зола, що утворюється на підприємствах олійної галузі від спалювання лушпиння соняшника.

5.2 Економічна та енергетична ефективність застосування добрив на основі золи біомаси

Найбільш простим та доступним способом економічної оцінки є зіставлення додаткових виробничих витрат на застосування добрив та вартості

збільшення врожаю. Різниця між цими показниками характеризує додатково чистий дохід у результаті застосування добрив.

Вартість збільшення врожаю встановлюють шляхом множення збільшення урожаю, що визначається за нормативною оплатою 1 кг д.в. добрив приростом урожаю основної та побічної продукції на вартість додаткової основної та побічної продукції.

Додаткові виробничі витрати, пов'язані із застосуванням добрив, включають вартість добрив, витрати на виконання робіт з їх застосування, а також витрати на збирання та доопрацювання збільшення врожаю.

Додатковий чистий дохід з 1 га, отриманий від застосування добрив, визначають по різниці між вартістю добавок урожайності, отриманих від застосування добрив, та витратами на добриво, збирання та доопрацювання додаткової продукції.

Відношення вартості збільшення врожаю до додаткових витрат дозволяє оцінити окупність додаткових витрат на застосування добрив вартістю додаткової продукції. А відношення додаткового чистого доходу до додаткових витрат, що у відсотках, характеризує рентабельність застосування добрив.

За підсумками визначення цих показників проводять оцінку різних варіантів системи добрива.

Енергетична ефективність визначається ставленням енергії накопиченої в продукції, отриманої за рахунок застосування добрив до енергетичних витрат на виробництво та застосування добрив, що вносяться. Для визначення енергетичної ефективності системи застосування добрив у сівозміні необхідно розрахувати енергію, накопичену в сільськогосподарській продукції, яка оцінюється в мільйонах джоулів.

Енергетична ефективність (енерговіддача, або біоенергетичний ККД добрив. Це відношення накопиченої в додаванні продукції енергії до сумарних енергетичних витрат на виробництво, транспортування, зберігання та внесення добрив та на прибирання, доопрацювання та реалізацію цієї додаткової продукції.

Завдяки використанню в процесі фотосинтезу енергії сонця рослини завжди виробляють більше енергії в продукції, ніж витрачають з навколишнього середовища. Для підтримки (1,0-2,0%) і підвищення (до 4%) фотосинтетично активної радіації (ФАР) культури, що виробляються, споживають багато антропогенної (технічної) енергії у вигляді добрив, меліорантів, засобів захисту рослин, зрошення (або осушення), тракторів, комбайнів і машин, ПММ для них, електроенергії, будівель, споруд, комунікацій тощо на всіх етапах виробництва та реалізації продукції.

У механізованому сільському господарстві різних країн біоенергетичний ККД добрив залежно від природно-господарських умов коливається від 0,3 до 4,0 із тенденцією зниження зі збільшенням антропогенних енерговитрат. Мінімальна енерговіддача із сільськогосподарських галузей спостерігається у тваринництві та тепличному рослинництві.

Оптимізація доз добрив у конкретних природно-кліматичних умовах їх застосування максимально підвищує оплату добрив збільшенням урожаїв та використання рослинами сонячної енергії, тобто енерговіддачу виробництва рослинницької продукції. Тому енергетична оцінка застосування добрив поряд з агрономічною та економічною дає більш ємне уявлення про ефективність їх у конкретних умовах.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Загальні положення охорони праці

Охорона праці – це система забезпечення безпеки життя та здоров'я працівників у процесі трудової діяльності, що включає правові, соціально-економічні організаційні, технічні, психофізичні, санітарно-гігієнічні, лікувально-профілактичні, реабілітаційні та інші заходи та засоби.

Охорона праці ставить за мету зниження травматизму і захворюваності водіїв, механізаторів та інших робочих, службовців шляхом створення здорових і безпечних умов праці. Для досягнення цієї мети розроблено та затверджено законодавство з охорони праці, створюються на всіх підприємствах служби охорони праці, розробляються та удосконалюються стандарти безпеки праці, широко підтримується діяльність органів, що контролюють стан охорони праці. Навчання працівників сільського господарства питанням охорони праці – найважливіша ланка у низці заходів для досягнення вище зазначеної мети.

Широка механізація, електрифікація та хімізація виробничих процесів, велика різноманітність складної техніки, що безперервно оновлюється, вимагає від фахівців сільського господарства всебічних знань з охорони праці, що дозволяють кваліфіковано вирішувати питання стану здоров'я та безпечних умов для своїх підлеглих та вироблення у них міцних навичок безпечного виконання робіт.

Основні принципи безпеки під час роботи з добривами:

- *інформація та навчання*. Працівники, які поводяться з добривами, повинні бути добре обізнані про можливі ризики та відповідні запобіжні заходи. Кожне добриво має супроводжуватися інформаційним листком із зазначенням його складу, потенційних небезпек, першої допомоги при нещасних випадках та методів безпечного використання та утилізації;

- засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). Використання респіраторів чи масок захисту органів дихання, спеціального (комбінезони) одягу та рукавичок для захисту шкіри, захисних окулярів для запобігання попаданню частинок в очі;

- *дотримання процедур безпеки*. Усі операції з добривами повинні проводитись відповідно до встановлених процедур безпеки. Це включає правильне використання та обслуговування обладнання, використання захисного одягу та обладнання, а також дотримання процедур у разі аварій та інцидентів.

- *безпечне зберігання*. Добрива повинні зберігатися відповідно до рекомендацій виробника та норм безпеки. Вони мають бути відокремлені від харчових продуктів, кормів для тварин, вибухових речовин та інших небезпечних матеріалів. Крім того, складські приміщення повинні бути добре провітрюваними та захищеними від прямих сонячних променів та дощу;

- *безпечна утилізація*. Неправильно утилізовані добрива можуть становити загрозу для довкілля та здоров'я людей. Тому всі залишки добрив та їх упаковка повинні бути утилізовані відповідно до рекомендацій виробника та норм охорони навколишнього середовища.

6.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при роботі на розкидачі добрив

У процесі виробничої діяльності на працівників впливають небезпечні та шкідливі виробничі фактори, слід звернути особливу увагу на такі вузли розкидачу та ситуації під час експлуатації агрегату:

- карданний вал, що обертається;
- обертові диски розкидача;
- обертові елементи приводу;
- небезпеки, пов'язані з втратою стійкості;

- небезпеки внаслідок контакту з мінеральними добривами, які використовуються при розкиданні;

- небезпеки, пов'язані з неправильним застосуванням засобів індивідуального захисту.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори реалізуються у травмах або захворюваннях при небезпечному стані машин, обладнання, інструментів, середовища та скоєння працівниками небезпечних дій.

Ризики, що виникають при неправильному обслуговуванні розкидача:

- небезпека травмування виступаючими елементами розкидача під час завантаження бункера та під час роботи. Перед виконанням робіт, необхідно переконатися, що поблизу немає сторонніх осіб;

- небезпека пошкодження під час підйому та опускання розкидача. Дотримуватись особливої обережності при виконанні цих дій, у разі присутності людей поряд з агрегатом;

- небезпека втягування або захоплення елементами приводу, що обертаються. Бути особливо обережними, коли елементи, що обертаються, знаходяться в русі. Механізатор та сторонні люди не повинні наближатися до агрегату під час його роботи;

- небезпека травмування добривами, що розкидаються під час роботи. Дотримуватись особливої обережності при роботі розкидача. Механізатор та сторонні люди не повинні наближатися до агрегату під час його роботи. Дотримуватися безпечної дистанції від працюючого розкидача;

- небезпека втрати стійкості. Під час заповнення бункера розкидача має бути підключений до трактора. На час перерви в експлуатації його слід встановити на твердій горизонтальній основі. Агрегатувати розкидач рекомендованими тракторами;

- небезпеки, спричинені контактом зі шкідливими речовинами або їх вдиханням. Під час роботи розкидача застосовують рекомендовані засоби індивідуального захисту. Механізатор та сторонні люди не повинні наближатися до агрегату під час його роботи.

6.3 Розрахунок стійкості розкидача добрив під час експлуатації

Під стійкістю розуміється здатність транспортного засобу зберігати напрямок руху та протистояти дії зовнішніх сил, які прагнуть викликати занесення чи перекидання.

Перекидання транспортного засобу можливе не тільки під час роботи на схилах, але й на горизонтальній ділянці шляху від дії відцентрових сил на повороті. Значення критичної швидкості $v_{кр}$, м/с, при якій можливе перекидання при здійсненні повороту визначається за формулою:

$$v_{кр} = \sqrt{\frac{g \cdot B \cdot R}{2 \cdot h}},$$

де g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81$ м/с²;

R – радіус повороту, $R = 9,2$ м;

h – висота розташування центру мас розкидача над поверхнею дороги, $h = 1,2$ м;

B – ширина колії транспортного засобу, $B = 2,15$ м.

$$v_{кр} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 2,15 \cdot 9,2}{2 \cdot 1,2}} = 8 \text{ км/год.}$$

Ступінь небезпеки травмування людей під час експлуатації транспортних засобів багато в чому залежить від ефективності гальмівних пристроїв. Повний час аварійної зупинки можна розкласти на окремі елементи:

$$t = t_1 + t_2 + t_3,$$

де t_1 – час реакції водія (з моменту виявлення перешкоди до початку впливу на важіль або педаль керування гальмом), $t_1 = 1,8$ с;

t_2 – час спрацювання гальм, $t_2 = 0,7$;

t_3 – час від початку гальмування до зупинки транспортного засобу, $t_3 = 0,5$ с.

$$t = 1,8 + 0,7 + 0,5 = 3 \text{ с.}$$

Ефективність гальмування оцінюється за значенням зупинного шляху, який пройде агрегат з моменту виявлення перешкоди до моменту його зупинки, м:

$$l_0 = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \frac{v_0}{3,6} + \frac{K_e \cdot 10^2 \cdot (G + G_p)}{254 \cdot f \cdot G},$$

де l_0 – початкова швидкість при гальмуванні, $l_0 = 10$ км/год;

K_e – коефіцієнт експлуатаційних умов гальмування, $K_e = 1,5$;

f – коефіцієнт зчеплення шин із ґрунтом, $f = 0,05$;

$G = 8000$ кг – маса трактора;

$G_p = 1800$ кг – маса розкидачу.

$$\ell_o = (1,8 + 0,7 + 0,5 \cdot 0,5) \frac{10}{3,6} + \frac{1,5 \cdot 10^2 (8000 + 1800)}{254 \cdot 0,05 \cdot 8000} = 23,14 \text{ м}$$

Таким чином, значення зупинного шляху, який пройде агрегат з моменту виявлення перешкоди до моменту його зупинки, буде дорівнювати 23,14 метрів

6.4 Вимоги техніки безпеки при роботі з розкидачем добрив

До роботи на розкидачі мінеральних добрив допускаються особи чоловічої статі віком від 18 років, які пройшли медогляд і не мають протипоказань за станом здоров'я, навчені роботі на даному виді техніки, пройшли всі види інструктажів з охорони праці, стажування на робочому місці та перевірку знань вимог охорони праці.

Висока виробнича дисципліна, знання та точне виконання вимог інструкцій забезпечують безпеку працюючого, збереження машин та обладнання.

Виконувати тільки ту роботу, яка доручена керівником робіт, не допускати на робоче місце сторонніх осіб та не доручити свою роботу іншим особам.

Поява на роботі у нетверезому вигляді та вживання на роботі спиртних напоїв та інших нарковмісних речовин забороняється, оскільки це є грубим порушенням правил внутрішнього розпорядку та призводить до аварій та травм.

При роботі в полі необхідно відпочивати та приймати їжу у польових вагончиках, а за їх відсутності – у спеціально відведених для цієї мети місцях, які мають бути обладнані навісом.

Не відпочивати під транспортними засобами та сільськогосподарськими машинами, у високій траві, чагарниках та інших місцях, де можливий рух машин.

Під час грози всі види польових робіт припинити та укритися в обладнаному місці для відпочинку. Не ховатися від грози в кабінах машин, під машинами, у копицях, стогах та скиртах, під одиночними деревами та іншими предметами, що височіють над навколишньою місцевістю.

При груповій роботі (двоє чи більше працівників) керівником робіт у складі працівників призначається старший. Виконання розпоряджень старшого є обов'язковим для інших працівників та обслуговуючого персоналу.

Працювати в засобах індивідуального захисту: костюм, при необхідності використовувати захисні рукавички та захисні окуляри.

Вивчити правила користування засобами пожежогасіння, забезпечити вільний доступ. Не використовувати пожежний інвентар для інших цілей.

Якщо стався нещасний випадок, надати потерпілому першу допомогу (за відсутності людей на місці події — самодопомога) та повідомити керівника робіт про нещасний випадок.

Повідомити керівника робіт про несправності машин, що виникли в процесі робіт, самостійне усунення яких може призвести до аварії та нещасних випадків. Усунути такі несправності та небезпеки за обов'язкової участі керівника робіт із залученням допоміжних працівників, з використанням інструменту та пристроїв, що гарантують безпечне виконання цієї операції.

Особи, які порушили вимоги інструкції, притягуються до відповідальності згідно з правилами внутрішнього розпорядку організації, за винятком випадків, коли порушення вимог включає кримінальну відповідальність.

Перед початком роботи необхідно упорядкувати робочий одяг: застебнути обшлага рукавів, заправити одяг так, щоб не було кінців, що розвиваються, прибрати волосся під щільно облягаючий головний убір. Не дозволяється працювати у легкому взутті (сланцях, сандалях, босоніжках)

Механізатор, що працює з розкидачем добрив, має суворо дотримуватися наступних правил безпеки:

- експлуатація розкидачу мінеральних добрив довіряється особі, яка має відповідну кваліфікацію, що дозволяє працювати з сільськогосподарськими машинами, ознайомленою з інструкцією з експлуатації;

- перед використанням розкидача слід звернути увагу на його технічний стан, спосіб кріплення окремих механізмів, особливо елементів приводу та робочих вузлів;

- не можна працювати машиною, яка не є повністю справною;

- ослаблене кріплення необхідно затягнути, а пошкоджені деталі негайно замінити на нові;

- усі огорожі мають бути встановлені та неушкоджені;

- перед початком роботи слід переконатися, що елементи, регулювання працюють правильно;

- під час першого запуску перевірити працездатність машини, а також виконати попереднє регулювання до наповнення бункера добривами.

- розкидач можна запустити тільки в робочому положенні після того, як ви переконалися, що в радіусі 50 м не знаходяться люди або тварини; робота розкидача може проводитися тільки при номінальній швидкості обертання ВОМ трактора 540 об/хв. Не можна перевищувати 600 об/хв.

Не дозволяється перевозити у розкидачу людей, тварин, а також предмети, не пов'язані з роботою агрегату.

Вимоги охорони праці під час роботи

1. Слід виконувати лише ту роботу, яку доручено керівником робіт.

2. Не можна розкидати матеріали крім тих, для яких призначений розкидач.
3. Не можна працювати з ушкодженим карданним валом.
4. Не можна переміщатися агрегатом передачі заднього ходу при включеному приводі робочих органів
5. Під час роботи розкидача неприпустиме завантаження добрив, що злежалися, в бункер.
6. Під час транспортних переїздів вимкніть привід робочих органів розкидачу.
7. При здійсненні будь-яких регулювальних та ремонтних робіт необхідно вимкнути двигун на тракторі, переконатись, що ніякі елементи не обертаються, відключити привід ВОМ.
8. При роботі слід стежити, щоб кожух карданного валу завжди зберігав свою цілісність, пошкоджений кожух необхідно відразу замінити.
9. Механізатор не повинен залишати агрегат із увімкненим приводом без нагляду.

Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях

1. Якщо в процесі роботи з мінеральними добривами або пестицидами відбулося порушення захисних властивостей індивідуального захисту органів дихання, слід припинити роботу, зупинити обладнання та вийти із зони проведення хімічних робіт.
2. У разі виникнення пожежі слід викликати пожежну команду за телефоном 112 або 101, повідомити керівника робіт та вжити заходів щодо ліквідації вогнища загоряння.
3. При попаданні в очі мінеральних добрив необхідно негайно промити їх 1%-ним розчином борної кислоти, струменем чистої води або протерти вологим ватним (марлевым) тампоном. Після промивання на очі слід накласти пов'язку та відправити постраждалого до лікаря.

4. При появі ознак отруєння (головний біль, шум у вухах, запаморочення, нудота і блювання, втрата свідомості) постраждалого негайно слід вивести на свіже повітря та організувати подачу кисню для дихання.

5. При попаданні отрути на шкіру ретельно змити препарат струменем води з милом або, не розмазуючи по шкірі і не втираючи, зняти його шматком тканини або тампоном вати, потім обмити холодною водою;

6. при попаданні отрути в очі – рясно промити їх водою і потім 2% розчином питної соди або борною кислотою;

7. при отруєнні через шлунково-кишковий тракт – випити кілька склянок води (теплої) або слабого рожевого розчину марганцевокислого калію та викликати блювання. Після блювання випити півсклянки води з двома-трьома столовими ложками активованого вугілля, а потім сольове проносне.

8. У всіх випадках отруєння пестицидами необхідно доставити хворого до медичного закладу або викликати швидку допомогу.

9. У разі пошкодження (розриву) гумових шлангів, порушення герметичності у з'єднаннях роботу з внесення рідких добрив слід негайно припинити, вжити заходів щодо усунення несправностей, повідомити спеціаліста, відповідального за проведення робіт, про характер несправності та викликати машину технічної допомоги.

10. При підвищенні тиску вище дозволеного, несправності запобіжного клапана, розриві трубопроводів, пошкодженні шлангів, порушенні герметичності обладнання, що супроводжується виділенням аміаку, слід відключити обладнання, знизити тиск і припинити роботу, вийти в безпечну зону та видалити з прилеглої території працівників. При пошкодженні судини слід злити аміак в аварійне сховище, повідомити керівника роботи. Пролитий аміак необхідно полити багатою водою. Під час витоку аміаку з цистерни по дорозі водій повинен поставити машину в бік від дороги у напрямку вітру, вжити необхідних заходів, що забезпечують безпеку людей та руху.

ВИСНОВКИ

1. Хімічний склад золи при спалюванні біопалива включає різноманітні мінеральні сполуки, які раніше утримувалися в біомасі. Основними компонентами золи є: кальцій та магній, вміст яких може становити значну частку золи; оксид кремнію, оксид заліза, оксид алюмінію та інші; сульфати; фосфат кальцію; калій, залізо та мідь. До основних факторів, що впливають на кількість, елементний склад і інші властивості утвореної золи, належать: вид спалюваної біомаси, технологія спалювання, технологія та обладнання для уловлення золи з димових газів, а також додаткові технології запобігання наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

2. За розрахованими значеннями загальна кількість золи від спалювання різних видів твердого біопалива в різних секторах економіки за 2020 рік становить – майже 169 тис. тонн. При цьому до 80 % зазначеного обсягу золи було розміщено на полігонах відходів. Таким чином щорічно безповоротно втрачається близько 135 тис. тонн золи біомаси як вторинної сировини.

3. Деревна зола є важливим ресурсом, який можна використовувати ефективно та екологічно відповідально. Її хімічний склад та властивості роблять її цінним інгредієнтом для різних виробничих процесів. До основних напрямів раціональної та ефективної утилізації золи біомаси можна віднести її використання у таких галузях як: сільське господарство, виробництво будівельних матеріалів, будівництво доріг, енергетична переробка, укріплення берегової лінії та рекультивація техногенно порушених земель.

4. Використання золи від спалювання біомаси для виробництва бетону та цегли є перспективним напрямом у рамках концепції циркулярної економіки. Це рішення дозволяє скоротити кількість відходів від енергетичних підприємств, які використовують біомасу, і водночас зменшити споживання природних ресурсів у будівельній галузі. Виробництво цементу – одне з основних джерел викидів CO₂, тому заміна його на зольні матеріали дозволяє зробити процес більш екологічно чистим. Додавання золи від біомаси може покращити властивості будівельних матеріалів, такі як міцність, довговічність та теплоізоляційні характеристики.

5. Важливою умовою для сталого використання золи у сільському та лісовому господарстві є оцінка безпеки та можливого впливу на довкілля. Основні переваги золи від спалювання біомаси такі: дешева сировина; простота виготовлення; екологічність; збалансований склад; відсутність терміну придатності за дотримання умов зберігання. Цінність золи визначається такими показниками: стимуляція зростання та прискорення обміну речовин рослин; активація фотосинтезу; покращення всмоктування корисних речовин; посилення приросту зеленої маси, як від азотного добрива; підвищення стійкості культур до морозів та деяких шкідників.

6. Виконано огляд наукової літератури за період 2005-2024 роки та проаналізовано результати проведених експериментів з використанням золи як добрива дослідниками в різних країнах світу. За результатами аналізу виявлено стабільний позитивний вплив золи від спалювання біомаси на активний ріст різних видів рослин, що зростають на різних типах ґрунтів і в різних кліматичних умовах. Дія золи майже не поступається ефективності суміші мінеральних добрив, вона сприяє нормалізації кислотності ґрунту та зменшенню накопичення радіонуклідів. Лабораторні та польові експерименти показали, що концентрація у ґрунті багатьох поживних речовин, особливо калію, магнію та фосфору, зазвичай підвищується після внесення золи біомаси, а також зола збільшує рівень рН ґрунту, що може стимулювати активність мікроорганізмів, які можуть руйнувати залишки пестицидів і деякі інші забруднюючі речовини у ґрунтах.

7. Обґрунтовано ключові драйвери, що сприятимуть ефективній утилізації золи від спалювання біомаси в Україні. До них можна віднести: збільшення обсягів використання біопалива в енергетиці; збільшення ставок екологічного податку за розміщення відходів на полігонах; зростаюча потреба в калійних та фосфорних добривах, які імпортуються з інших країн до України і мають високу ціну. Отже, використання золи від спалювання біомаси є важливим елементом сталого розвитку, оскільки дозволяє мінімізувати відходи та використовувати їх з користю для різних секторів економіки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барабаш В.А. Інноваційні технології рослинного ресурсозбереження: навчальний посібник. Київ: Каравела, 2018. 288 с.
2. Біомаса як паливна сировина / Гелетука Г.Г., Жовмір М.М., Олійник Є.М., Радченко С.В. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/60379/11-GeletukhaNEW.pdf?sequence=1>.
3. Василенков В. Безвідходна технологія отримання теплоти зі спресованої соломи та утилізація попелу. Агрономія Сьогодні. 04.09.2018. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/11345-bezvidkhodna-tekhnohiiia-otrymannia-teploty-zi-spresovanoi-solomy-ta-utylizatsiia-popelu.html>.
4. Використання попелу для вирощування рослин. 7.03.2024. URL: <https://podolyanin.com.ua/environment/69278/>.
5. Використання та запаси палива у 2020 році. Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua>.
6. Відходи біопалива почали використовувати як матеріал для виготовлення бетону. URL: <http://s-smes.com>.
7. Волошин М.Д., Черненко Я.М., Іванченко А.В., Олійник М.А. Технологія неорганічних речовин. Частина 3. Мінеральні добрива: навчальний посібник. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. 354 с.
8. Гелетука Г.Г., Желєзна Т.А., Баштовий А.І. Дорожня карта розвитку біоенергетики України до 2050 року. *Теплофізика та теплоенергетика*, 2020, т.42, №2, с. 60-67.
9. Гелетука Г.Г., Желєзна Т.А., Олійник Є.М. Перспективи виробництва теплової енергії з біомаси в Україні. *Промислова теплотехніка*. 2013. Т.35, №35. С. 67-72.
10. Гігієнічні регламенти орієнтовно безпечних рівнів впливу хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць. Наказ

міністерство охорони здоров'я України 14 січня 2020 року № 52. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0157-20#Text>.

11. Голюк Ю.В. Фізіологія рослин. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт студентами денної форми навчання факультету агрономії та лісівництва галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство», спеціальності 202 «Захист і карантин рослин», освітнього ступеня «Бакалавр». Вінниця: ВНАУ, 2019, 68 с.
12. Господаренко Г.М. Агрохімія: підручник, Київ: ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2018. 560 с.
13. Державні медико-санітарні нормативи. Гранично допустимі концентрації хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць. Наказ Міністерства охорони здоров'я України 10 травня 2024 року № 813. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0763-24#n9>.
14. ДСТУ 4462.3.01:2006 Охорона природи. Поводження з відходами. Порядок здійснення операцій [Чинний від 01.07.2007]. Київ: Держспоживстандарт України, 2008.
15. ДСТУ EN 14588:2013 Біопаливо тверде. Терміни та визначення понять (EN 14588:2010, IDT) [Чинний від 01.10.2014]. Київ: Мінекономрозвитку України, 2015.
16. Дубровін В.О. Розвиток технологій використання рослинницької продукції на енергетичні потреби в Україні. *Аграрна наука і освіта*. 2004. Т.5. № 1-2. С.86–91.
17. Енергетичний баланс України за 2020 рік (продуктовий). Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/>.
18. Закон України «Про управління відходами» від 20.06.2022 р, №2320-IX. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2023, № 17, ст.75.
19. Закон України «Про забезпечення санітарного й епідемічного благополуччя населення» від 24.02.1994 року №4004–XII.

20. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 р. №1264. Відомості Верховної Ради України , 1991, № 41, ст.546.
21. Закон України «Про охорону праці» № 2694-XII від 14.10.1992. Відомості Верховної Ради (ВВР), 1992, № 49, ст.668.
22. Зелений світ. URL: <https://zelensvit.com/ua/p592429301-udobrenie-organo-mineralnoe.html>.
23. Караїв О.А. Технологічні основи безвідходних виробництв. Луцьк: Вежа друк. 2014. 88 с.
24. Комплексне перероблення рослинної сировини: Комплексна хімічна переробка деревини: навч. посіб. / В.В. Галиш, О.В. Ященко, І.В. Трембус. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 104 с.
25. Концепція «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року. URL: <https://menr.gov.ua/news/34424.html>.
26. Крамар В.Г. Обґрунтування напрямів утилізації золи від спалювання біомаси. Зола біомаси як добриво в сільському господарстві. Аналітична записка UABIO № 27. Київ: Біоенергетична асоціація України, 2020. 75 с.
27. Крамар В.Г. Очищення димових газів і поводження з золою. ТОВ НТЦ «Біомаса», Біоенергетична асоціація України. URL: <https://uabio.org>.
28. Крамар В.Г. Проблеми утилізації золи від котельних на біомасі в Україні. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2021, Т. 43, №3. С. 71–77.
29. Мандро Ю., Вінічук М. Деревний попіл як засіб зниження переходу ^{137}Cs із ґрунту в рослини горобини звичайної (*Sorbus aucuparia* L.) та крушини ламкої (*Rhamnus frangula* L.) в лісових екосистемах Полісся України. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету ім. Лесі Українки / Східноєвроп. нац. ун-т ім. Лесі Українки: Серія : Біологічні науки*. 2015. С. 19-25.
30. Методичні вказівки для практичної роботи з дисципліни: «Очистка та рекуперація промислових викидів підприємств переробки рослинної сировини» для магістрів денної і заочної форми навчання, галузі знань 16 –

- «Хімічна та біоінженерія», спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології переробки деревини та рослинної сировини» / Укл. Бугрим М.В. Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2016. 36 с.
31. Мирошниченко М.М. Дев'ять наближень сучасної системи удобрення сільськогосподарських культур. ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», 2018. 24 с.
32. Правила охорони праці в сільськогосподарському виробництві. Наказ Міністерства соціальної політики України 29.08.2018 № 1240. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1090-18#Text>.
33. Природоохоронні технології. Навчальний посібник. Ч.2 : Методи очищення стічних вод / [Петрук В. Г., Северин Л. І., Васильківський І. В., Безвозюк І. І.] Вінниця : ВНТУ, 2014. 258 с.
34. Про затвердження Порядку класифікації відходів та Національного переліку відходів. Постанова Кабінету Міністрів України від 20.10.2023 № 1102. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1102-2023-%D0%BF#Text>.
35. Яковлев Є.О., Якушенко Л.М. Еколого-ресурсні фактори сучасного природокористування та їх зв'язок з національною безпекою України. *Екологія та промисловість*. 2009. № 3 (20). С. 9–12.
36. Adekayode F.Q., Olojugba M.R. The utilization of wood ash as manure to reduce the use of mineral fertilizer for improved performance of maize (*Zea mays* L.) as measured in the chlorophyll content and grain yield. *Journal of Soil Science and Environmental*. 2010. Vol. 1, N 3. pp. 40-45.
37. Amin, M.S., Ariyanto S, E., Erwanto, Z. and Purwanto, A. (2019) Pengaruh Limbah Asbes Dan Fly Ash Dalam Pembuatan Kusen Beton. *Jurnal Poli-Teknologi*, Politeknik Negeri Jakarta, 18.
38. Ajorloo, M., Ghodrat, M., Scott, J. and Strezov, V. (2022) Heavy Metals Removal/Stabilization from Municipal Solid Waste Incineration Fly Ash: A Review and Recent Trends. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, Springer, 24, 1693–1717.

39. Barbosa, R.; Lapa, N.; Dias, D.; Mendes, B. Concretes Containing Biomass Ashes: Mechanical, Chemical, and Ecotoxic Performances. *Constr. Build. Mater.* 2013, 48, 457–463.
40. Berra, M.; Mangialardi, T.; Paolini, A.E. Reuse of Woody Biomass Fly Ash in Cement-Based Materials. *Constr. Build. Mater.* **2015**, 76, 286–296.
41. Biedermann, F., Obernberger I. Fractionated heavy metal separation in biomass combustion plants – possibilities, technology, experiences and new approaches, In: Proceedings of the 10th European Bioenergy Conference, June 1998, Wurzburg, Germany, C.A.R.M.E.N. (ed.), Rimpf, Germany, 1998, pp. 235-241.
42. Biomass Ash – Definition & Detailed Explanation – Biomass Energy Glossary Terms. URL: <https://cleanenergybusinesscouncil.com/biomass-energy-glossary/biomass-ash/>.
43. Brandtberg P-O., Olsson B., Arvidson H. Effects of wood ash, green residues and N-free fertiliser on naturally regenerated birch and field vegetation in a young Norway spruce stand in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2021. Vol. 36, N 5. pp. 364-373.
44. Capasso, I., Lirer, S., Flora, A., Ferone, C., Cioffi, R., Caputo, D. and Liguori, B. (2019) Reuse of Mining Waste as Aggregates in Fly Ash-Based Geopolymers. *Journal of Cleaner Production*, Elsevier, 220, 65–73.
45. Carević, I.; Serdar, M.; Štirmer, N.; Ukrainczyk, N. Preliminary Screening of Wood Biomass Ashes for Partial Resources Replacements in Cementitious Materials. *J. Clean. Prod.* 2019, 229, 1045–1064.
46. Freire M., Lopes H., Tarelho L.A.C., Critical aspects of biomass ashes utilization in soils: Composition, leachability, PAH and PCDD/F, *Waste Management*. 2015. Vol. 46. P. 304-315,
47. Eliche-Quesada, D.; Felipe-Sesé, M.A.; Fuentes-Sánchez, M.J. Biomass Bottom Ash Waste and By-Products of the Acetylene Industry as Raw Materials for Unfired Bricks. *J. Build. Eng.* 2021, 38, 102191.

48. International Energy Agency (IEA). IEA Energy Technology Essentials ETE03: Biomass for Power Generation and CHP. 2007. Available online: <http://www.iea.org/techno/essentials3.pdf>.
49. Kalemekiewicz J, Galas D, Sitarz-Palczak E. The Physicochemical Properties and Composition of Biomass Ash and Evaluating Directions of its Applications. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2018; 27(6).
50. Lazdina D., Bebre I., Dumins K. Wood ash – Green energy production side product as fertilizer for vigorous forest plantations // *Agronomy Research*. 2017. Vol. 15, N 2. pp. 125-129.
51. Li, G., Zhou, C., Ahmad, W., Usanova, K.I., Karelina, M., Mohamed, A.M. and Khallaf, R. (2022) Fly Ash Application as Supplementary Cementitious Material: A Review. *Materials*, MDPI, 15.
52. Mandre M. Influence of wood ash on soil chemical composition and biochemical parameters of young Scots pine. *Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. Ecol.* 2006. Vol. 55, N 2. pp. 91-107.
53. Maschowski C, Kruspan P, Garra P, Arif AT, Trouvé G, Gieré R. Physicochemical and mineralogical characterization of biomass ash from different power plants in the Upper Rhine Region. *Fuel (Lond)*. 2019 Dec 15;258:116020.
54. Moilanen M., Silfverberg K., Hokka H. Wood ash as a fertilizer on drained mires - Growth and foliar nutrients of Scots pine. *Canadian Journal of Forest Research*. 2011. Vol. 35, N 11. pp. 2734-2742
55. Ochevova P., Mercl F., Kosnar Z. Fertilization efficiency of wood ash pellets amended by gypsum and superphosphate in the ryegrass growth // *Plant Oil Environ*. 2017. Vol. 63, N 2. pp. 47-54.
56. Odziejewicz, J.I.; Wołejko, E.; Wydro, U.; Wasił, M.; Jabłońska-Trypuć, A. Utilization of Ashes from Biomass Combustion. *Energies*. 2022, 15, 9653. <https://doi.org/10.3390/en15249653>.
57. Options for increased use of ash from biomass combustion and co-firing. IEA Bioenergy Task 32. 2018.

58. Pitman R. Wood Ash use in forestry A Review of the Environmental Impacts.
URL: https://cdn.forestresearch.gov.uk/2022/02/use_of_ash_in_forestry-1.pdf.
59. Recycling of biomass ashes in crop production. Editors: Insam, Heribert, Knapp, Brigitte A. (Eds.) Springer. 2011, VIII, 164 p.
60. Romero, E.; Quirantes, M.; Nogales, R. Characterization of Biomass Ashes Produced at Different Temperatures from Olive-Oil-Industry and Greenhouse Vegetable Wastes. *Fuel*, 2017, 208, 1–9.
61. Secondary Resources Generated in the Field of Thermal Energy.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=42592964>.
62. Schiemenz K., Eichler-Lobermann K. Biomass ashes and their phosphorus fertilizing effect on different crops // Nutrient Cycling in Agroecosystems. 2010. Vol. 87, N 3. pp. 471-482.
63. Schlupp F., Page J., Djelal C., Libessart L. Use of Biomass Bottom Ash as an Alternative Solution to Natural Aggregates in Concrete Applications: A Review. *Materials*, 2024, 17, 4504.
64. Shi, R.; Li, J.; Jiang, J.; Mehmood, K.; Liu, Y.; Xu, R.; Qian, W. Characteristics of Biomass Ashes from Different Materials and Their Ameliorative Effects on Acid Soils. *J. Environ. Sci.* 2017, 55, 294–302.
65. Siwila, S. and Kapesa, E. (2022) Treatment of Domestic Greywater Using Fly Ash as an Adsorbent Incorporated in a Slow Sand Filtration System. *Water Practice and Technology*, IWA Publishing, 17, 961–973.
66. Štirmer, N., Carević. I. Utilization of Wood Biomass Ash in Concrete Industry'. *Biomass, Biorefineries and Bioeconomy*, IntechOpen, 28 Sept. 2022. Crossref, 102549.
67. Supancic, K., Obernberger, I., Kienzl, N., & Arich, A. (2014). Conversion and leaching characteristics of biomass ashes during outdoor storage - results of laboratory tests. *Biomass & Bioenergy*, 61, 214-226.
68. Vig, N., Mor, S. and Ravindra, K. (2023) The Multiple Value Characteristics of Fly Ash from Indian Coal Thermal Power Plants: A Review. *Environmental*

Monitoring and Assessment, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 195.

69. Waławowicz, R. The effect of ashes from biomass combustion on infection of spring wheat by *Gaeumannomyces graminis*. *Prog. Plant Prot.* 2012, 2, 52.
70. Wierzbowska J., Sieniewicz S., Zarczynski P. Environmental Application of Ash from Incinerated Biomass. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, N 4. pp. 482-486.
71. Yao, X., Xu, K., and Liang, Y. Comparative analysis of the physical and chemical properties of different biomass ashes produced from various combustion conditions. *BioRes.* 2017. 12(2), 3222-3235.