

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування
Кафедра екології, технології захисту навколишнього середовища та
лісового господарства

05-02-506М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних завдань та самостійної роботи
з навчальної дисципліни
«Технології утилізації небезпечних відходів»
для здобувачів вищої освіти третього (pHD) рівня
за освітньо-науковою програмою «Екологія» спеціальності
101 «Екологія» галузі знань 10 «Природничі науки»
денної і заочної форм навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою з якості
ННІ агроєкології та землеустрою
протокол № 11 від 28.01.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання практичних завдань та самостійної роботи з навчальної дисципліни «*Технології утилізації небезпечних відходів*» для здобувачів вищої освіти третього (phD) рівня за освітньо-науковою програмою «Екологія» спеціальності 101 «Екологія» галузі знань 10 «Природничі науки» денної і заочної форм навчання. [Електронне видання] / Бедункова О. О. – Рівне : НУВГП, 2025. – 37 с.

Укладач: Бедункова О. О., доктор біолог. наук, професор, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства.

Відповідальний за випуск: Клименко М. О., доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства.

Керівник групи забезпечення спеціальності 101 «Екологія»

Бедункова О. О.

© О. О. Бедункова, 2025
© Національний університет водного господарства та природокористування, 2025

ЗМІСТ

Передмова.....	3
Практична робота № 1 <i>Визначення класу небезпеки промислових відходів</i>	4
Практична робота № 2 <i>Розрахунок нормативної кількості утворення вугільного золошлаку</i>	7
Практична робота № 3 <i>Розрахунок нормативної кількості утворення відходів тари</i>	9
Практична робота № 4 <i>Розрахунок нормативної кількості утворення металевої стружки при обробці металів</i>	14
Практична робота № 5 <i>Розрахунок нормативної кількості відходів деревини</i>	17
Практична робота № 6 <i>Технології та методи переробки електронних відходів</i>	20
Практична робота № 7 <i>Знешкодження та нейтралізація токсичних відходів</i>	27
Рекомендована література.....	36

Передмова

Методичні вказівки з дисципліни «Технології утилізації небезпечних відходів» покликані сформувати комплексне бачення теоретичних і практичних основ поводження з небезпечними відходами. У них висвітлюються принципи та методи знешкодження, нейтралізації та повторного використання відходів різного походження. Особливу увагу приділено інноваційним підходам, що дають змогу зменшити шкідливий вплив на довкілля та одночасно підвищити ефективність виробничих процесів.

Методичні вказівки містять теоретичні відомості, приклади практичних завдань, кейс-стаді та контрольні питання для самоперевірки, що робить їх корисним інструментом як для аудиторних, так і для самостійних занять студентів.

Практична робота № 1

Тема: *Визначення класу небезпеки промислових відходів*

Мета роботи: *Оволодіти методикою визначення класу небезпеки відходів розрахунковим способом*

Клас небезпеки відходів визначається виробником відходів або за його дорученням. Визначення класу небезпеки промислових відходів слід здійснювати:

- експериментальним шляхом на дослідних тваринах;
- розрахунковим методом, коли установлений фізико-хімічний склад відходів, за LD_{50} або ГДК екзогенних хімічних речовин у ґрунті.

Визначення класу небезпеки відходів розрахунковим методом:

Якщо для конкретного виду промислових відходів розроблено та впроваджено технологію утилізації, знешкодження або оброблення, які призводять до усунення чи значного зменшення негативного впливу відходів на біоценози об'єктів довкілля, насамперед ґрунту, слід визначати клас небезпеки відходів - за LD згідно з формулами 1.1 і 1.2:

$$Ki = \frac{\lg(LD_{50})_i}{(S+0,1F+C_B)_i} \quad (1.1)$$

де K_i - індекс токсичності кожного хімічного інгредієнта, що входить до складу відходу, величину K округлюють до першого знака після коми; $\lg(LD_{50})$ - логарифм середньої смертельної дози хімічного інгредієнта при введенні в шлунок (LD_{50} - знаходять за довідниками); S - коефіцієнт, який відображає розчинність хімічного інгредієнта у воді (за допомогою довідника знаходять розчинність хімічного інгредієнта у воді в грамах на 100 г води при температурі не вище 25°C , цю величину ділять на 100 і отримують безрозмірний коефіцієнт S , який в більшості випадків знаходиться в інтервалі від 0 до 1); F - коефіцієнт леткості хімічного інгредієнта (за допомогою довідників визначають тиск насиченої пари в мм рт. ст. інгредієнтів відходу при температурі 25°C , що мають температуру кипіння при 760 мм рт. ст. не вище 80°C ; одержану величину ділять на 760 і отримують безрозмірну величину F , яка знаходиться в інтервалі від 0 до 1); C_B - кількість даного інгредієнта в загальній масі відходу, т/т; i - порядковий номер конкретного інгредієнта.

Після розрахунку K для інгредієнтів відходу, вибирають не більше 3, але не менше 2 ведучих, які мають найменші K ; при цьому $K_1 < K_2 < K_3$, крім того, повинна виконуватися умова $2 \cdot K_1 > K_3$.

$$K_{\delta} = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n K_i, \quad n \leq 3 \quad (1.2)$$

де K_{δ} - сумарний індекс небезпеки. Він обчислюється за допомогою двох або трьох вибраних індексів токсичності, після чого, за допомогою таблиці 1.1 визначають клас небезпеки та ступінь токсичності відходу.

Таблиця 1.1

Класифікація небезпеки відходів за LD_{50}

Величина K_{δ}	Клас небезпеки	Ступінь токсичності
Менше 1,3	I	Надзвичайно небезпечні
Від 1,3 до 3,3	II	Високонебезпечні
Від 3,4 до 10	III	Помірно небезпечні
Від 10 і більше	IV	Малонебезпечні

При відсутності LD_{50} для інгредієнтів відходу, але при наявності класу небезпеки цих інгредієнтів у повітрі робочої зони (ГОСТ 12.1.005-88), необхідно у формулу (1) підставити умовні величини LD_{50} , що орієнтовно визначені за показниками класу небезпеки у повітрі робочої зони (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Класи небезпеки у повітрі робочої зони і відповідні умовні величини LD_{50}

Клас небезпеки у повітрі робочої зони	Еквівалент LD_{50}	$Lg(LD_{50})$
I	15	1,176
II	150	2,176
III	5000	3,699
IV	> 5000	3,778

Враховуючи те, що значна частина небезпечних промислових відходів не має впроваджених схем утилізації, знешкодження чи оброблення і видаляється методом поховання або використовується у вигляді домішок чи прошарків на полігонах твердих промислових відходів, тобто може мати безпосередній контакт з об'єктами довкілля, тому для визначення класу небезпеки таких відходів слід застосовувати ГДК їх хімічних складників у ґрунті згідно з формую:

$$K_i = \frac{ГДК_i}{(S+0,1+F+C_B)_i} \quad (1.3)$$

де ГДК_i - граничнодопустима концентрація токсичної хімічної речовини у ґрунті, що міститься у відході;

Величину "K_i" округляють до 1-го знака після коми.

Після розрахунку K_i для інгредієнтів відходу, вибирають не більше 3, але не менше 2 ведучих, які мають найменші K_i; при цьому K₁ < K₂ < K₃ крім того, повинна виконуватися умова 2 · K₁ ≥ K₂ чи K₃.

Потім розраховується сумарний індекс токсичності (Кδ) згідно з формулою 2, після чого, за допомогою таблиці 1.3 визначають клас небезпеки та ступінь токсичності відходу.

Таблиця 1.3

Класифікація небезпеки відходів за ГДК хімічних речовин у ґрунті

Величина Кδ отримана на основі ГДК у ґрунті	Клас небезпеки	Ступінь токсичності
Менше 2	I	Надзвичайно небезпечні
Від 2 до 16	II	Високонебезпечні
Від 16,1 до 30	III	Помірно небезпечні
Від 30,1 і більше	IV	Малонебезпечні

Кейс-стаді: Визначення класу небезпеки промислових відходів розрахунковим способом

Ситуація

Підприємство "ЕкоХімПром" займається виробництвом фарб і лаків. У процесі виробництва утворюється промисловий відхід – суміш, яка містить три основні хімічні інгредієнти:

Інгредієнт А: LD50 = 250 мг/кг, розчинність у воді = 0.8 г/100 г, тиск насиченої пари = 120 мм рт. ст.

Інгредієнт В: LD50 = 800 мг/кг, розчинність у воді = 0.4 г/100 г, тиск насиченої пари = 30 мм рт. ст.

Інгредієнт С: LD50 = 1000 мг/кг, розчинність у воді = 0.6 г/100 г, тиск насиченої пари = 50 мм рт. ст.

Кількість кожного інгредієнта в загальній масі відходу (Св) становить:

Інгредієнт А: 0.4 т/т

Інгредієнт В: 0.35 т/т

Інгредієнт С: 0.25 т/т

Завдання

Розрахувати індекс токсичності для кожного інгредієнта (K_i) за формулою (1.1).

Визначити два або три ведучі інгредієнти з найменшими значеннями K_i , які відповідають умові $2 \cdot K_1 > K_3$.

Розрахувати сумарний індекс токсичності (K_{Σ}) за формулою (1.2).

Визначити клас небезпеки та ступінь токсичності відходу, використовуючи таблицю 1.1.

Зробити висновок щодо необхідності утилізації або інших заходів із поводженням із відходами.

Питання для самоконтролю:

1. Ким проводиться визначення класу небезпеки відходів?
2. Що собою являє показник LD_{50} ?
3. З якою метою при визначенні класу небезпеки відходів застосовують ГДК їх хімічних складників у ґрунті?
4. Як змінилася б токсичність відходів у разі використання іншої технології утилізації інгредієнта А?
5. Які переваги й обмеження розрахункового методу визначення класу небезпеки?

Практична робота № 2

Тема: Розрахунок нормативної кількості утворення вугільного золошлаку

Мета роботи: провести розрахунок нормативної кількості утворення вугільного золошлаку внаслідок технологічних процесів промислового підприємства.

Внаслідок комплексного термічного перетворення гірських порід і спалювання твердого палива, у виробничих процесах підприємств утворюється такий тип відходів, як золошлак. Наприклад, ТЕС України за рік утворюють 15-16 млн.т золошлакових відходів.

Залежно від виду палива, вміст золошлаку в продуктах згорання буває різним: у бурому вугіллі вміст шлаку становить до 15%; кам'яному - від 3 до 40%; антрациті - до 30%; горючих сланцях - від 50 до 80%; дровах – близько 0,5-1,5%; мазуті – не більше 0,2%.

Золошлак, що утворюється в результаті згорання вугілля відрізняється від доменного більш низьким вмістом CaO і

підвищеним вмістом FeO. При цьому вугільний шлак відрізняється підвищеною лужністю.

Як правило, це гранульований продукт чорного кольору. Такий колір утворюється через двовалентне залізо, яке міститься в складі сировини. Зустрічається шлак коричневого, білого, оливкового та зеленого кольорів (що зумовлює обсяг оксиду заліза). Для отримання шлакового піску гранульований продукт подрібнюється.

Способи утилізації вугільного золошлаку передусім зводяться до його використання в промисловому будівництві. З цього виду відходів отримують панелі з підвищеною звукоізоляцією, водостійкі бетони, шлакозольні в'язкі матеріали, керамічну плитку, стінові шлакоблоки (золошлакогіпсобетон), керамзитозолобетон, пінозолобетон, золосилікатну цеглу, цементи різноманітних марок.

При утилізації вугільного золошлаку необхідно зважати на його безпеку, оскільки в цьому матеріалі містяться й радіоактивні речовини. Тому використовувати його в якості наповнювача для бетонних стін і при організації стяжки для житлових об'єктів не рекомендується.

Розрахунок нормативної кількості утворення вугільного золошлаку внаслідок виробничих процесів підприємств (Н, т/рік) проводиться за формулою:

$$H = 0,01 \cdot B \cdot A_p - N_3 \quad (2.1)$$

де $N_3 = 0,01 \cdot B \cdot (\alpha \cdot A_p + q_4 \cdot Q_T / 32680)$; B – річна витрата вугілля, т/рік; α – частка виносу золи з топки, $\alpha=0,25$; A_p – зольність вугілля, %; q_4 – втрати тепла внаслідок механічної неповноти згорання вугілля, кДж/кг; Q_T – теплота згорання палива, кДж/кг; 32680 кДж/кг – теплота згорання умовного палива.

Кейс-завдання: Розрахунок нормативної кількості утворення вугільного золошлаку

Ситуація

Підприємство "Енергосфера" щорічно використовує 100 000 т кам'яного вугілля для виробництва електроенергії. Зольність цього вугілля становить 25%, втрати тепла внаслідок механічної неповноти згорання q_4 дорівнюють 500 кДж/кг, а теплота згорання палива Q_T – 28 000 кДж/кг.

Завдання

Використовуючи формулу (2.1), розрахувати нормативну кількість утворення вугільного золошлаку N для зазначеного підприємства.

Визначити, яку частку золошлаку можна було б переробити, якщо підприємство планує досягти рівня утилізації 20%, аналогічного до США.

Оцінити можливі обсяги залишків золошлаку, які потрібно зберігати або утилізувати іншими способами.

Зробити висновок щодо необхідності збільшення рівня утилізації, порівнюючи ситуацію з іншими країнами (наприклад, Фінляндією та Францією).

Питання для самоконтролю:

1. Внаслідок яких технологічних процесів утворюється золошлак?
2. Які основні фізичні та хімічні характеристики золошлаку?
3. Чи відрізняється зольність продуктів згорання різних видів палива?
4. З якою метою золошлак використовують як вторинний матеріальний ресурс?
5. З якими ризиками пов'язане використання золошлаку в якості ВМР?
6. Які критерії враховуються при розрахунку нормативної кількості утворення вугільного золошлаку?
7. Як зміниться кількість утвореного золошлаку, якщо зольність вугілля зменшиться до 20%?
8. Які потенційні екологічні ризики виникають через використання золошлаку у будівництві?

Практична робота № 3

Тема: Розрахунок нормативної кількості утворення відходів тари

Мета роботи: ознайомитись з номенклатурою та ознаками основних видів тари, що використовується у виробничих процесах та провести розрахунок нормативної кількості утворення відходів тари на промисловому підприємстві.

Тара є загальною номенклатурою виробів, які використовують для розміщення товарів. Ці вироби істотно відрізняються одне від іншого, тому і класифікують тару за досить широким колом ознак: функції, які виконуються в процесі товарного обігу; призначення; приналежність; кратність використання; матеріал виготовлення; спосіб виготовлення; стійкість до зовнішніх механічних впливів; якість.

У процесі товарообігу тара може виконувати різні функції, з урахуванням чого розрізняють тару транспортну, цехову, споживацьку і тару-устаткування.

Транспортна (зовнішня) тара використовується для транспортування і зберігання товарів. До неї відносять ящики, бочки, мішки і т.п. Цехова тара призначена для впорядкування товарів усередині підприємства (лотки і ящики спеціальних конструкцій). Споживацька (внутрішня) тара надходить до споживача з продукцією і не є самостійною транспортною одиницею. Тара-устаткування – це пристрій, призначений для транспортування, тимчасового зберігання, представлення і продажу товарів.

За призначенням тару ділять на універсальну і спеціалізовану. Універсальна тара може бути використана для зберігання різної продукції, спеціалізована тара – тільки для певних товарів.

Залежно від приналежності слід розрізняти тару загального і індивідуального користування. Тара загального користування може застосовуватися різними підприємствами і організаціями. До тари індивідуального користування відноситься інвентарна тара, що виготовляється по спеціальному замовленню для централізованої доставки товарів на роздрібні торгові підприємства. Вона є власністю підприємств промисловості або оптових торгових підприємств.

За кратністю використання тара ділиться на оборотну, зворотну і разового використання.

Оборотна тара призначена для багаторазового використання при поставках продукції. До неї належать ящики, бочки, фляги, мішки і інша транспортна тара.

До зворотної тари належить переважно вживана тара, яку доцільно використовувати повторно. Вона підлягає здачі постачальнику у обов'язковому порядку.

Разова тара призначена для однократного використання при поставках продукції. Це коробки з-під цукерок, сірників, цигарок і інша споживацька, а також транспортна тара, яка після використання підлягає утилізації.

Залежно від матеріалу виготовлення тару поділяють на дерев'яну, картонну, паперову, текстильну, металеву, скляну, керамічну, полімерну і комбіновану.

Дерев'яна тара широко поширена в обігу (ящики, бочки і кошики). Її виготовляють з деревини різних порід.

До картонної тари відносять коробки та ящики. Коробки виготовляють з пресованого картону, ящики – з пресованого і гофрованого. Картонна тара легша за дерев'яну в 2,5-4 рази на одиницю розміщеної продукції. Для її виготовлення потрібно у декілька разів менше деревної маси. Сировиною для її виготовлення можуть служити відходи ділової деревини. Виробництво картонної тари і процес її завантаження легше механізувати. У зв'язку з цим картонна тара все ширше використовується для розміщення як промислових, так і продовольчих товарів.

Залежно від призначення, конструкції, розмірів і деяких інших ознак картонні ящики підрозділяються більш ніж на 10 типів (для кондитерських виробів, для продукції м'ясної і молочної промисловості і т. д.).

Паперова тара використовується, як правило, для фасування сипких товарів. До неї відносяться паперові мішки і пакети. Мішки підрозділяють на бітумовані (крафт-мішки), дубльовані і вологостійкі. Бітумовані мішки просочують спеціальними розчинами. Крім того, за способом виготовлення їх поділяють на проклеєні і зшиті, з відкритою і закритою горловиною.

Текстильно-мочальна тара в основному представлена тканинними і сітчастими мішками, пакувальними тканинами. Мішки виготовляють з льняних, напівлляних, лляноджгутових та інших тканин, а також з сітки або гардинового полотна. Залежно від призначення вони діляться на мішки сітчасті з-під картоплі і овочів, мішки тканинні з-під цукру і мішки тканинні з-під хлібопродуктів і насіння сільськогосподарських культур.

Пакувальна тканина (бавовняна або льняна) використовується для упаковки тканин, швейних, трикотажних і килимових виробів, а також інших товарів.

Транспортування і зберігання рідких, летючих, вогненебезпечних та інших товарів здійснюється в металевій тарі, до якої відносяться бочки, балони, барабани, фляги, банки і каністри. Для їх виготовлення використовують листову сталь, спеціальну жерсть, алюміній. Внутрішню поверхню металевої тари вкривають спеціальними лаками або нейтральними металами, для того, щоб запобігти її взаємодії з харчовими продуктами.

Скляна тара використовується для зберігання рідких товарів (молока і молочних продуктів, винно-горілчаних виробів та інших продовольчих і промислових товарів). Залежно від форми і місткості розрізняють банки, пляшки, балони (бутлі) і флакони. Товари, що розміщені в скляній тарі, необхідно перевозити і зберігати в жорсткій транспортній тарі і м'яких пакувальних матеріалах.

Керамічна тара знаходить обмежене застосування. В основному вона використовується для зберігання та фасування деяких лікеро-горілчаних виробів.

Широко поширена полімерна тара. Вона виготовляється з синтетичних матеріалів, які володіють міцністю, легкістю і добре захищають товари від зовнішніх впливів. Вона об'єднує достатньо різноманітний асортимент як споживацької, так і транспортної тари (банки, пляшки, каністри, туби, коробки, пакети, ящики тощо).

Комбінована тара з'являється внаслідок поєднання різних матеріалів при її виготовленні. Так, шляхом комбінації полімерних матеріалів з папером, фольгою, тканиною одержують міцну і барвисту упаковку.

За особливостями конструкції тару поділяють на розбірну, нерозбірну, доладну, розбірно-доладну, зі знімними деталями; за методами виготовлення на литу, штамповану, бондарську, клеєну тару і тару, виготовлену литтям під тиском.

Залежно від стійкості до зовнішніх механічних дій тару прийнято ділити на жорстку (дерев'яні і металеві ящики і бочки, скляна тара), напівжорстку (картонні ящики і корзини) і м'яку (мішки, пакувальні тканини і т. п.).

Однією з ознак класифікації тари є її якість. Наприклад, тканинні мішки залежно від їх якості діляться на три категорії, оборотні дерев'яні ящики – на дві категорії і т.д. Відходи тари утворюються після її спорожнення при вилученні різної продукції.

Розрахунок нормативної кількості відходів тари на підприємстві проводиться виходячи з річної витрати сировини та місткості одиниці тари за формулою:

$$H = P \cdot M / B \quad (3.1)$$

де P – річна витрата сировини, кг (л); B – місткість (об'єм) одиниці тари, кг (дм³); M – маса брутто, кг (л).

Кейс-завдання: Розрахунок нормативної кількості утворення відходів тари

Ситуація

Підприємство "УпаковкаЛогіст" займається розфасуванням та транспортуванням харчових продуктів. Для упаковки своєї продукції використовується транспортна та споживацька тара таких типів:

- Скляні пляшки: місткість 1 л, маса брутто 0,5 кг.
- Полімерні пакети: місткість 5 кг, маса брутто 0,1 кг.
- Картонні ящики: місткість 10 кг, маса брутто 1,5 кг.

Річна витрата сировини для пакування становить:

- Для скляних пляшок: 50 000 л.
- Для полімерних пакетів: 200 000 кг.
- Для картонних ящиків: 150 000 кг.

Завдання

Використовуючи формулу (3.1), розрахувати нормативну кількість утворення відходів тари H для кожного типу тари.

Визначити загальну кількість утворених відходів тари для підприємства за рік.

Оцінити, яку частку відходів тари можна було б переробити, якщо підприємство планує досягти рівня утилізації 25%.

Порівняти ефективність використання різних типів тари та визначити, який з них є найбільш екологічно доцільним.

Питання для самоконтролю:

1. Що таке тара і які функції вона виконує в процесі товарообігу?
2. За якими ознаками класифікують тару?
3. На які види поділяється тара залежно від її приналежності?
4. Якою може бути тара за кратністю використання?

5. На які види поділяють тару за особливостями її конструкції?
6. Навести приклади сфер застосування різних видів тари?
7. У яких випадках тара вважається відходами?
8. Які параметри враховуються при розрахунках нормативної кількості утворення відходів тари на промисловому підприємстві?
9. Як зміниться кількість відходів, якщо масу бруто скляних пляшок зменшити на 20% за рахунок оптимізації технології?
10. Які екологічні ризики виникають при утилізації полімерної тари, і які альтернативні методи переробки можуть бути використані?

Практична робота № 4

Тема: Розрахунок нормативної кількості утворення металевої стружки при обробці металів

Мета роботи: ознайомитись з основними характеристиками металевої стружки та можливістю її використання в якості вторинного ресурсу, провести розрахунок нормативної кількості утворення металевої стружки при обробці металів на промисловому підприємстві.

Використання вторинних металів має дуже важливе значення, оскільки забезпечує велику економію матеріальних та трудових затрат. Це пов'язано з тим, що витрати на залучення металевих відходів у обіг значно менші, ніж на виплавку первинного металу з руди. Використання 1 т підготовленого брухту чорних металів забезпечує економію близько 2 т руди, 0,5 т коксу та 100 м³ газу.

Наприклад, при використанні брухту та відходів, економія енергії, порівняно з виплавою металів із руди становить: для алюмінію 95%, міді 83%, сталі 74%, свинцю 64%, цинку 60%. До того ж, використання металобрухту для виплавки металів значно знижує навантаження на навколишнє середовище (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Порівняльний вплив на навколишнє середовище виробництва 1000 т сталі

Фактори, що впливають на навколишнє середовище	Виплавка сталі		Економія, %
	з руди	з відходів	
Використання первинної речовини, т	2278	250	90

Витрати води, м ³	62750	32600	40
Кількість речовин, що забруднюють атмосферу, т	121	17	86
Відходи гірничопромислових розробок, т	2828	63	97

У загальному вигляді *металобрухт* – це металеві вироби, обладнання, машини, будівлі та споруди або їх металеві частини, що непридатні для подальшої експлуатації.

Значна кількість вторинних чорних металів утворюється вже при їх виробництві та амортизації обладнання. Найбільший обсяг відходів чорних металів утворюється при транспортному машинобудуванні, далі в суднобудівництві, верстатному будівництві та виробництві приладів.

Особливо цінними є відходи та лом кольорових металів, до яких належать всі метали та їх сплави, за виключенням заліза та його сплавів. Вони володіють досить цінними експлуатаційними властивостями та широко використовуються у сучасній промисловості. У техніці прийнято поділяти кольорові метали на легкі, важкі, благородні, тугоплавкі, розсіяні, рідкоземельні, радіоактивні. Найбільш значні об'єми металобрухту утворюють сплави на основі алюмінію, міді, свинцю, цинку, нікелю, титану, олова, вольфраму, молібдену, кадмію, кобальту, магнію та ртуті.

У різних технологічних процесах, при обробці металів різанням на верстатах, утворюється особливий вид відходів – металева стружка. Види стружок (зливна, сколювання і надлому) залежать від фізико-механічних властивостей металів.

Так, при обробці м'яких пластичних металів (мідь) з великою швидкістю різання, елементи стружки не встигають повністю відокремитися і стружка сходить у вигляді прямої або спірально завитої стрічки із гладкою опуклою і злегка ступінчастою увігнутою сторонами. Така стружка називається *зливною*.

При різанні більш твердих пластичних металів (чавун) з малою швидкістю різання елементи стружки встигають майже повністю відділитися, але досить міцно пов'язані між собою. Стружка згинається і ламається на окремі ділянки невеликої довжини. Така стружка називається стружкою *сколювання*. Її увігнута сторона має ступінчасту форму з чітко помітними межами елементів. Іноді

стружка сколювання відділяється окремими елементами однакової форми. У такому випадку її називають елементною стружкою.

При різанні крихких металів (сталь, тверда бронза) стружка сходить у вигляді окремих, не пов'язаних один з одним елементів довільної форми. Така стружка носить назву стружки *надлому*.

Розрахунок нормативної кількості утворення металевої стружки від різання чорного (кольорового) металу проводиться згідно формули:

$$H = Q \cdot k \quad (4.1)$$

де Q – кількість металу, що надходить на обробку, т/рік; k – норматив утворення металевої стружки, % ($k = 10\%$ - при обробці чорного металу, $k = 5\%$ – при обробці кольорового металу).

Кейс-завдання для практичної роботи: Розрахунок нормативної кількості утворення металевої стружки при обробці металів

Ситуація

Підприємство "МеталТех" займається виготовленням деталей для машинобудування. У процесі виробництва обробляються такі метали:

Чорний метал (сталь) – 200 т/рік.

Кольоровий метал (алюміній) – 100 т/рік.

Норматив утворення стружки становить:

Для чорного металу $k = 10\%$.

Для кольорового металу $k = 5\%$.

Підприємство планує використовувати металеву стружку як вторинний ресурс для подальшої переробки.

Завдання

Розрахувати нормативну кількість утворення металевої стружки H для кожного типу металу, використовуючи формулу (4.1).

Визначити загальну кількість металевої стружки, що утворюється на підприємстві за рік.

Проаналізувати економічний ефект від використання стружки як вторинного ресурсу, якщо підприємство заощаджує 50% витрат на закупівлю первинного металу для чорного металу та 70% – для кольорового.

Порівняти вплив на навколишнє середовище при переробці стружки замість використання первинного металу, враховуючи дані

таблиці 4.1 (зниження витрат води, енергії та забруднення атмосфери).

Питання для самоконтролю:

1. Що таке металобрухт та які галузі промисловості створюють його найбільші обсяги?
2. Як зміниться обсяг стружки, якщо обсяги обробки чорного металу збільшаться на 25%?
3. Які технологічні та екологічні переваги можна отримати від поділу стружки за типами (зливна, сколювання, надлому)?

Практична робота № 5

Тема: Розрахунок нормативної кількості відходів деревини

Мета роботи: ознайомитись з напрямками утилізації різних видів відходів деревини, освоїти методику розрахунку утворення нормативної кількості відходів деревини столярного виробництва.

Зі всієї кількості утворених відходів деревини лише 60-65% використовується в якості вторинної сировини, решта відходів скидається у відвали та чинять негативний вплив на навколишнє середовище.

Значна кількість відходів утворюється при використанні деревини на підприємствах автомобільної промисловості, у транспортному будівництві, верстатобудуванні, торгівельній галузі, комунальному господарстві, виробництві меблів та інших галузях промисловості.

Відходи деревини можна класифікувати за асортиментом продукції, що випускається (відходи пиломатеріалів, фанери, деревоволокнисті плити та ін.), за породою деревини (відходи хвойних або листяних порід дерев), за вологістю (сухі – з вологістю до 15%, напівсухі – з вологістю 15-30%, вологі – з вологістю більше 30%), за структурою (кускові, сипкі) та іншими ознаками.

За кількістю відходів виробництва, деревообробна промисловість посідає одне з перших місць. Кількість відходів у цій галузі залежить від кількості залученої сировини, типу та розмірів продукції, технології виробничих процесів та характеристик обладнання.

Наприклад, кількість відходів, що утворюються на меблевій фабриці сягає 60% від усієї використаної деревини.

До відходів, об'єм яких залежить від характеристик обладнання розкрою деревини, належить тирса.

Об'єм деревини, що переходить у тирсу, залежить від товщини пили: чим тонша пила, тим менше тирси. Їх утворення можна взагалі уникнути, якщо використовувати інші способи розділу деревини.

До відходів, що обумовлені якістю вихідної сировини, належать горбилі, торцеві зрізання, рейки, різноманітні вирізки з дефектами та вадами.

Всі відходи деревини є цінною сировиною для виробництва різної продукції, але за можливістю утилізації вони не рівноцінні. Найціннішими є так звані ділові відходи, з яких можна виготовляти різноманітну дрібну пилопродукцію. До них належать горбилі, рейки та крупні кускові відходи. Їх можна використовувати і для виробництва целюлози, деревоволокнистих плит (ДВП), деревотирсових плит (ДСП), цементнотирсових плит (ЦСП) та хімічної продукції.

Меншу цінність мають відходи, можливість використання яких обмежена (стружка, тирса, дрібні кускові відходи, щєпа).

Тирсу та стружку, завдяки адсорбуючим, абразивним, ізоляційним та іншим властивостям широко використовують у різних галузях: для побутових цілей та як технологічна сировина.

Щєпа та дрібні кускові відходи є цінною хімічною сировиною при виробництві будівельних матеріалів, віскозного волокна (а потім тканин), технічного спирту, кормових дріжджів, оцту, целюлози, паперу, картону та багатьох інших продуктів.

Частина відходів деревини в брикетованому стані застосовується як паливо у побутових та промислових котлах.

У загальному вигляді можливості утилізації різних відходів деревини наведені в таблиці 5.1.

Необхідно згадати енергохімічне використання відходів деревини в газогенераторних установках.

Принцип такого використання відходів заснований на газифікації деревини та отриманні з неї хімічних продуктів та горючого газу з наступним використанням його в якості палива.

Нормативну кількість відходів деревини (стружка, тирса, куски деревини) розраховують за формулою:

$$Q = n_1 \cdot V + n_2 \cdot V \quad (5.1)$$

де n_1 – вихід стружки та тирси від об'єму вихідних пиломатеріалів; для виробництва столярної продукції $n_1=0,15$; n_2 - вихід кускових відходів від об'єму вихідних пиломатеріалів; для виробництва столярної продукції $n_2=0,25$; V – об'єм лісу, що переробляється, м³.

Таблиця 5.1

Напрямки використання відходів деревини

Види відходів	Використання відходів
Кускові відходи	Для отримання цільних та клеєних заготовок, дрібної пилопродукції; технологічної щепи для виробництва целюлози та іншої продукції з подрібненням деревини; у лісохімічному виробництві, в якості палива.
Тирса	Для виробництва спирту, кормових дріжджів, целюлози, деревного борошна, будівельних матеріалів; у лісохімічному виробництві; для господарсько-побутових потреб; у сільському господарстві; для технологічних цілей.
Стружка	Для виготовлення плит, будівельних блоків; у лісохімічному виробництві;
Кора	Для отримання дубильних речовин у лісохімічному виробництві; для виготовлення добрив.

Кейс-завдання: Розрахунок нормативної кількості відходів деревини

Ситуація

Підприємство "ДревМайстер" займається виготовленням столярної продукції. За рік воно переробляє 500 м³ лісу. Відходи деревини класифікуються на два основні види:

Стружка і тирса (норматив утворення $n_1=0,15$),

Кускові відходи (норматив утворення $n_2=0,25$).

Підприємство планує частково утилізувати відходи, використовуючи тирсу для виробництва паливних брикетів і кускові відходи для виготовлення плит.

Завдання

Розрахувати загальну нормативну кількість відходів деревини Q , використовуючи формулу (5.1).

Визначити кількість тирси та стружки, а також кускових відходів, що утворюються на підприємстві за рік.

Розрахувати обсяг відходів, які підприємство може використати для утилізації, якщо:

- 60% тирси перетворюється на паливні брикети;
- 70% кускових відходів використовується для виготовлення плит.

Проаналізувати, який обсяг відходів залишиться неутілізованим і потребуватиме додаткового вирішення (наприклад, зберігання у відвалах).

Питання для самоконтролю:

1. За якими напрямками утилізують кускові відходи?
2. За якими напрямками утилізують тирсу та стружку і кору дерев?
3. В чому полягає принцип енергохімічного використання відходів деревини?
4. Як зміниться загальний обсяг відходів, якщо об'єм переробленого лісу збільшиться до 700 м³?
5. Які екологічні наслідки може мати підприємство, якщо не утилізує утворені відходи?
6. Які ще види продукції можна отримувати з утилізованих відходів (наприклад, з тирси, стружки або кускових залишків)?

Практична робота № 6

Тема: Технології та методи переробки електронних відходів

Мета роботи: ознайомитися з основними етапами ручної та автоматизованої обробки електронних відходів; вивчити технології, що застосовуються для розділення матеріалів за густиною, та методи вилучення дорогоцінних металів; з'ясувати особливості переробки катодно-променеви́х трубок (CRT) та умови безпечної роботи під час процесу рециклінгу.

Методи переробки електронних відходів включають у себе ручну, автоматизовану обробку та CRT-рециклінг.

1) Ручна обробка

Етап 1. Розвантаження та перевірка. Представники переробних підприємств збирають електронні відходи у місцях їх утворення. Зібраний матеріал транспортується на переробний завод, де його

обережно розвантажують і розбирають на складові частини, спираючись на фізичну ідентифікацію деталей. Кваліфіковані фахівці перевіряють робочий стан компонентів.

Етап 2. Демонтаж. Матеріали або компоненти, що надходять із попереднього етапу, розподіляються між працівниками, які сидять рядами та проводять демонтаж (рис. 6.13). Робочі місця добре вентилюються. Тут під контролем старших спостерігачів і з відповідними інструментами працює приблизно 30 осіб, які пройшли базове навчання з демонтажу електронного обладнання будь-якого типу. Відокремлені деталі поміщають у окремі пластикові контейнери (лотки) для наступних етапів обробки.

Етап 3. Розподіл за типами. Група працівників отримує контейнери з етапу 2 та відокремлює кожен компонент, сортуючи їх за типом (наприклад, накопичувачі, резистори, материнські плати, кабелі, вимикачі, корпуси, рами, вентилятори, двигуни, з'єднувальні кабелі тощо). Із розділених деталей видаляють пил та бруд. Потім їх поміщають у поліетиленові пакети, запечатують і розподіляють по контейнерах. Зовні до упаковки прикріплюють відповідний зразок або позначку, щоб було зрозуміло, який матеріал міститься всередині пакета.

Етап 4. Вилучення матеріалу. На цьому етапі для відокремлення основних матеріалів потрібне певне застосування механічної, теплової чи хімічної енергії. Деталі з етапів 1, 2, а в деяких випадках – з етапу 3, піддаються механічній, термічній і хімічній обробці для видалення покриття або розділення агрегатів на їхні складові компоненти. Для зіскоблювання свинцю з друкованих плат використовується настільки чутливий інструмент, що він може видаляти свинець з поверхні плати на товщину від міліметра до мікрона. Після абразивної обробки з одного боку плат окремі припаяні компоненти з іншого боку відокремлюються шляхом струшування плати. Компоненти, відокремлені під час цієї операції, спрямовуються на наступний етап для остаточного сортування та пакування після перевірки. Нагрівання та хімічний вплив для видалення компонентів намагаються не застосовувати, доки це можливо. За необхідності такі операції проводять під витяжкою, щоб зібрати гази, що виділяються. Компоненти, з яких можна вилучити метал (наприклад, золото з друкованих плат), зберігаються окремо.

Вилучення таких матеріалів стає економічно вигідним лише за умови накопичення великої кількості деталей, що містять золото.

Етап 5. Пакування та реалізація. Вилучені корисні компоненти сортуються і пакуються у поліетиленові пакети, а потім продаються на вторинному ринку. Наприклад, пакунки з 5–10 гвинтів, конденсаторів, крил вентилятора та інших деталей продають місцевим сервісним центрам або на державному ринку. Окремі упаковані компоненти реалізуються великим виробникам комп'ютерів. У багатьох випадках компанії, що виробляють основні торговельні марки, також є потенційними споживачами цих деталей.

2) Автоматизована обробка

Автоматизований процес обробки починається з сухої механічної сепарації, яка підходить для рециклінгу друкованих плат та іншого «комплексного лому». Цей процес має три основні стадії: подрібнення, сканування і розділення за густиною (РПГ), коли складні матеріали поділяються на їхні складові компоненти, що дозволяє отримувати окремі метали у чистому вигляді.

Для розділення використовуються такі технології:

Розділення зануренням у ванну (флотація). Ця операція ґрунтується на принципі відокремлення матеріалів різної густини у рідині з проміжною густиною. Матеріал із меншою густиною порівняно з рідиною спливає, а з більшою – занурюється. При цьому утворюються дві тверді фракції: метали та пластик, які додатково розділяються за допомогою вихрових струмів і змінного струму. Ці матеріали в подальшому йдуть на переплавку.

Розділення вихровими струмами. Матеріал проходить через горизонтальну колонку фільтрів, що вібрує під дією струму, який через неї проходить. Залежно від ваги частинки потрапляють у різні сектори, таким чином відокремлюються чорні метали від кольорових.

Розділення змінним струмом. Цим методом розділяють кольорові метали. Спосіб ґрунтується на комбінованій дії змінного струму та магнітного поля. Завдяки цьому можна розділяти частинки різної густини й розміру. Цей процес використовується для виділення дорогоцінних металів, таких як золото та платина, з друкованих плат, мікросхем, контактних голок, роз'ємів тощо. Дорогоцінні метали вилучають за допомогою соляної кислоти та солі за від'ємних

температур, що замінює застосування концентрованої азотної кислоти.

CRT-рециклінг

У цьому процесі використовується пристрій з алмазними ріжучими дисками. Цей сепаратор призначений для безпечної переробки катодно-променевих трубок (CRT) від телевізорів та комп'ютерних моніторів різних типів і розмірів. Трубка послідовно у три етапи розбирається на різні фракції. Процес є напівавтоматичним і дає продуктивність близько 45 CRT на годину (для різних моделей). Висока точність, з якою алмазна пилка відокремлює панель від скляної частини, дозволяє отримувати більше скла, яке йде на переплавку, що заощаджує енергію та сировинні ресурси.

Після завершення розділення скло конвеєром спрямовується на станцію вакуумного очищення, де з нього видаляють тьмову масу та флуоресцентне покриття. У камері різання процес відбувається за тиску, нижчого від атмосферного. Вентиляційна система контролює та збирає пил під час процесу різання.

Кейс-стаді: «Переробка електронних відходів у громадах»

Ситуація

Невелика міська громада (населення – близько 50 тисяч осіб) останніми роками помітила значне зростання обсягу електронних відходів (комп'ютерні комплектуючі, мобільні телефони, телевізори, побутова техніка тощо). Міське звалище не має спеціальних умов для утилізації такого роду відходів, а свідомість населення про шкоду електронного сміття для довкілля поки що низька.

У той же час у регіоні знаходиться ремонтний сервісний центр «TechRepair», який має досвід демонтажу та лагодження електронного обладнання. Його власник розглядає можливість розширення бізнесу до пункту збирання та первинного сортування електронних відходів.

Міська рада готова виділити невелике приміщення та почати пілотну програму збирання електронних відходів, але вона потребує практичних рішень і, головне, розуміння процесу переробки. Додатково громада хоче оцінити економічну доцільність і екологічний ефект від такого заходу.

Завдання

Власник «TechRepair» спільно з міською радою та екологічними активістами мають розробити план створення і запуску міні-центру збирання та ручної обробки електронних відходів, а в подальшому – можливої співпраці з автоматизованими лініями переробки за межами міста.

Ключові аспекти, які потрібно врахувати:

1. Інфраструктура:

Приміщення для зберігання і первинного сортування електронних відходів.

Безпека та вентиляція робочого місця.

2. Кадрове забезпечення:

Пошук і навчання кількох працівників, які зможуть проводити демонтаж і сортування деталей.

3. Технологічний процес (Етапи ручної обробки):

Розвантаження та перевірка.

Демонтаж і сортування компонентів.

Вилучення матеріалів, що можуть бути реалізовані на вторинному ринку (наприклад, мідь, алюміній, плати з вмістом дорогоцінних металів).

Пакування та продаж.

4. Співпраця з партнерськими підприємствами:

Пошук автоматизованої лінії, куди можна передавати залишкові відходи або складні компоненти для глибшої переробки.

Укладання договорів на реалізацію корисних компонентів (золотовмісні плати, кабелі тощо).

5. Фінансова складова:

Оцінка потенційних прибутків від продажу вилучених матеріалів (корисні метали, працездатні деталі).

Оцінка витрат на облаштування, зарплати, навчання персоналу, витратні матеріали.

6. Екологічна доцільність:

Зменшення обсягу відходів на звалищі.

Запобігання викидам шкідливих речовин (наприклад, свинцю з плат) у навколишнє середовище.

Роз'яснювальна робота серед населення щодо необхідності правильної утилізації електронних приладів.

7. Виклики та проблеми

Низька обізнаність населення: багато людей не розуміють небезпеки електронного сміття, тому продовжують викидати стару електроніку разом зі звичайними відходами.

Організація логістики: як зручно та економічно ефективно зібрати електронні відходи з усієї громади?

Відсутність досвіду: невеликий сервісний центр не має великого штату чи складних технологій для обробки великого обсягу відходів.

8. Фінансування: відкриття пункту збору і переробки вимагатиме додаткових коштів. Чи підтримає громада цю ініціативу?

9. Законодавчі обмеження: необхідно дотримуватися державних регуляцій щодо поводження з небезпечними компонентами та оформити відповідні ліцензії.

10. Можливі шляхи вирішення

Створення пунктів прийому електронного сміття у місті (наприклад, на базі «TechRepair»).

Проведення інформаційних кампаній для населення про шкоду неправильного викидання електроніки.

Навчання та сертифікація персоналу, який займатиметься ручною обробкою: демонтаж, сортування, відокремлення цінних металів та ін.

Співпраця з підприємствами, що мають автоматизовані лінії (можливо, в сусідньому обласному центрі) для поглибленої обробки складних компонентів.

Фінансова модель з розрахунком потенційного доходу від продажу вилучених деталей і металів, а також витрат на інфраструктуру та персонал.

Завдання для аналізу

1) Оцініть, які етапи ручної обробки можна ефективно впровадити на міні-центрі при «TechRepair» і які навички потрібно розвивати у працівників.

2) Порівняйте дві моделі: запуск лише ручної обробки з реалізацією відсортованих компонентів; співпраця з великою автоматизованою лінією переробки (зокрема, для вивозу складних або дорогоцінних матеріалів).

3) Розрахуйте орієнтовні витрати на створення пункту збору та сортування (оренда/ремонт приміщення, закупівля інструментів, навчання персоналу) і потенційний дохід, якщо за місяць зібрати та переробити 1000 кг різних електронних відходів.

4) Запропонуйте стратегію, як заохочувати мешканців здавати електронні відходи правильно (наприклад, пункти прийому на вихідних, знижки або купони, інформаційні лекції в школах тощо).

5) Поміркуйте про екологічний вплив: як зменшаться обсяги небезпечних речовин на звалищі та які позитивні наслідки для громади це матиме?

Ролі учасників кейсу (при груповому опрацюванні):

Представник міської ради: відповідає за пошук приміщення та організацію фінансування з боку громади, а також за інформаційну кампанію серед населення.

Власник сервісного центру «TechRepair»: забезпечує первинну обробку, контроль якості демонтажу та сортування, організовує збут цінних компонентів.

Еколог або екологічний активіст: роз'яснює населенню екологічні ризики, допомагає складати плани зі зменшення негативного впливу на довкілля, залучає місцеві та міжнародні екопроекти.

Керівник автоматизованої лінії (партнер): приймає великі партії складних у переробці відходів, укладає договір на обробку друкованих плат, CRT-трубок тощо.

Фінансист або бухгалтер проекту: розраховує економічні показники, шукає можливі гранти чи інші форми фінансової підтримки.

Питання для обговорення (рефлексії):

Як зміниться свідомість і поведінка мешканців громади за умови активної просвітницької кампанії про безпеку електронних відходів?

Чи завжди економічна вигода може бути основним фактором впровадження програм рециклінгу, чи важливіше поставити на перший план екологічну безпеку?

Які ризики можуть виникнути при розширенні процесу ручної обробки, якщо громада почне здавати набагато більше електронного сміття, ніж очікувалося?

Як забезпечити сталість (тривале існування) такого проекту, щоб він не був одноразовою ініціативою?

Які правові чи бюрократичні бар'єри можуть завадити розвитку локального бізнесу з переробки електронних відходів?

Питання для самоконтролю:

1. Які основні етапи передбачає ручна обробка електронних відходів?
2. Як відбувається демонтаж електронних пристроїв під час ручної обробки, і чому важлива хороша вентиляція на цьому етапі?
3. Для чого виконується сортування відокремлених деталей за типами (наприклад, плати, накопичувачі, вентилятори тощо)?
4. Які методи (механічні, термічні, хімічні) застосовуються на етапі вилучення матеріалу та чому намагаються мінімізувати нагрів і хімічний вплив?
5. Коли вилучення дорогоцінних металів (наприклад, золота) стає економічно вигідним?
6. Опишіть принцип роботи методу флотації (розділення зануренням у ванну).
7. Чим відрізняються методи розділення матеріалів за допомогою вихрових струмів та змінного струму?
8. Що таке CRT-рециклінг і для чого використовують алмазні ріжучі диски?

Практична робота № 7

Тема: Знешкодження та нейтралізація токсичних відходів

Мета роботи: знайомлення з основними способами знешкодження та нейтралізації токсичних відходів (термічним, нейтралізаційним, трансмутаційним, композиційним тощо), набутті теоретичних знань щодо їх впровадження на практиці, а також формуванні розуміння екологічних та безпекових аспектів утилізації відходів задля отримання з них екологічно чистих матеріалів та продукції.

Термічне знешкодження відходів

Термічне знешкодження відходів передбачає попереднє подрібнення відходів, а потім їх спалювання в печах за температури не нижче 1000 °С. Після печей продукти потрапляють у камеру допалювання за температури 1200–1400 °С, де досягається повне окиснення продуктів неповного згорання. Далі відхідні газы

спрямовуються на очищення, а утворений шлак відправляють на захоронення.

Як правило, в більшості випадків доцільно доповнювати ці температурні межі: у камері допалювання відхідних газів необхідно підвищити температуру до температури розкладання, а отримані шлаки, залежно від їхнього хімічного складу, спрямовувати на виробництво будівельних матеріалів, доріг, очисних споруд або на отримання рідкісноземельних матеріалів тощо.

Термічне знешкодження одних відходів доцільно поєднувати зі знешкодженням інших відходів, а також об'єднувати їх для отримання нових хімічних сполук і речовин, що суттєво підвищить загальну ефективність процесу.

Нейтралізація токсичних відходів

Принциповим вирішенням екологічної проблеми з токсичними відходами є їхня повна переробка за безвідходними екологічно чистими технологіями: трансмутаційними, біобактеріальними, резонансними, синергетичними, нейтралізаційними, термічними, композиційними (спільна переробка кількох видів відходів) та багатьма іншими. При цьому екологічні проблеми розв'язуються у два етапи:

I етап – ліквідація токсичності відходів і перетворення їх на безпечні матеріали;

II етап – застосування багатьох звичайних існуючих технологій виробництва з отриманих матеріалів цінної продукції з широкою сферою використання і високою ефективністю.

При цьому найбільшою ефективністю вирізняються композиційні технології – гармонійне об'єднання кількох видів відходів.

Трансмутаційні технології – перетворення одних хімічних елементів на інші під впливом електромагнітної енергії з оптимальним співвідношенням магнітних та електричних полів під час спільної переробки з іншими відходами, які виступають донорами додаткових електронів і нуклонів.

Біобактеріальні технології – внесення у відходи азотовмісних бактерій та активованого торфу у складі біодинамічних компостів, що суттєво знижують радіоактивність відходів.

Резонансні технології – обробка відходів резонансними методами, коли додається енергія з частотою коливань, рівною частоті власних коливань вузлів кристалічних ґраток токсичних елементів, що різко

збільшує амплітуду і, у підсумку, призводить до утворення нових елементів та наночастинок.

Синергетичні технології – технології, засновані на процесах самоорганізації за участю інших відходів під впливом різних технологічних параметрів.

Нейтралізаційні технології – нейтралізація токсичних елементів під впливом добавок різних хімічних сполук, які перетворюють токсичні елементи на нетоксичні. Наприклад, під час знешкодження ціановмісних відходів їх розчиняють і обробляють гіпохлоритом, що знижує токсичність відходів у 1000 разів.

У відділенні обробки гальванічних відходів токсичні метали переводять у менш токсичні або важкорозчинні сполуки. Так, у хромовмісних гальванічних стоках хром перебуває у токсичному шестивалентному стані Cr^{6+} . Його відновлюють розчином сульфатної кислоти та залізним купоросом до стану Cr^{3+} , а потім обробляють лугами для отримання $\text{Cr}(\text{OH})_3$. Зазвичай цю сполуку передають на захоронення, а не на отримання цінних продуктів.

Термічні технології – нагрівання або плавлення токсичних відходів разом з іншими відходами.

Композиційні технології – змішування токсичних відходів з іншими токсичними або нетоксичними відходами на основі аналізу їхнього хімічного складу.

Прикладом зразкової композиційної технології є з'єднання металевого натрію (вибухонебезпечна речовина через його швидку реакцію з водою) і газу-хлору (отруйна речовина) з утворенням кухонної солі NaCl – речовини, без якої людина практично не може жити.

Інноваційними є способи, які дають змогу суттєво підвищити продуктивність утилізації та поліпшити екологічний стан довкілля.

Поставленого завдання досягають тим, що у способі утилізації твердих токсичних промислових відходів, який включає змішування твердих токсичних промислових відходів, що є окисником або відновником, із реагентом-окисником або реагентом-відновником у конденсованому стані в співвідношенні, що забезпечує перебіг екзотермічної реакції, та здійснення вибухового горіння в адіабатичному режимі у фронті самопоширюваної хімічної реакції, вибухове горіння проводять із використанням речовин, які регулюють теплоту реакції, каталізатора вибухового горіння та

речовин, що нейтралізують інгібітори ланцюгових вільнорадикальних процесів, зокрема пероксиду барію або нітриту натрію.

Реагент може бути твердим токсичним промисловим відходом. Як каталізатор вибухового горіння використовують солі літію, кобальту, марганцю, міді, заліза.

Під час змішування відходів додатково вводять гелеутворювач у кількості від 0,1 до 5 мас.% із ряду: карбоксиметилцелюлоза, полиметакрилова та поліакрилова кислоти, а суміш перетворюють на гель додаванням солей кальцію або магнію в кількості 0,01–0,5 мас.%.

Під час змішування відходів додатково вводять шлакоутворювальні добавки у вигляді карбонату кальцію або магнію в кількості, еквівалентній умісту галогенів у суміші.

Процес відбувається в адіабатичному режимі, і вся теплота хімічного перетворення використовується для нагрівання реакційної суміші. При цьому окисник і відновник (один або обидва з яких є токсичними відходами) змішують у конденсованому стані (твердому чи рідкому), а потім піддають дії ініціюючого заряду, який забезпечує достатній ударний вплив на суміш, формуючи ударну хвилю. Для реалізації запропонованого способу можна використовувати стандартне обладнання для проведення вибухових робіт

Температура вибуху істотно перевищує температуру вогневого знешкодження на 200-900 °С. За дотримання кисневого балансу виключається реакція утворення нітрозних газів, оскільки немає надлишку кисню та азоту. Реакція відбувається в зоні самопоширюваної хімічної реакції, де горіння відбувається в адіабатичних умовах, і температура оброблення відходів є максимальною – фактично дорівнює рівноважній (1500-4000 °С). Умови детонації підвищують цю температуру ще більше за рахунок зростання тиску (ударна хвиля) та кінетичної енергії газів вибуху, і вона може бути в 2-5 разів вищою за рівноважну температуру. Завдяки цьому повнота реакції може збільшитися, а повторне забруднення через непрореаговані речовини – бути виключене.

Приклади реалізації способу

Приклад 1

Змішують аміачну селітру (16 мас.ч., кисневий баланс +20,0) і кубовий залишок перегонки стиrolу (1,0 мас.ч., кисневий баланс – 320,0). Отримують вибухову речовину (ВР) типу ігданіт. Температура вибуху – 2400 °С, критичний діаметр – 120 мм, теплота вибуху – 3800 кДж/кг, густина – 1,1 г/см³. Вибухове горіння протягом 8 с без детонації спостерігається для зразків по 200 г. Полум'я – без кіптяви.

Приклад 2

Змішують натрієву селітру (14 мас.ч., кисневий баланс +47), кубовий залишок виробництва хлорпірифосу (2 мас.ч., кисневий баланс –312) і порошок алюмінію (1 мас.ч., кисневий баланс –89). Отримують аналог «грануліта». Температура вибуху – 2900 °С, критичний діаметр – 140 мм, теплота вибуху – 3960 кДж/кг, густина – 1,2 г/см³. Вибухове горіння за 4 с без детонації спостерігається для зразків у 200 г. Нижня межа критичної маси для детонації за густини 1,1 г/см³ становить не менше 1000 г. Під час горіння утворюється білий дим без кіптяви.

Приклад 3

Змішують перхлорат калію (6 мас.ч., кисневий баланс +46,2) з відпрацьованою трансформаторною олією (1 мас.ч., кисневий баланс –312) і нафтенатом алюмінію (0,1 мас.ч.). Температура вибуху – 2400 °С, критичний діаметр – 10 мм, теплота вибуху – 3678 кДж/кг, густина – 1,1 г/см³. Вибухове горіння за 1 с без детонації спостерігається для зразків у 5,0 г. Нижня межа критичної маси для детонації за густини 1,2 г/см³ становить не менше 10 г. Під час горіння утворюється білий дим без кіптяви.

Приклад 4

Змішують прострочений перманганат калію (5 мас.ч.) з простроченим аспірином (1 мас.ч.) та алюмінієвою пудрою в кількості 0,1 мас.ч. Температура вибуху – 2100 °С, критичний діаметр – 10 мм, теплота вибуху – 2312 кДж/кг, густина – 1,5 г/см³. Вибухове горіння за 1 с без детонації спостерігається для зразків у 2,0 г. Нижня межа критичної маси для детонації за густини 1,4 г/см³ становить не менше 10,0 г. Під час горіння утворюється бурого кольору дим без кіптяви.

Приклад 5

Ампули з протигрипозною сироваткою із простроченим терміном зберігання в кількості 10 мас.ч. подрібнюють і змішують з

активованим вугіллям (2 мас.ч.). Суміш поміщають у картонну ємність на 200 мл, туди ж розміщують два електроди та додають рідкий кисень у кількості 10 мас.ч. Ємність розміщено в шурфі діаметром 50 мм, глибиною 500 мм. Суміш ініціюють електричним струмом напругою 220 В, силою 12 А протягом 0,1 с. У суміші відбувається вибухове горіння в камуфлетній (герметичній) ємності. Гази вибуху не містять кіптяви, аналіз на монооксид вуглецю показав відсутність токсичних газів.

Приклад 6

Змішують інсектицидний гелевий препарат «Комбат» із простроченим терміном зберігання, що містить 2 мас.% хлорпірифосу, у кількості 1 мас.ч., з 5 мас.ч. хлорату натрію, 0,2 мас.ч. алюмінієвої пудри в 1 мас.ч. гліцерину; додатково вводять 0,01 мас.ч. хлорату літію як каталізатор та 0,01 мас.ч. олеату натрію (змочувач). Суміш поміщають у контейнер з алюмінієвої фольги, туди ж розміщують два електроди і поміщають у шурф завдовжки 500 мм і діаметром 50 мм. Подають ініціюючий імпульс струму напругою 5 кВ, тривалістю 0,01 с. Відбувається вибухове горіння суміші з утворенням білого диму без кіптяви, токсичних газів і запаху на місці горіння не виявлено.

Приклад 7

До відходу гальванічного виробництва, що містить 30% хромового ангідриду, 12% сульфату хрому(3), 10% сульфатної кислоти в кількості 2 мас.ч., додатково вводять 2 мас.ч. нітрату натрію, як відновник – 1 мас.ч. відпрацьованої машинної оливи, як желатинізатор – 0,05 мас.ч. поліакрилової кислоти, перемішують до загущення. Після загущення 200 г гелеоподібної суміші поміщають у контейнер об'ємом 0,25 дм³ і підривають ініціюючим зарядом у шурфі глибиною 1000 мм, діаметром 100 мм. Вибух відбувся камуфлетно, вибухові газы мають сірий відтінок, без кіптяви. У пробі ґрунту на поверхні хром (VI) не виявлено.

Існує багато інших комбінованих технологій переробки токсичних відходів, проте їхня сутність залишається спільною: спочатку нейтралізувати токсичні відходи, а потім виготовити з них екологічно чисті матеріали та вироби за найновішими технологіями.

Кейс-стаді: «Запровадження комплексних технологій знешкодження токсичних відходів у промисловому районі»

Ситуація:

У промисловій зоні великого міста розташовані декілька підприємств, серед яких:

– Гальванічний цех «МеталПро», де здійснюють покриття металевих виробів хромом, нікелем та іншими металами.

– Хімічний завод «ХлорТех», що виробляє різні хлорвмісні реагенти та пестициди для сільського господарства.

– Експериментальна лабораторія «Наукпром», яка розробляє нові хімічні сполуки й матеріали, у результаті чого акумулює невеликі партії різноманітних токсичних відходів, у тому числі органічні розчинники, радіоактивно забруднені реактиви тощо.

Довгий час усі три підприємства по-різному утилізували свої небезпечні відходи. «МеталПро» вивозив хромовмісні та кислотні стоки на звичайне міське звалище (за домовленістю з місцевим управлінням), але це створювало ризик поширення токсичних сполук у ґрунті. «ХлорТех» передавав відходи на підрядну фірму для спалювання у промислових печах, але без контролю додаткової обробки шлаку. «Наукпром» накопичував хімреагенти у закритих бочках, оскільки їхні обсяги були малими і не проходили по економічній нормі для спеціалізованої переробки.

З часом, через посилення екологічного законодавства та скарги місцевих жителів, громада й міська адміністрація почали вимагати більш безпечного й прозорого способу поводження з токсичними відходами.

1. Основна проблема

Гальванічні стоки і шлами, що містять шестивалентний хром (Cr^{6+}), становлять значну токсичну небезпеку.

Хлорвмісні рештки можуть призводити до утворення діоксинів, фосгену та інших надзвичайно небезпечних речовин у разі неконтрольованого спалювання.

Різноманітні токсичні відходи від лабораторії «Наукпром» містять важкі метали, органічні розчинники та, можливо, радіоактивні ізотопи в малих концентраціях.

У результаті, екологічна ситуація в районі погіршилася, а підприємства зіткнулися з перспективою великих штрафів і навіть примусового закриття.

2. Завдання від міської адміністрації

Розробити єдиний комплексний план знешкодження та нейтралізації токсичних відходів, який був би придатний для всіх трьох підприємств.

Зменшити негативний вплив на довкілля та запобігти поширенню шкідливих речовин у ґрунт і воду.

Налагодити систему збору та обробки небезпечних матеріалів, передбачивши різні технології: термічну, хімічну, біобактеріальну, композиційну тощо.

Забезпечити рентабельність процесу та прозоре ведення документації, щоби виправдати інвестиції та зменшити витрати підприємств.

3. Можливі шляхи вирішення (Технологічні варіанти)

Термічне знешкодження

Створити або орендувати спеціалізовану піч, яка спалює відходи при температурі не нижче 1000 °С, з обов'язковою камерою допалювання (1200–1400 °С).

Передбачити фільтри та скрубери для відвідних газів, а утворений шлак контролювати за складом і, за можливості, використовувати для виробництва будматеріалів.

Нейтралізаційні та композиційні технології

Знизити токсичність відходів (зокрема Cr^{6+} до Cr^{3+}) за допомогою відновлювальних реагентів (сульфатна кислота + залізний купорос).

Впровадити технологію спільної переробки (композицію) хлорвмісних решток із відходами інших підприємств, щоби нейтралізувати токсини й отримувати безпечні сполуки.

Біобактеріальні й резонансні методи

Залучити екоспеціалістів для використання азотовмісних бактерій, що можуть частково знижувати радіоактивність та розкласти органічні токсини.

Розглянути можливість експериментальних резонансних методів для переробки малих партій особливо небезпечних речовин із «Наукпрому».

Вибухове горіння (інноваційні способи)

Якщо вдасться забезпечити відповідне технічне обладнання та безпечні умови, частину твердих токсичних відходів можна піддавати адіабатичному вибуховому горінню з регуляцією теплового балансу і використанням каталізаторів (солі літію, кобальту тощо).

4. Виклики та обмеження

Фінансування: підприємства не готові інвестувати великі кошти у дороговартісне обладнання без гарантій швидкої окупності.

Кадрове забезпечення: спеціалісти з утилізації та знешкодження мають бути навчені сучасним технологіям і методам безпечної роботи.

Легальна база: необхідно враховувати державні регламенти, отримати ліцензії для роботи з небезпечними речовинами та врахувати всі норми з охорони праці.

Екологічні ризики: неправильне впровадження технологій може спричинити вибухи, пожежі або вторинне забруднення довкілля.

Завдання:

Розробити план розміщення комплексу термічної установки та описати етапи спалювання, допалювання й очищення газів.

Запропонувати технологічну схему знешкодження гальванічних (хромовмісних) відходів: обґрунтувати вибір реагентів і методів нейтралізації.

Обґрунтувати варіанти використання композиційних та нейтралізаційних технологій для одночасної обробки відходів із різним хімічним складом (наприклад, з'єднання кислотних і лужних відходів).

Визначити, за яких умов доцільне застосування вибухового горіння (які види відходів, безпекові вимоги, передбачуваний економічний ефект).

Оцінити економічну складову: порівняти вартість облаштування печі для термічного знешкодження та впровадження інноваційних методів (наприклад, адіабатичного горіння, резонансних технологій).

Продумати стратегію моніторингу стану довкілля: як відстежувати рівень хрому в ґрунті, які аналізи води робити, як перевіряти повітря на наявність небезпечних газів.

Питання для обговорення (рефлексії):

Які переваги й недоліки має термічне знешкодження у порівнянні з композиційними чи біобактеріальними методами?

Як на процес нейтралізації токсичних відходів впливають температура, тиск і наявність інгібіторів?

Яку роль може відігравати державна підтримка (фінансова, нормативна, інформаційна) у впровадженні безпечних технологій знешкодження відходів?

Чи варто підприємствам співпрацювати та створювати спільний центр переробки? Які ризики та вигоди?

Які заходи безпеки слід вжити під час використання вибухових або високотемпературних технологій?

Питання для самоконтролю:

1. У чому полягає суть термічного знешкодження відходів?
2. Які переваги та недоліки має термічне знешкодження в порівнянні з іншими методами нейтралізації?
3. Що означає «спільна переробка» (композиційний метод) токсичних відходів і чому вона може бути ефективнішою, ніж індивідуальне знешкодження кожного виду відходів?
4. На які дві стадії поділяють процес розв'язання екологічних проблем із токсичними відходами? У чому сутність кожної стадії?
5. У чому особливість та мета «вибухового горіння» (адіабатичного режиму)? Як воно дозволяє зменшити кількість непрореагованих токсичних речовин?
6. Чому важливо контролювати «кисневий баланс» у суміші, що підлягає вибуховому горінню?
7. Які негативні наслідки можуть виникнути за надлишку кисню чи азоту?
8. На чому ґрунтуються біобактеріальні технології знешкодження відходів? У яких випадках їх використання є найдоцільнішим?
9. Як перевіряють результативність проведених операцій з утилізації токсичних відходів? Які показники контролю екологічної безпеки зазвичай аналізують?

Рекомендована література

1. Барінов М.О., Олексієвець І.Л., Родная Д.В., Журавель Т.В. та ін. Практичні аспекти управління відходами в Україні. Посібник. К. : «Поліграф плюс». 2021. 118 с.
2. Душкін С.С, Дегтяр М.В. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія утилізації твердих побутових відходів» Харк. нац. акад. міськ. госп-ва Х: ХНАМГ, 2011.- 86 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5591794/>

3. Крисоватий А.І., Зварич, Р.Є, Зварич І.Я. Циркулярна політика управління відходами: підручник. Тернопіль : ЗУНУ, 2023. 458 с.
4. Кропівний В.М., Медведева О.В., Кропівна А.В., Кузик О.В. Утилізація та рекуперація відходів. Навчальний посібник. Загальна редакція В.М. Кропівного. – Кропивницький: ЦНТУ, Електронне видання, 2020. с. 440.
5. Орфанова, М. М. Утилізація та рекуперація відходів : конспект лекцій. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2010. 100 с. [Електронний ресурс].
Режим доступу:
<http://194.44.112.13/chytalna/2441/index.html#p=2>