

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра екології та природоохоронних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

зі спеціальності 101 «Екологія»

Тема: «Екологічна безпека при утилізації відходів, що містять радіоелектронні складові»

Завідувач кафедри

Пляцук Л.Д.

_____ (підпис)

Керівник роботи

Яхненко О.М.
(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Консультант

з охорони праці

Васькін Р.А.

_____ (підпис)

Виконавець

студент групи ОС-81/1

Шалда О.С.
(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Суми 2022

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра екології та природозахисних технологій
Спеціальність 101 «Екологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою _____
“ ____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студенту

Шалда Олексій Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Група ОС-81/1

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Екологічна безпека при утилізації відходів, що містять радіоелектронні складові»
2. Вихідні дані до роботи: Закон України «Про відходи» від 05.03.1998 № 187/98-ВР та дані з зарубіжних та вітчизняних фахових видань.
3. Перелік обов'язково графічного матеріалу:
 1. Вміст вторинної сировини в радіоелектронних відходах
 2. Вплив відходів на навколишнє середовище
 3. Методи переробки радіоелектронних відходів
 4. Найбільш екологічні методи переробки та перешкоди у вирішенні утилізації ВЕЕО

4. Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	ТИЖНІ					
		1	2	3	4	5	6
1	Розділ 1	+					
2	Розділ 2		+				
3	Розділ 3			+			
4	Розділ 4				+		
5	Розділ 5					+	
6	Оформлення роботи						+

Дата видачі завдання 18 квітня 2022 року

Керівник _____
(підпис)

ст. викладач, к.т.н. Яхненко О.М.
(посада, прізвище)

РЕФЕРАТ

Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра. Робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, переліку джерел посилання, який містить 22 найменування. Загальний обсяг бакалаврської роботи становить 51 с., у тому числі 4 таблиці, 4 рисунки, перелік джерел посилання 3 сторінки.

Мета роботи – визначення екологічнобезпечних шляхів утилізації відходів, що містять радіоелектронні складові.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено та вирішено такі завдання:

- визначити перелік обладнання та вміст цінних металів та шкідливих речовин у відходах електронного та електричного обладнання та їх вплив на навколишнє середовище;
- визначити методи переробки радіоелектронних відходів;
- дати еколого-гігієнічну оцінку утилізації радіоелектронних відходів;
- визначити найоптимальніші методи переробки та утилізації відходів та перешкоди у вирішенні проблеми ВЕЕО.

Об'єкт дослідження – радіоелектронні компоненти

Предмет дослідження – екологічна безпека утилізації радіоелектронних компонентів.

У кваліфікаційній роботі наданий перелік радіоелектронних відходів, що містить в собі велику кількість як вторинної сировини так і токсичних речовин. Визначено методи переробки радіоелектронних відходів. Визначений вплив токсичних речовин, що потрапляють в навколишнє середовище з радіоелектронних відходів. Запропоновано найкращі методи утилізації відходів електронного та електричного обладнання. Надані рекомендації, що до вирішення проблем у сфері утилізації радіоелектронних відходів.

Ключові слова: ВІДХОДИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТА ЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ, ВИКИДИ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН, ВАЖКІ МЕТАЛИ, МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ ВЕЕО

ВСТУП

Протягом недавнього минулого світовий ринок електричного та електронного обладнання (ЕЕО) зріс в геометричній прогресії, а термін служби цих виробів став більш коротшим, і як наслідок, все більше цих продуктів потрапляє на смітники та центри переробки.

Найбільшу частку відходів електронного обладнання становлять: мобільні телефони, ноутбуки, комп'ютери, РК монітори, лампи, телевізори та побутова техніка. Щороку у смітті опиняється 300 тонн золота – 11% річного світового видобутку. «У тонні мобільних телефонів золота у 100 разів більше, ніж у тонні золотої руди», - такі дані дає Рюдігер Куер, директор програми ООН у сфері стійкого розвитку.

Актуальність роботи. Шалені темпи зростання кількості відходів електронного та електричного обладнання це значна проблема не тільки для України, а і для всього світу. Швидкий темп розвитку технологій, зміна дизайну, поява нових функцій, а особливо скорочення життєвого циклу продукту прискорює вилучення із використання споживачем його застарілих приладів і перетворення їх на відходи, утилізація яких є актуальним питанням у контексті сталого розвитку країни. ВЕЕО складаються з різних компонентів (мідь, срібло, золото, платина та інші), а також низки токсичних речовин (кадмій, свинець, ртуть, хром та інші), які здатні забруднити НС та нанести значну шкоду не тільки здоров'ю людей, а і екосистемі планети в цілому, якщо не будуть належним чином перероблені.

Мета роботи – визначення екологічно безпечних шляхів утилізації відходів, що містять радіоелектронні складові

Задачі дослідження:

- визначити перелік обладнання, що містить радіоелектронні складові;
- визначити вміст цінних металів та шкідливих речовин у відходах

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

6

Вилучення металів із відходів електричного та електронного обладнання починається з ручного демонтажу різних пристроїв і їх сортування.

Таблиця 1.2 – Відсоток повторного використання матеріалів [1]

№	Матеріал	Відсоток можливого повторного використання
1	Метал	На 100% підлягає вторинній переробці: кольорові метали, в основному алюміній і мідь. Чорні метали, такі як сталь і залізо, також можна використовувати повторно.
2	Скло	На 100% підлягає вторинній переробці: найкращим варіантом є «скло до скла», щоб зробити матеріал для нових труб або виробів зі скла на основі свинцю, або для використання в кераміці. Крім того, свинець витягується шляхом плавки та повторно використовується.
3	Пластик	На 100% підлягає вторинній переробці: комп'ютери, як правило, містять поліпропілен, АБС-пластик або змішану смолу, таку як АБС/полікарбонат або полістирол, які можна повторно використати як упаковку, текстиль тощо.
4	ПВХ	Можлива переробка: висока вартість переробки зазвичай означає, що ПВХ відправляється на сміттєзвалище.
5	Скловолокно	Не підлягає переробці: використовуваний тип матеріалу просочений або покритий антипіреном, який часто є токсичним. Під час використання він стає крихким, що робить його непридатним для повторного використання.
6	Друкована плата	Підлягає переробці: вони містять такі матеріали, як золото, срібло та паладій, які можна відновити та використати повторно. У більшості випадків пластик не можна переробити, оскільки під час переробки частинки зменшуються до невеликого розміру.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

11

РОЗДІЛ 2 ВПЛИВ ВІДХОДІВ, ЩО МІСТЯТЬ РАДІОЕЛЕКТРОННІ СКЛАДОВІ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Загальною проблемою є забруднення навколишнього середовища, а найважливішими забруднювачами є важкі метали через притаманну їм токсичність, біоаккумуляцію, нерозкладність та стійкість.

Загалом, метали необхідні для здорового функціонування організму, де відіграють важливу роль у підтримці структури білків і ферментів.

Важкі метали визначаються як будь-який метал, який перевищує допустиму межу або присутній в організмі в небажаній кількості, що впливає на функціонування організму та призводить до його пошкодження, діючи як забруднювач. Забруднювачем стає будь-яка речовина в навколишньому середовищі, яка спричиняє несприятливі наслідки, погіршуючи добробут довкілля, знижуючи якість життя і в кінцевому підсумку може призвести до смерті. Відомо, що багато металів токсичні і при низьких концентраціях, наприклад свинець (Pb) і ртуть (Hg). Найпоширенішими забруднювачами серед важких металів є: арсен, хром, кадмій, купрум, меркурій, свинець, нікель та цинк. У списку важких металів свинець, ртуть і кадмій вважаються небезпечними для здоров'я населення [19].

2.1 Вплив на ґрунт

Негативний вплив металів залежить від властивостей ґрунту, в першу чергу від вмісту органічної речовини, вмісту глини та рН ґрунтового розчину. Метали впливають на ферментативну діяльність ґрунту, зміщуючи мікробну спільноту, яка зазвичай синтезує ферменти [18].

Метали виявляють токсичний вплив на біоту ґрунту, впливаючи на рух основних мікроорганізмів і зменшуючи кількість і активність ґрунтових

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

12

мікроорганізмів. І навпаки, довгостроковий вплив важких металів може підвищити стійкість бактеріальної спільноти та їх толерантність до грибів, таких як арбускулярні мікоризні гриби.

Загалом, збільшення концентрації металу негативно впливає на мікробні характеристики ґрунту, наприклад швидкість дихання, активність ферментів, що є корисними індикаторами забруднення ґрунту. Поглинання металів рослинами та подальше накопичення та передача по харчовому ланцюгу є потенційною загрозою для здоров'я тварин і людей.

Підвищений рівень Pb у ґрунтах може знижувати продуктивність ґрунту. Надмірна концентрація Pb може пригнічувати життєво важливі процеси рослин, такі як фотосинтез, мітоз і поглинання води, з токсичними симптомами темно-зеленого листя, в'янення старого листя, низькорослого листя та коротких коричневих коренів [18].

Метали є потенційно токсичними і фітотоксичними навіть може супроводжуватися зниженням поглинання поживних речовин, порушенням метаболізму рослин і зниженою здатністю фіксувати молекулярний азот у бобових рослинах. Токсична дія металів на ґрунт, живі організми та цілі екосистеми є довготривалою та викликає загибель корисних мікроорганізмів і рослин.

2.2 Вплив на водні організми

Забруднене важкими металами водне середовище негативно впливає на гідробіонти, призводить до наростання екологічних наслідків і становить загрозу не тільки живим організмам, що живуть у воді, але й для здоров'я людини.

Вплив важких металів на організми здійснюється як опосередковано, так і напряму. Як тільки водний організм накопичує метали, вони можуть передаватися по харчовому ланцюгу. Споживання риби, що містить підвищений вміст металів, викликає занепокоєння, оскільки хронічний вплив металів може викликати

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

13

Встановлено, що важкі метали мають токсичну, канцерогенну та мутагенну дію на організми, які прямо чи опосередковано піддаються впливу. Є припущення, що важкі метали порушують обмін речовин, іонний баланс і поділ клітин [19].

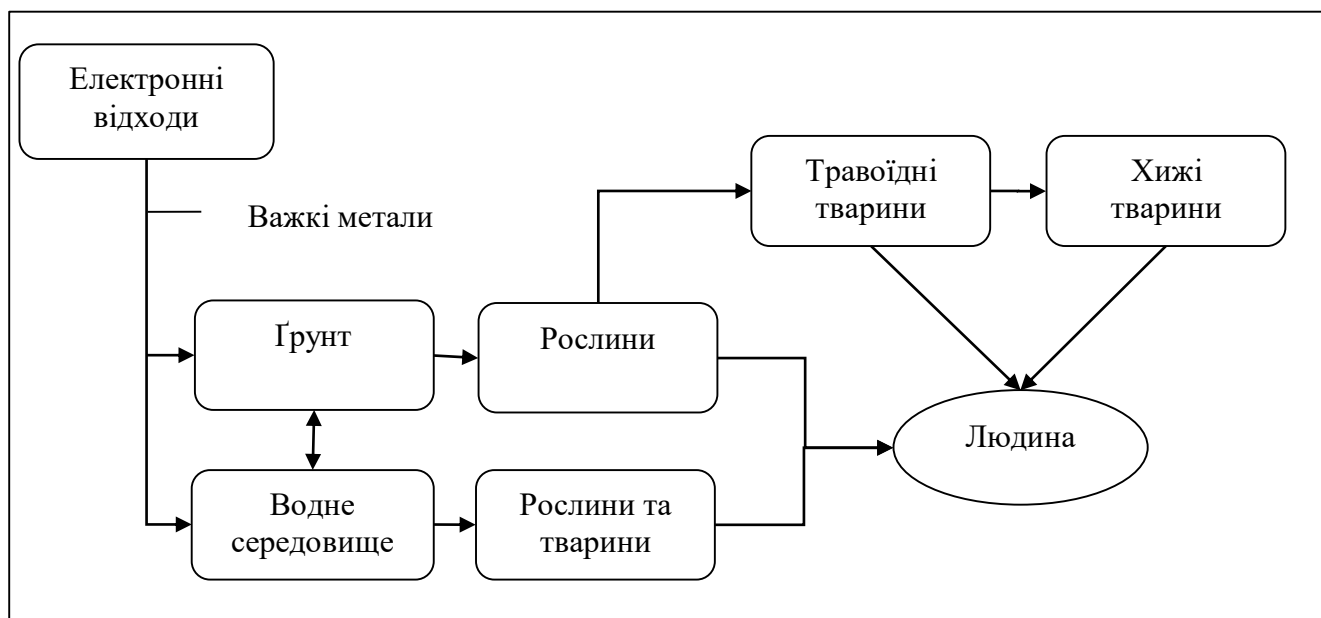


Рисунок 2.1 – Акумуляція та передача важких металів по харчовому ланцюгу

Вдихання парів або частинок кадмію небезпечно для життя, вплив може призвести до ураження нирок. Експерименти на тваринах показали, що кадмій може бути фактором ризику серцево-судинних захворювань [19].

Цинк вважається відносно нетоксичним, особливо при пероральному застосуванні, але надлишок може спричинити системні дисфункції, які погіршують ріст та розмноження. На відміну від міді та заліза, цинк не утворює вільних радикалів і має антиоксидантні властивості. Метали, що перевищують ці значення, спричиняють згубний вплив на тканини, а подальше збільшення також може призвести до смерті. Повідомлялося про клінічні ознаки токсичності цинку як діарея, кров із сечею, блювота, жовтяниця (жовта слизова оболонка), ниркова недостатність та анемія, печінкова недостатність.

Вважається, що свинець є фізіологічно та неврологічно токсичним для

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 18510158

Арк

15

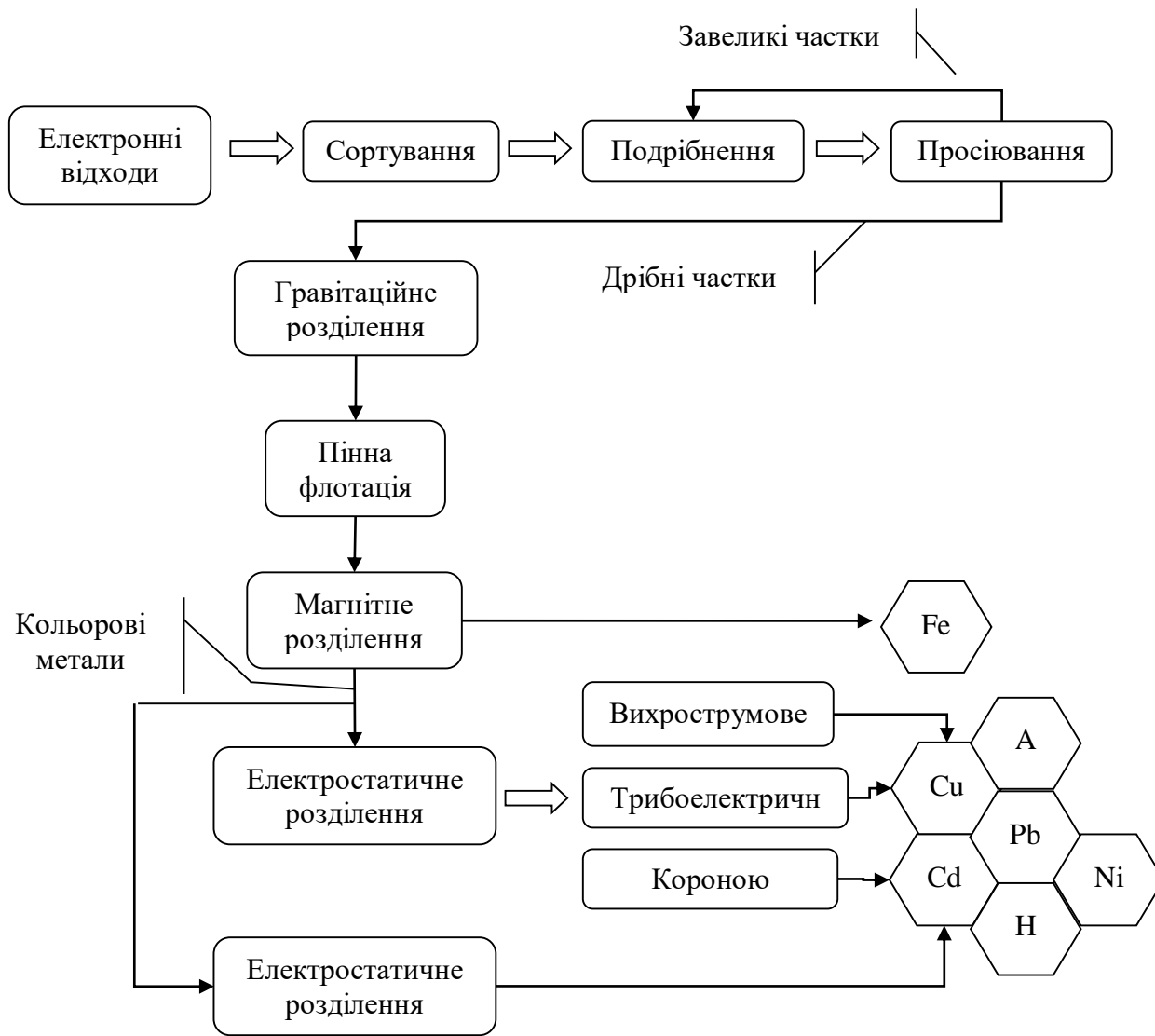


Рисунок 3.1 – Фізичні методи переробки металів з електронних відходів

В першу чергу цей метод використовується як метод попередньої обробки перед подальшою обробкою. Примітно, що іноді цей процес може забезпечити до 99% ефективності подрібнення. Деякі вирішальні кроки для фізичної переробки: розбирання, сортування, рубання, подрібнення, дроблення.

Ці етапи пов'язані з різними типами машин, такими як подрібнювач, попередній гранулятор і гранулятор під час фізичного процесу переробки [6].

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Таблиця 3.1 – Ефективність вилучення металів різними методами [6]

Метод вилучення	Переваги	Обмеження	Відновлення, %
Гравітаційне розділення	Простота експлуатації, низький капітал, експлуатаційні витрати та низький вуглецевий слід	Втрата цінних металів (10–35%)	<90
Магнітне розділення	Відмінний розділяючий ефект, легкий процес	Застосовується для магнітних частинок, агломерацій	83-92
Електростатичне розділення	Менше забруднюючих речовин, нижча потреба в енергії	Низька ефективність	50
Катодне електроосадження	Ефективне відновлення металу, відсутність вторинного забруднення	Спеціально застосовується для відновлення Cu	>95
Пінна флотація	Економічний, широкий діапазон розмірів частинок і менший викид пилу	Залежить від гідрофобності частинок	80
Прометалургійний метод	Електронний брухт можна легко використовувати як сировину на плавильних заводах для видобутку металу	Важко контролювати потік продукту, велике виробництво шлаку, невибірковість, ризик викиду токсичних речовин	>70
Технології надкритичної рідини (НР)	Високе вилучення металу, мінімальне забруднення НС	Дорого, критичні умови, корозія та відкладення солей	>95
Біологічний метод	Низькі експлуатаційні витрати, порівняно висока ефективність детоксикації стоків	Низька ефективність та час біовилуговування	60-95
Гібридний метод	Вища ефективність екстракції, використовуються сильні ліганди, які можна використовувати повторно	Забирає багато часу	>90

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

3.1.1 Сортування

Сортування — це будь-яке систематичне розташування елементів, яке має два окремих значення, тобто категоризація та групування об'єктів зі схожими властивостями в послідовності, впорядкованій за певним критерієм.

Електронне обладнання в основному виготовляється з 27% полімеру, 28% кераміки і 45% металів, які підлягають переробці [6]. Мідь, олово, золото, срібло, паладій та інші цінні метали складають більшість ВДП, причому на мідь припадає понад 20%. Вміст дорогоцінних металів у ВДП значно вищий, ніж у сирій руді. У результаті дуже важливо досягти ефективної та екологічно чистої переробки ВДП [6].

Обробка електронних відходів включає як ручні, так і автоматизовані процеси сортування, коли ручні процеси використовуються в країнах, що розвиваються, а автоматизовані процеси використовуються в розвинених країнах. Нині для сортування електронних відходів також використовуються розроблені технології, такі як інтелектуальне сортувальне обладнання, датчики контурного зору, а також роботизовані технології [6,11]. Однак сортування є основним етапом процесом добування металу і є необхідною частиною всіх процесів.

3.1.2 Подрібнення та дроблення

Зняття металів з базових пластин відпрацьованих друкованих плат (ДП) є основною функцією подрібнення або дроблення.

Усі способи дроблення пов'язані з двома факторами: споживанням енергії дробильним обладнанням та ефективністю вилучення металу.

ДП містять смоли (посилену) і металеві частини (наприклад, металеві з'єднання та дроти). Для кращого вилучення металів з електронних відходів (наприклад, ДП) необхідною умовою є подрібнення (зменшення розміру) відходів через їх твердість і високу міцність.

Використовуються різні типи дробарки, наприклад: молоткова дробарка, роторна дробарка, дискова дробарка, подрібнювач, різак, оснащений нижнім

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

21

СИТОМ.

Однак подрібнювач — це ще один механічний пристрій, який використовується для зменшення розмірів матеріалу шляхом різання, розриву та екструдуювання. Діаметр лез подрібнювача коливається від 200 до 400 мм і широко використовується для переробки електронних відходів [6].

Подрібнення відходів, як попередник просіювання корисне з двох причин: зменшення розміру відходів для їх подальшого ефективного вилучення з них вторинної сировини і полегшення наступного транспортування.

3.1.3 Техніка просіювання

Процес відділення дрібних частинок від більших частинок за допомогою сита називається просіюванням. Відповідно до розміру частинок у процесі поділу використовуються різні типи сит для класифікації частинок різного розміру.

Для відновлення металів широко використовуються обертові грохоти або траверси, які вважаються основними методами просіювання при видобутку металів [6]. Однак цей пристрій використовується у різних галузях таких як переробка автомобільного брухту та переробка твердих побутових відходів. Цей процес необхідний для розділення, оскільки пластмаси, кераміка та різні метали мають різний розмір і форму частинок.

Цей метод також є дуже поширеним і дуже попереднім методом вилучення для поділу та класифікації електронних відходів на основі їх джерел.

3.1.4 Гравітаційне розділення

Різні метали мають різну специфічну щільність, і на основі цієї властивості працює метод гравітаційного поділу. Ця техніка має приблизно 95% ефективність розділення металів [6].

У цьому методі метали поділяються відповідно до їх питомої ваги та відносного руху за силою тяжіння. Крім того, ця техніка також залежить від розміру частинки. Метали можна відокремити від пластмас за допомогою різних важких рідин. Частинки різних металів можуть бути додатково розділені.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

22

Використовуючи концентратор Мозлі, можна витягувати значні кількості металів, таких як Ni (концентрація 96%), Cu (концентрація 85%), Sn (концентрація 95%) та Ag (концентрація 98%), у фракціях, що цікавлять [6].

Інший метод називається методом класифікації повітря, заснований на суспензії частинок у потоці повітря, що рухається. Частинки поділяються на основі різниці в щільності. У цьому методі частинки, які діють у протилежних напрямках, відчувають переважно дві сили: тяжіння та сили опору. Сила опору переважає силу тяжіння, коли щільність частинки нижча, в результаті чого частинка рухається вниз, а з іншого боку, більша щільність частинок призводить до домінування сили опору, яка рухає частинки вгору.

Зараз способи поділу на щільність є поширеною технікою в промисловості з переробки корисних копалин та у промисловості з переробки електронного брухту, оскільки електронний брухт складається в основному з пластмас, з щільністю менш як $2,0 \text{ г/см}^3$; легкі метали (густина $2,7 \text{ г/см}^3$), метали (наприклад, Pb, Cu, Sn, Ni, Au, Ag, Cu) і феромагнітні (густина більш як 7 г/см^3) [6]. Відрізок друкованих плат $\sim 50\%$ (маси), в першу чергу пластмаси. Основними недоліками цієї методики є одночасна різниця в розмірі та щільності частинок [6].

3.1.5 Магнітне розділення

Для відділення магнітних частинок від немагнітних використовуються методи магнітної сепарації. Барабанні сепаратори низької інтенсивності дуже популярні в техніках магнітної сепарації для вилучення феромагнітних металів з кольорових металів та інших немагнітних електронних відходів [6].

Процедури проєктування та експлуатації показують багато переваг за останні десятиліття для високоінтенсивних магнітних сепараторів. Однією з основних причин цих переваг є постійні магніти з рідкоземельних сплавів, які створюють дуже високу силу магнітного поля для розділення.

Використовуючи метод магнітної сепарації при вилученні металів з електронних відходів, можна отримати дві фракції, такі як:

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

23

- магнітна фракція, сконцентрована з Fe;
- немагнітна фракція, сконцентрована з Cu [6].

Магнітний сепаратор є найбільш надійною машиною, яка використовується для поділу металу на магнітну та немагнітну фракцію з відходів. Він відомий легким процесом поділу для відокремлення дрібних частинок, які мають погані магнітні властивості та забезпечує чудовий ефект відокремлення, оскільки використовує динамічну конструкцію магнітної системи.

3.1.6 Електростатичне розділення

При електростатичному розділенні матеріали розділяються на основі їх електропровідності або питомого опору. На основі електричної провідності існує багато методів поділу металів, таких як:

- електростатичне розділення короною;
- трибоелектричне розділення;
- поділ на вихрових струмах.

Існує великий вплив електродної системи, швидкості ротора, вмісту вологи та розміру частинок на ефективність методу електростатичного поділу короною. Зараз короно-електростатичний метод є одним з найефективніших методів для поділу металевих і неметалевих частинок [6].

Основними перевагами цього методу є екологічно чистий процес, відсутність утворення стічних вод та відсутність газоподібних забруднень.

Ефективність поділу в основному залежить від таких факторів, як різниця в полярності та кількість заряду, отриманого частинками, які потрібно розділити. Частинки, що мають значну різницю в електропровідності, також можуть бути успішно розділені за допомогою техніки коронного розділення. Ефективність (0,5–1,0 т/год) поділу корони зменшується зі збільшенням розміру частинок [6].

Для поділу металів, що мають однакові провідні властивості, найбільш корисними є такі методи, як контактна зарядка або трибоелектрика. Вихрострумове розділення — це екологічно чистий метод виділення частинок

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

24

кольорових металів розміром від 2 до 10 мм [6].

Поділ на вихрові струми є більш вигідним, ніж метод поділу коронним розрядом, оскільки цей метод можна використовувати як для малих, так і для великих частинок. Як правило, швидкість поділу вихрострумового сепаратора становить понад 95% [6].

Суміш чорних і кольорових металів і сумішей пластмас і металів розділяється за допомогою магнітного поля та вихрового струму. Різні сили, такі як гравітаційна сила, відцентрова сила, сила тертя та магнітна сила деформації, головним чином впливають на вільне падіння металевих частинок. З іншого боку, лише магнітна сила ушкоджує частинки заліза більшою мірою, що є основним принципом роботи методу вихрового поділу [12].

Більшість методів електростатичного розділення сумісні лише з частинками невеликого розміру. Встановлено, що дрібні частинки розміром від 0,6 до 1,2 мм є найбільш сумісним розміром, який використовується в промисловості [6].

Методи електростатичного поділу є більш вигідними, ніж інші фізичні методи та значно менше впливають на забруднення навколишнього середовища, потребують енергії для переробки та значно легші в експлуатації.

3.1.7 Катодне електроосадження

Метод електроосадження – це осадження розчиненої або суспендованої речовини електричним струмом на поверхні електрода. Споживання енергії (~60%) і потреба в розчинниках також низька [13].

Цей метод також є екологічно чистим процесом. Принцип електроосадження простий. Використовуваний тут електрохімічний елемент який складається з анода і катода. При застосуванні зовнішнього потенціалу іони металу електроосаджуються на катоді.

Різні сплави або композити на основі металів використовуються як анодні матеріали, а титанові пластини, мідь і нержавіюча сталь використовуються як катодні матеріали [6].

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

25

У цьому процесі Al, Ni, Cu, Pb, Ag, Pd та інші метали можуть бути перероблені зі шламу ДП з ефективністю відновлення понад 95% [14]. Крім того, високочистий металевий порошок можна виробляти, керуючи різними параметрами, такими як добавки, контроль електроліту та електроліз [14].

Комбінація гідрометалургійного та методу електроосадження широко використовується для відновлення міді з ДП [14]. Прямі металеві обрізки друкованих плат використовувалися як анод, а мідь з чистотою 99% була катодом, в підсумку, чистота відновленої міді була майже максимальною (99,56%) [6]. Мідь і золото були ефективно вилучені з ЦП з ефективністю відновлення 96,67% і 95,73% відповідно [6].

Іншим методом електроосадження є електроліз шламу. За допомогою цього методу можна відновити різні метали з ВДП, такі як Cu, Ag, Ni та Al, з ефективністю понад 95% [6].

Метод електроосадження є високоселективним, екологічним (без вторинного забруднення), ефективним методом відновлення металу в порівнянні зі звичайними методами.

3.1.8 Пінна флотація

Пінна флотація — це процес селективного поділу, заснований на гідрофобності та гідрофільності матеріалу. У цій техніці частинки, що представляють інтерес, фізично відокремлюються від рідкої фази через різницю в здатності бульбашок повітря селективно прилипати до поверхні частинок на основі їх гідрофобності.

Цей процес має деякі специфічні переваги, такі як економічна ефективність, широкий діапазон різних розмірів частинок і менші викиди пилу та забруднюючих речовин [6].

Матеріали, що містяться в подрібнених електронних відходах, мають кілька різних характеристик поверхні, таких як гідрофобність і гідрофільність. Ці характеристики поверхні дозволяють здійснювати вибіркоче змочування

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

26

були значно покращені з урахуванням максимального вилучення металів і мінімального забруднення. Зараз мідні та свинцеві заводи працюють як переробники електронних відходів для відновлення свинцю та міді [10].

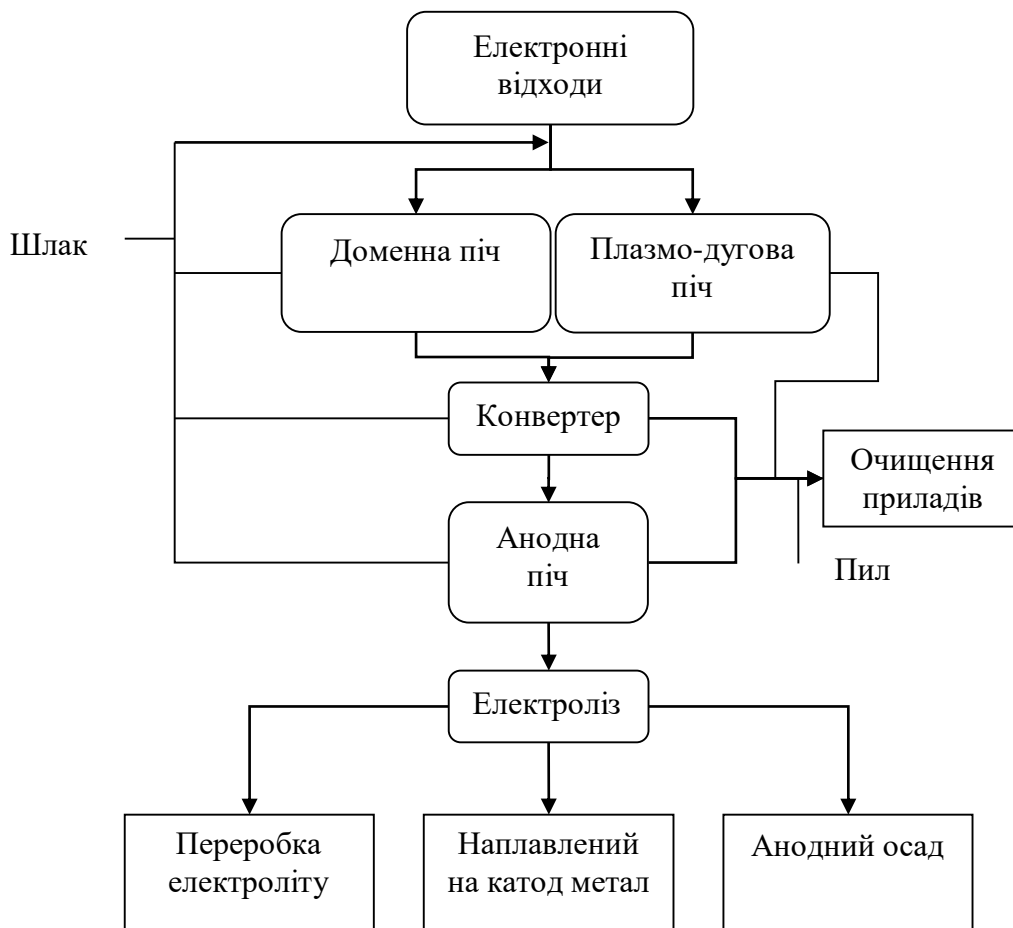


Рисунок 3.2 – Схема вилучення металів пілометалургійним методом

Матеріали, що надходять у реактор, занурюються у ванну з розплавленим металом (1250 °С), яка збивається сумішшю надувального повітря (до 39% кисню), відомий як процес плавки [6].

При відновленні Cu з електронних відходів за допомогою цього процесу деякі дорогоцінні метали з Cu та сульфідом заліза утворювали рідкий штейн, тоді як інші сульфідні метали окислюються до оксидів металів і утворюють шлак [6]. У процесі перетворення вищевказаний штейн додатково окислюється і утворюється нечиста блистерна мідна рідина [6]. Коли вміст Cu оновлюється в

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 18510158

Арк

28

як нітрлотриоцтова кислота разом з оксалатом, діетилентриамін пентаацетатом, тартратом і цитратом [6].

Як хелатуючий агент діетилентриамін пентаоцтова кислота (ДЕПО) також популярна при видобутку металів з електронних відходів. З даною ДЕПО, близько 98% Cu та Ni, 95% Zn було відновлено шляхом хімічного осадження фільтрату [16]. Широкий спектр неорганічних кислот (наприклад, сірчана кислота, соляна кислота, царська вода та розчин H_2SO_4 і HNO_3) також можна використовувати для хімічного вимивання металів з електронних відходів [6].

Поряд з кислотою або лугом, гіпохлорит натрію також може використовуватися для вилучення дорогоцінних металів, таких як золото.

Розчинник для іонних рідин – це ще одна гідрометалургійна технологія, яка використовує нетоксичні органічні солі для вилучення переважно рідкоземельних металів і працює краще, ніж традиційний процес екстракції розчинником. Цей підхід має більш швидкий час вилуговування, ніж інші методи екстракції, і він краще працює в кислому середовищі. У цьому випадку високотемпературні розплавлені солі використовуються для електровилуговування таких металів, як Li, Ti, Na, Al, Cu, Zn, Pb, Fe, Au та Ag [6,17]. Крім того, різні рідкоземельні метали також можуть бути відновлені за допомогою іонних рідин.

Гідрометалургійне вилучення металів із ВДП складається з різних етапів. Цей процес має високу потужність вилучення металів (90–99,9%), але також має деякі обмеження, такі як повільність та трудомісткість у порівнянні з іншими методами (хімічні та пірометалургійні методи), попередня обробка, що призводить до втрати цінних металів (таблиця 2.1). Крім того, необхідно підтримувати високі стандарти безпеки, оскільки використовуються різні фільтрати, що є дуже токсичними та корозійними [6].

3.3.1 Технології надкритичної рідини (НР)

Надкритична рідина (НР) одержується, коли температура і тиск вищі за критичний стан з привабливими властивостями, включаючи газоподібну

Підп. і дата					ОС 18510158	Арк
						30
Взаєм. інв. №						
Взаєм. інв. №						
Підп. і дата						
Інв. Непопл.						
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат		

дифузійність, селективність і регульовану розчинність. Завдяки властивостям та екологічно чистій поведінці.

В основному, надкритичну обробку водою та надкритичну обробку CO₂ використовують як високореакційне середовище для обробки електронних відходів [6].

Існують в основному дві поширені технології, екстракція НР та окислення НР, які використовуються для обробки електронних відходів. Серед них в основному використовується процес екстракції НР через його властивості, такі як висока щільність, низька в'язкість, різноманітна діелектрична проникність, пов'язана з тиском, і високий масообмін. Але ефективність процесу екстракції в основному залежить від використовуваних для відновлення лігандів і кислот. Цей процес має можливість відновлення як металів, так і органічних молекул; з іншого боку, окислення НР використовується лише для деградації органічних молекул [6].

3.3.2 Надкритична обробка водою (НОВ)

Надкритична обробка вода є простою, доступною, нетоксичною та дешевою, ніж усі технології НР, яким необхідний водень та гідроксильні іони як каталізатор реакцій [6].

Технологія НОВ в основному відокремлює органічні частини від електронних відходів і використовується як попередня обробка, щоб збільшити відсоток відновлення з електронних відходів. Додавання пероксиду водню в НОВ посилює органічний розпад до 100% [6].

Ось чому поєднання НР з іншими процесами дає кращу ефективність. Щоб вилучити метал із відпрацьованих схем електричних плат, використовували надкритичну воду як попередню обробку разом із кислотним вилуговуванням. Окислення процесу НОВ перед йодним вилуговуванням дозволило отримати дорогоцінні метали 99% Ag, 98,5% Au та 97,2% Pd при оптимальній температурі та тиску [6].

У поєднанні з розведеною кислотою HCl, процес НОВ збільшує вилучення

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

31

металів з ДП, де НОВ допомагає розчинити органічні частини, щоб тоді кислотне вилуговування було більш ефективним при вилученні металу. Як при надкритичному окисненні води, так і при надкритичній деполімеризації води було відновлено 99,8% Cu та 90% інших металів (наприклад, Sn, Zn, Cd, Cr та Mn), але потребувала високої температури [6]. Шляхом НОВ було вилучено 95% кобальту і майже 98% літію з літій-іонної батареї [6].

Хоча НОВ має багато переваг, ніж інші, він має високу надкритичну точку та низький відсоток відновлення металу. Ось чому дослідники пропонують НОВ як попередню обробку відновленого металу з електронних відходів для кращої продуктивності.

3.3.3 Надкритична обробка вуглекислим газом (НОВГ)

Надкритична обробка вуглекислим газом є найбільш широко використовуваною технологією завдяки своїм величезним перевагам, таким як низька критична температура і тиск, низька вартість, доступність, нетоксичність та проста процедура. Він також має високу ефективність масообміну, ідеальне змішування з газоподібними реагентами та просте відділення від продукту після розгерметизації.

НОВГ має низьку критичну температуру і витягує 90% Cu з ДП при температурі 35–70 °C, тиску 70–100 бар і 20–60 хв [6]. Також має високе вилучення металу, ніж поляризований та неполяризований процес (без вуглекислого газу). Комбіновані дослідження надкритичного CO₂ з ацетоном та йодом при температурі 50 °C і тиску 30 МПа витягли з електронних відходів понад 93,7% Pd і 96,4% Ag [6]. Використання лігандів також підвищує ефективність вилучення металу.

3.3.4 Надкритичні органічні розчинники

Деякі органічні розчинники, такі як метанол, ацетон, діалкіламіди та ізопропанол, використовуються як надкритичний екстрагент у технології НР [6].

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

32

Завдяки знижувальній здатності надкритичних молекул метанолу, іони міді у вилюгованому розчині ВДП можуть бути відновлені до міді з нульовою валентністю без додавання будь-якого відновника [6].

Можливе відновлення до 96,8% Cu з ДП за допомогою надкритичного метанолу при оптимальній температурі 360 °С, тиску 28 МПа та часу витримки 10 хвилин [6]. При видобутку міді інші метали також були вилучені шляхом надкритичної обробки метанолом з електронних відходів. Cu (34%) Fe (7,9%), Sn (7,9%), Pb (6,3%), Zn (2,6%) і невелика кількість Ag і Au були виявлені у високих концентраціях у більшості твердих електронних відходів і відновлюється за допомогою надкритичного метанолу [6].

Нарешті, у порівнянні з традиційними процесами переробки, такими як піроліз і кислотне вилюговування, технології НР ефективні з високим рівнем вилучення металу і пропонують значні переваги для навколишнього середовища з мінімальним ризиком забруднення. Однак деякі технічні недоліки, такі як корозія та відкладення солей, економічна слабкість, експлуатаційні витрати та енергоспоживання обробки НР перевищують традиційні металургійні процеси, якими можна мінімізувати та більш ефективно видобувати метал з електронних відходів за допомогою гібридних технологій.

3.4 Біологічні методи

Багато галузей промисловості виявили великий інтерес до цієї нової технології, оскільки біометалургія може принести технологічний прорив не тільки для утилізації ВЕЕО, а і для інших галузей, насамперед гірничовидобувної.

Біологічні методи включають використання мікроорганізмів (наприклад, Thiobacilli sp, Pseudomonas sp, Aspergillus sp., Penicillium sp тощо), які мають здатність вилучення металів з електронних відходів. Замість хімічних реагентів для вилюговування використовуються різні мікроорганізми, найчастіше бактерії, що окиснюють залізо (Acidithiobacillus ferrooxidans) або бактерії, що окиснюють

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

33

сірку [6]. Такі методи доволі ефективні, бо дозволяють вилучати корисні елементи з субстрату, де кількість цих корисних елементів невелика й іншими методами не може бути вилучена.

3.5 Комбіновані методи

Комбінований метод є одним з найкращих та більш ефективним технологічним рішенням для відновлення металів з електронних відходів. Цей метод вимагає менше часу і має більшу ефективність екстракції. Хоча біологічне вилуговування є можливим методом економічної ефективності, іноді повне вилучення металу лише за допомогою біологічного підходу є складним і трудомістким. З іншого боку, хімічне вилуговування є переважно ефективнішим і швидким процесом, ніж інші процеси, хоча воно має деякі перешкоди.

Отже, об'єднання таких методів може дати кращі результати. Як гідро-, так і біогідрометалургійні технології гібридного вилучення металу мають значні переваги.

Інв.Неподл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

34

РОЗДІЛ 4 БІОЛОГІЧНІ ТА КОМБІНОВАНІ МЕТОДИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ, ЩО МІСТЯТЬ РАДІОЕЛЕКТРОННІ СКЛАДОВІ

В останнє десятиліття відновлення металів за допомогою процесу біологічної екстракції стало однією з популярних технологій.

При добуванні металів, зокрема з їхніх сульфурод, мікроорганізми є як ефективними, так і необхідними. У біологічному процесі для вилучення металу з електронних відходів використовуються різні типи мікроорганізмів, включаючи водорості, бактерії, дріжджі та гриби, які здатні активно накопичувати дорогоцінні метали.

Мікробне вилуговування Cu, Zn та Au можна легко здійснити з їхніх сульфуродних руд. Біометалургійні методи можна розділити на два розділи, такі як біосорбція та біовилуговування [6].

Різні типи мікроорганізмів, включаючи водорості, бактерії, дріжджі та гриби, можуть активно накопичувати дорогоцінні метали. У порівнянні з іншими звичайними методами, процес на основі біосорбції має численні переваги, такі як низькі експлуатаційні витрати, мінімізація об'єму хімічного та біологічного мулу, що підлягає обробці, і порівняно висока ефективність детоксикації стоків.

З іншого боку, бактеріальні реакції біовилуговування успішно застосовуються при вилученні металів з металевих руд (зокрема з сульфідів металів) [6].

Біовилуговування — це процес, у якому мобілізація катіонів металів відбувається з майже нерозчинних матеріалів шляхом біологічного окислення та комплексоутворення.

Існує три основні групи мікробів, які в основному використовуються для біовилуговування металів:

- автотрофні бактерії (наприклад, *Thiobacilli* sp.);
- гетеротрофні бактерії (наприклад, *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp.);

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

35

наприкінці двох етапів [6].

Використання колонних реакторів для біовилуговування металів є предметом різноманітних оглядів [6].

У біометалургійному іншому дослідженні використовувалися *Acidithiobacillus ferrooxidans* і *Acidiphilium acidophilum* для відновлення металу з відходів друкованих плат [6]. Вони показали, що 96% Cu, 94,5% Zn, 75% Ni і 74,5% Pb були вилужені за допомогою змішаного штаму [6].

У їхньому дослідженні більш як 99% неблагородних металів було відновлено шляхом фракційного хімічного осадження біофільтрату.

Метод біологічного вилуговування стає найперспективнішим методом у галузі видобутку металів, як зазначалося раніше.

Біологічне вилуговування є більш можливим для вилучення металів, ніж звичайне вилуговування, як з точки зору витрат, так і екологічних проблем. Тому, можна зробити висновок, що, оскільки кількість електронних відходів, які необхідно обробляти, є величезними, а вартість хімічних речовин, які витрачаються на переробку звичайними методами, набагато вищі, ніж біологічне вилуговування, цей процес може бути зручним. Також результати свідчать, що біологічне відновлення може бути альтернативною обробкою електронних відходів для видалення небезпечних металів [6].

Хоча біовилуговування здається одним із найкращих методів до його широкого промислового впровадження, необхідно провести більше оглядів та досліджень, особливо для пошуку оптимальних умов та вхідних даних, таких як відповідні поживні речовини та їх співвідношення, рН, температура, кисень, а також відповідне середовище для видобування металів.

Основними елементами, на основі яких створено комбіновані методи вилучення металів такі як біоаккумуляція, біовилуговування, біосорбція, хімічні зміни та хелатування (рисунок 4.1).

У біовилуговуванні Cu, Zn, Ni і Pb дослідили змішану культуру двох ацидофілів (*Acidithiobacillus thiooxidans* і *A. ferrooxidans*) і виявили

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

37

позитивний ефект при екстракції металу [6].

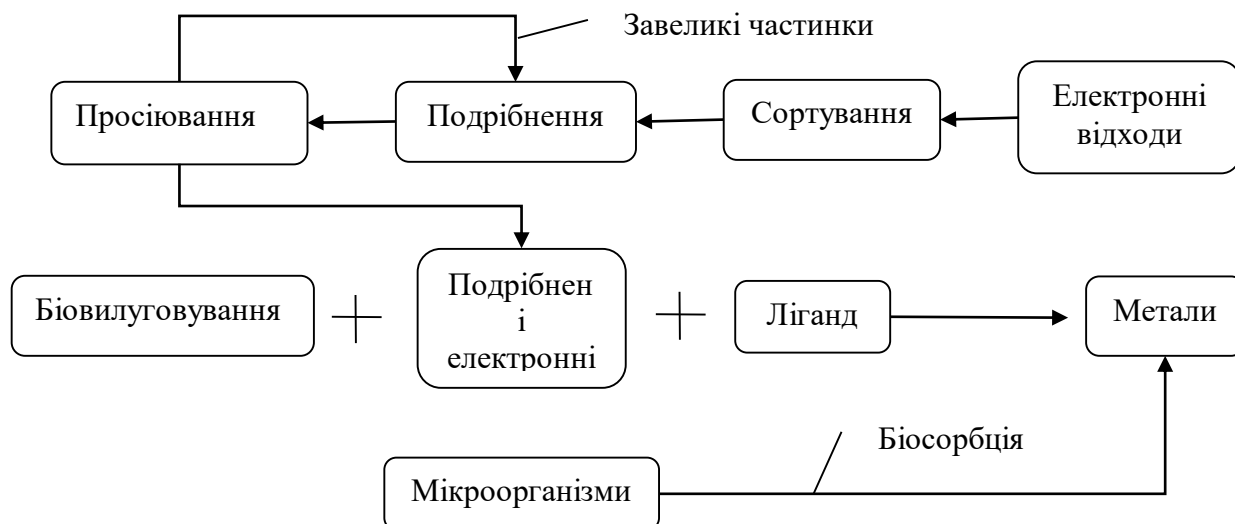


Рисунок 4.1 – Комбінована технологія добування металів

Завдяки застосуванню різноманітної культури ефективність вилучення всіх металів була підвищена у порівнянні з окремими культурами.

ЕДТА та органічні кислоти (лимонна, винна та щавлева) мають високу екстрагуючу здатність металів. Гібридне біовилуговування з відходів ДП за допомогою *Acidithiobacillus ferrooxidans* відновило 94% Cu, 92% Zn, 64% Pb і 81% Ni за 18 днів, і ця витягувальна здатність збільшилася більш ніж на 99% шляхом хімічного осадження.

Гібридне поєднання мікроба (*S. plymuthica*) та ЕДТА створює кращі умови для вимивання металів із відходів порошку електронно-променевої трубки. У комбінації мікробів ЕДТА константа швидкості вимивання Pb, Ca, Ba, Cd і Si з відпрацьованої електронно-променевої трубки залишалася між $2,9 \times 10^{-4}$ і $7,1 \times 10^{-5}$ [6]. *A. niger* або *Penicillium spp.* розумно підвищили ефективність цього процесу [6].

Для економічного процесу вилучення використовують метод переробки ЕДТА (від 70,8 до 99,8% ЕДТА можна вилучити з комплексу метал-ЕДТА за допомогою Na_2S), який використовувався для видалення слідів металів із забрудненого ґрунту [6].

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ОС 18510158

Арк

38

Дослідження хіміко-біологічних гібридних систем для відновлення металів із відпрацьованого літій-іонного акумулятора, де літій (25%) відокремлюється шляхом вилуговування, кобальту (98%) шляхом біосорбції [6].

У дослідженні використовувався двоетапний процес біовідновлення, де спочатку штам USCT-R010 для вилуговування міді, де *Aspergillus oryzae* та пекарські дріжджі були використані в процесі біосорбції, що призвело до вилучення Cu на понад 80% [6]. Але, при проведенні електролізу, вилучення Cu збільшувалося до 92,7% [6]. В іншому дослідженні вилуговування-сорбції 85% золота було вилучено з відходів ДП, де використовувалися тіосульфат амонію та *Lactobacillus acidophilus* [6].

Проте кожен гібридний метод має свої переваги та високу видобувну здатність, ніж окремий. Використання гібридних методів зростає з кожним днем через високу ефективність цього методу, і дослідники працюють над розробкою та вдосконаленням цієї методики.

Інв.Неподл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

39

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Безпека персоналу при поводженні з небезпечними відходами

Способи збирання, зберігання та транспортування відходів повинні виключати можливість забруднення навколишньої території, ґрунту населених місць та забезпечувати безпеку персоналу, зайнятого на всіх етапах роботи з очищення та знешкодження відходів.

Відповідно до екологічних норм начальники підрозділів та цехів зобов'язані виконувати такі вимоги:

- складати обладнання та матеріали, відходи виробництв та споживання, організувати стоянки автомобілів та техніки лише у спеціально відведених для цього місцях;
- вести облік накопичення, зберігання та знешкодження відходів;
- своєчасно представляти правдиву інформацію про обсяги утворених, розміщених, знешкоджених та використаних у виробництві відходів;
- Проводити екологічний інструктаж для працівників підрозділів та цехів [21].

Заборонено:

- скидання неочищених та не знешкоджених стічних вод усіх видів користування на рельєф місцевості, у водойми та водотоки;
- скидання відходів у водоймища загального користування (струмки, озера, річки тощо), підземні водоносні горизонти та ґрунти;
- спалювання різних видів відходів у непризначених для цього місцях, тобто поза спеціальними пристроями, обладнаними системою газоочищення продуктів спалювання;
- розміщення в населених пунктах, складування промислових відходів,

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

40

побутового, виробничого сміття та інших відходів, що можуть стати причиною забруднення атмосферного повітря шкідливими випарами газоподібних речовин, пилу, а особливо спалювання цих відходів на території установ, організацій, підприємств та населених пунктів забороняється окрім випадків, коли спалювання здійснюється з використанням спеціального обладнання для очищення вихідного диму.

- застосування хімреагентів із невідомими санітарно-токсикологічними характеристиками;
- поховання потенційно небезпечних та особливо токсичних відходів [21].

5.2 Виробничий контроль за промисловими відходами

Контроль за відходами здійснюється:

- при збиранні, зберіганні, транспортуванні, використанні, знешкодженні та похованні повинні дотримуватися чинних екологічних, санітарно-епідеміологічних, технічних норм і правил поводження з відходами;
- за збирання, облік, розміщення, знешкодження, використання, транспортування, поховання відходів несе відповідальність особа, призначена наказом на підприємстві;
- облік накопичення, зберігання, розміщення, знешкодження та вивезення відходів із підприємства записується у журналі. Відповідальна особа за ведення журналу призначається наказом по підприємству або розпорядженням по підрозділу [21].

У кожному підрозділі повинен вестись облік накопичення, зберігання, знешкодження прийнятих чи переданих сторонніми організаціями відходів. Для цього у підрозділах мають бути призначені відповідальні за облік, зберігання та передачу відходів. Відповідальний повинен мати схему проммайданчика з нанесеними у ньому місцями тимчасового розміщення відходів, із зазначенням виду відходів, кількості контейнерів, прізвищем відповідального, місцем

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

41

розташування відходів та своєчасно вносити у ній зміни. У кожному підрозділі повинен вестись журнал руху відходів, та визначено відповідального за ведення журналу [21]. Журнал заповнюється в міру утворення, передачі чи утилізації відходу. Обсяг передачі чи утилізації відходу має бути підтверджений документально (накладною, актом). Журнал руху відходів є первинним документом звітності, на підставі якого формуються всі подальші звіти.

Раз на місяць необхідно перевіряти:

- цілісність тари для тимчасового накопичення відходів;
- наявність маркування тари для відходів;
- стан майданчиків для тимчасового розміщення відходів;
- відповідність тимчасово накопиченої кількості відходів встановленому (візуальний контроль);
- виконання вимог екологічної безпеки та техніки безпеки при завантаженні, транспортуванні та вивантаженні відходів.

5.3 Порядок транспортування небезпечних відходів

Транспортування відходів має здійснюватися способами, що виключають можливість їх втрати у процесі перевезення, створення аварійних ситуацій, заподіяння шкоди довкіллю, здоров'ю людей, господарським та іншим об'єктам. Транспортування небезпечних відходів допускається лише спеціально обладнаним транспортом, який має спеціальне оформлення згідно з чинними інструкціями підприємства.

Транспортування небезпечних відходів має здійснюватися за таких умов:

- наявність паспорта небезпечних відходів;
- наявність спеціально обладнаних та забезпечених спеціальними знаками транспортних засобів;
- дотримання вимог безпеки до транспортування небезпечних відходів на транспортних засобах;

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

42

- наявність документації для транспортування та передачі небезпечних відходів із зазначенням кількості небезпечних відходів, що транспортуються, мети та місця призначення їх транспортування [21].

Транспортування відходів на полігон промислових відходів та санкціоноване міське сміттєзвалище проводиться транспортом підприємства. Завантаження у транспорт, транспортування, вивантаження мають здійснюватися відповідно до санітарних правил [22].

На всі відходи, що вивозяться на побутовий полігон, складається талон здавання побутових відходів. Після здавання відходів на побутовий полігон особа, відповідальна за вивезення відходів, отримує контрольний талон.

Робота, пов'язана із транспортуванням та його подальшим завантаженням, та вивантаженням повинна бути повністю герметизована та механізована [22]. Транспортування відходів повинне проводитися у спеціально обладнаному транспорті, що виключає можливість втрат по дорозі та забруднення навколишнього середовища, а також забезпечують зручності при подальшому перевантаженні: при перевезенні твердих та пилоподібних відходів необхідний самостійний пристрій або тара із захватними пристроями для розвантаження механізованим способом [22]. Транспорт для перевезення напіврідких відходів повинен бути забезпечений шланговим пристосуванням для зливу.

Кожен транспортний засіб для перевезення відходів комплектується: набором інструменту для дрібного ремонту, вогнегасником, призначеним для гасіння пожежі на транспортному засобі [20].

Упакування та маркування вантажних місць з відходами провадиться підприємствами - відправниками вантажу.

При транспортуванні промислових відходів заборонена присутність сторонніх осіб, крім водія. До керування транспортними засобами, на яких перевозяться небезпечні відходи та вантажі, допускаються водії, які мають стаж роботи як водій не менше трьох років та посвідченням на дозвіл керування транспортним засобом належної категорії та які пройшли спеціальну підготовку,

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

43

інструктаж та медичний контроль [22].

Забороняється перевезення транспортним засобом вантажів, не передбачених документацією, і навіть сторонніх осіб, які пов'язані з перевезенням цього вантажу.

5.4 Техніка безпеки під час роботи з токсичними відходами

До робіт, пов'язаних зі збиранням, зберіганням, транспортуванням промислових відходів, допускаються громадяни не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, пройшли інструктаж з техніки безпеки та пожежної безпеки, знають токсичні та вибухопожежні властивості відходів, небезпечні фактори, що можуть виникнути при виконанні роботи та заходи щодо надання першої домедичної допомоги [21].

У місці збору відходів дозволяється зберігати відходи у кількості, що не перевищує належних норм. При одночасному зберіганні кількох видів відходів слід враховувати їхню сумісність. Місця збору пожежонебезпечних відходів мають бути оснащені засобами пожежогасіння [20]. На майданчиках збирання та зберігання пожежонебезпечних відходів забороняється курити та користуватися відкритим вогнем.

Не дозволяється захищувати місця збирання промислових відходів та підходи до них [20]. У місцях збирання промислових відходів не дозволяється зберігати сторонні предмети, засоби індивідуального захисту, особистий одяг, спецодяг та приймати їжу.

При роботі з промисловими відходами необхідно перед прийомом їжі або після закінчення зміни обов'язково ретельно вимити руки теплою водою з милом. У разі появи ознак отруєння роботу припинити, повідомити про це майстра та звернутися до медпункту.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

44

ВИСНОВОК

Згідно з опрацьованим матеріалом визначено, що найкращими методами повного циклу переробки електронних відходів повинен стати комбінований метод з залученням певних біологічних об'єктів, оскільки лише в поєднанні багатьох методів перероблення можливо досягти як максимальної ефективності переробки, так і екологічності процесів.

Як первинний етап, сортування, подрібнення та просіювання також є поширеними для інших методів, таких як пірометалургійні, гідрометалургійні, біологічні та гібридні методи.

Серед різних методів фізичного вилучення дуже ефективними є катодне електроосадження, піна флотація, електростатична, магнітна та гравітаційна сепарація, тоді як інші методи є попередніми етапами екстракції металу.

Хімічне та біологічне вилуговування має свої переваги та проблеми.

У методах хімічного вилуговування обов'язковими є умови високої температури та тиску; з іншого боку, суміжний рН має важливе значення у випадку біологічних процесів. Проте вилуговування тіосечовини ефективно в економічних та екологічних об'єктах, але все ще не так розповсюджено, як вилуговування ціанідом. Техніко-економічна та екологічна оцінка біологічного, хімічного та гібридного вилуговування для вилучення металу з ДП представлена в таблиці 6.1.

Хімічний процес вилучення зручно використовувати з точки зору економічної доцільності. Для подолання цих проблем гібридні технології, такі як поєднання біологічних і хімічних методів, використовуються як потенційна технологія вилучення металів. Крім того, ця гібридна технологія має деякі переваги, включаючи високу екстрагуючу здатність, швидшу, селективну шляхом використання специфічних мікробів та лігандів.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ОС 18510158

Арк

46

critical metal ions using ionic liquids. Adv Manuf 4(1):33–46.
<https://doi.org/10.1007/s40436-015-0132-3>

18. Chakraborty, S.C. & Qamruzzaman, Md & Zaman, Md. Wahad & Alam, Masruck & Hossain, D. & Pramanik, Biplob & Nguyen, Luong & Nghiem, Long & Ahmed, Firoz & Zhou, John & Mondal, Md & Hossain, M.A. & Johir, Md Abu Hasan & Ahmed, M.B. & Sithi, J.A. & Zargar, Masoumeh & Moni, Mohammad Ali. (2022). Metals in e-waste: Occurrence, fate, impacts and remediation technologies. Process Safety and Environmental Protection. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.04.011>

19. Swaleh, Sadiya & Usmani, Nazura & Student, Ph. (2016). Impact of Heavy Metals in Environment: A Review. <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2016.0509010>

20. Про затвердження «Правил пожежної безпеки в Україні» МВС України; Наказ, Правила, Форма від 30.12.2014 № 1417. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text>

21. Закон України «Про відходи» від 05.03.1998 № 187/98-ВР. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80#Text>

22. Державні санітарні правила і норми (ДСанПіН 2.2.7.029-99) Державна санепідем.служба, МОЗ України; Правила, Норми, Перелік від 01.07.1999 № 29. <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0029588-99#Text>

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

OC 18510158

Арк

51