

Міністерство освіти і науки України

Центральноукраїнський національний технічний університет

В.М. КРОПІВНИЙ, О.В.МЕДВЕДЄВА, А.В.КРОПІВНА, О.В.КУЗИК

Управління та поводження з відходами

Навчальний посібник



Кропивницький 2025

Управління та поводження з відходами. Навчальний посібник / В.М. Кропівний, О.В. Медведєва, А.В. Кропівна, О.В.Кузик // Загальна редакція В.М.Кропівного. – Кропивницький: ЦНТУ, Електронне видання, 2025. – с. 567

Навчальний посібник спрямований на ознайомлення з заходами управління відходами, також технологічними процесами та обладнанням для поводження з відходами. Розглядаються питання техніко – економічного аналізу технологій відновлення відходів та їх впливу на навколишнє середовище. Метою даного навчального посібника є ознайомлення студентів спеціальності Е2 «Екологія» з проблемами збирання та оброблення відходів виробництва та споживання в центральнотехнічному регіоні і шляхи їх вирішення. Розглядаються результати наукових досліджень українських та зарубіжних вчених та конкретні приклади технологій відновлення відходів.

Укладачі:

Кропівний В. М. – к.т.н., проф. каф."МЛВ" ЦНТУ;

Медведєва О. В. – к.т.н., доц., зав. каф. "ЕОНС" ЦНТУ;

Кропівна А. В. – к.т.н., доц. каф. "МЛВ" ЦНТУ;

Кузик О.В. – к.т.н., доц. зав. каф. "МЛВ" ЦНТУ.

Друкується згідно рішення вченої ради Центральнотехнічного національного технічного університету (протокол № 9 від 28.04.2025 р.)

Рецензенти:

Сало В.М. – д.т.н., проф. кафедри сільськогосподарського машинобудування ЦНТУ;

Дубровський В. Ю. – директор департаменту екології та природних ресурсів Кіровоградської обласної державної адміністрації;

Пустовіт С.Л - директор Кіровоградської науково-виробничої фірми «ЕкоЦентр».

© Центральнотехнічний національний технічний університет, 2025

© Кропівний В.М., Медведєва О.В., Кропівна А.В., Кузик О.В., 2025

ЗМІСТ

Стор.

	ВСТУП	6
1	Загальні питання поводження з відходами	9
1.1	Джерела утворення відходів	9
1.2	Класифікація відходів	15
1.3	Законодавче регулювання у сфері поводження з відходами	35
1.4	Управління відходами	45
1.5	Ієрархія управління відходами в умовах циркулярної економіки	49
1.6	Основні способи поводження з відходами	68
1.6.1	Видалення, складування і захоронення відходів	68
1.6.2	Переробка відходів в енергію	87
1.6.3	Відновлення матеріалів з відходів	93
2	Сміттєспалювання	98
2.1	Відновлення відходів шляхом сміттєспалювання	99
2.2	Сучасні сміттєспалювальні заводи	109
2.3	Очищення димових газів сміттєспалювальних заводів	126
2.4	Сміттєспалювальний завод «Енергія» (м.Київ)	137
2.5	Поводження з медичними відходами	140
2.6	Плазмовий метод відновлення та видалення відходів	151
3	Збір, транспортування та сортування відходів	157
3.1	Технології збирання і транспортування відходів	158
3.2	Прес-компактори та вертикальні пакувальні преси	174
3.3	Станції перевантаження відходів	181
3.4	Сортування твердих побутових відходів	184
3.5	Автоматизоване сортування відходів	200
3.6	Виробництво RDF-палива	204
4	Відновлення відходів пластмас	210
4.1	Нанесення відходами пластмас екологічної шкоди довкіллю	210
4.2	Можливості переробки полімерних відходів	216
4.3	Рециклінгова переробка полімерних відходів	220
4.4	Механічний рециклінг полімерних матеріалів	226
4.5	Приклади застосування вторинних полімерних матеріалів	241
5	Відновлення гумових відходів	246
5.1	Відновлення зношених автомобільних шин шляхом спалювання	251
5.2	Переробка гумових відходів у крихту	252
5.3	Регенерація гуми	260
5.4	Піроліз гумових відходів	261

6	Регенерація відпрацьованих олив	273
6.1	Фізичні методи регенерації відпрацьованих олив	279
6.2	Фізико-хімічні методи регенерації відпрацьованих олив	283
6.3	Хімічні методи регенерації відпрацьованих олив	287
7	Відновлення ртутьвмісних відходів	292
8	Відновлення матеріалів автономних джерел живлення та електронного брухту	304
8.1	Особливості будови автономних джерел живлення	307
8.2	Технологія відновлення матеріалів автономних джерел живлення	312
8.3	Відновлення матеріалів свинцево-кислотних акумуляторів	316
8.4	Рециклінгова переробка літєвих акумуляторів	322
8.5	Відновлення електронних та електротехнічних відходів	331
9	Поводження з відходами сільськогосподарського виробництва	352
9.1	Анаеробні процеси відновлення відходів сільськогосподарського виробництва	354
9.2	Збір біогазу на звалищах твердих побутових відходів	371
9.3	Аеробна ферментація при переробці органічних відходів	376
9.4	Вермікомпостування	387
9.5	Виробництво паливних гранул і брикетів	390
9.6	Виробництво палива з енергетичних швидкоростучих рослин	405
9.7.	Поводження з кавовою гущею, що утворюється у закладах громадського харчування	407
10	Відновлення макулатури	416
10.1	Розволокнення макулатури	421
10.2	Очистка та сортування макулатурної маси	424
10.3	Видалення друкарської фарби та відбілювання макулатурної маси	428
10.4	Формування паперового полотна	429
11	Відновлення скляних відходів	432
12	Рециклінг металобрухту	447
12.1	Законодавство України у сфері поводження з металобрухтом	448
12.2	Класифікація металобрухту	450
12.3	Способи переробки металобрухту	455
12.4	Рециклінгова переробка зношених автомобілів	464
12.5	Рециклінгова переробка суднового брухту	469
13	Відновлення відходів гірничо-металургійної галузі	472
13.1	Відновлення техногенних родовищ	472

13.2	Управління відходами техногенних залізрудних родовищ	476
13.3	Обладнання для підготовки рудних відходів до відновлення	483
13.4	Відновлення відходів металургійного виробництва	487
13.5	Відновлення та видалення відходів вугледобування	504
14	Відновлення відходів теплоенергетики	514
15	Відновлення відходів будівництва та знесення	525
15.1	Рециклінгова переробка бетонних виробів	532
15.2	Рециклінг матеріалу асфальтобетонних покриттів	540
	Список використаних джерел	548
	ДОДАТОК 1. Інформація щодо розподілу функцій і повноважень структурних підрозділів органів державної влади та місцевого самоврядування, на які покладено функцію управління відходами та здійснення контролю в цій сфері	551
	ДОДАТОК 2. Державні програми, стратегії, плани дій щодо охорони навколишнього природного середовища	562

ВСТУП

Продукти та послуги є результатом значних технологічних перетворень матеріалів, починаючи з видобутку сировини, послідує виробництва матеріалів та виготовлення необхідних речей. З часом речі перетворюються у відходи, стають непотрібними та викидаються на звалища. Відходи є ненавмисним і неминучим наслідком використання продуктів, а також видобутку сировини та обробки матеріалів для виготовлення необхідних продуктів. За оцінками, у світі щорічно утворюється близько 20 Гт відходів переробки матеріалів та відходів речей, що втратили свою корисність. Це дорівнює середньому утворенню відходів у кількості 7,5 кілограмів на жителя нашої планети за один день. В більшості випадків існують технологічні можливості відновлення відходів, або подовження терміну використання речей і матеріалів.

Цей навчальний посібник призначений для студентів спеціальності Е2 «Екологія» і включає аналіз сучасних передових технологій управління основними видами твердих побутових та промислових відходів. З позицій циркулярної економіки на підставі положень закону України «Про управління відходами» викладено підходи до відновлення відходів, що спрямовані на досягнення глобальних цілей сталого розвитку людства.

Сучасний спосіб існування цивілізації заснований на видобутку сировинних матеріалів із родовищ корисних копалин, використовуючи які, відбувається порівняно рівномірне розповсюдження виробленої продукції по поверхні земної кулі. За минуле століття населення планети зросло з 1,6 мільярда до 6,1 мільярда, загальний обсяг економічного виробництва зріс з 1,9 до 37 трильйонів доларів США, людство розробило величезну кількість новітніх видів товарної продукції, наприклад, автомобілі, пасажирські літаки, телевізори, мобільні телефони тощо. Виробництво такої інтелектуальної продукції вимагає використання як більшого обсягу, так і більшої різноманітності матеріалів. На сьогодні спостерігається щорічне світове зростання видобутку і використання матеріалів за законом геометричній прогресії. Так, видобуток сировинних матеріалів у 1900 році мав обсяги приблизно в 10 разів менші, ніж у 2000 році.

Охорона навколишнього середовища тісно пов'язана зі станом ресурсозбереження, адже добування природних багатств з надр Землі завжди приносить значну екологічну шкоду довкіллю. Перед людством постають невідкладні задачі збереження навколишнього середовища:

- створення та розширення застосування маловідходних та безвідходних технологій виробництва;

- розробка технологій більш повного вилучення сировини з корисних копалин;

- комплексне використання сировини та відходів.

Найбільший обсяг добування корисних копалин припадає на мінеральне паливо. Для утворення природним шляхом родовищ вугілля, природного газу і нафти, які мають біологічне походження, необхідно мільйони років. Метали та мінерали, які не мають біологічного походження, також не можуть бути нескінченно доступними. Вже в найближчому майбутньому забезпечення людства мінеральними ресурсами при прискорених темпах споживання стане недостатнім. Перед людством постає завдання: навчитися більш ретельно і бережливо витрачати те, що ще залишилося в природі і, по можливості, готувати заміники зникаючим сировинним продуктам.

Дефіцит ряду матеріальних ресурсів, вичерпання природних родовищ, а в найбільшій мірі, забруднення відходами оточуючого середовища ставить перед людством, в числі першочергових задач, питання вивчення складу побутових відходів, логістики їх перевезення, системами їх відновлювальної переробки, впливу даних процесів на навколишнє середовище, дослідження технологічних систем по переробці відходів як енергетичних ресурсів, систем використання продуктів, отриманих від переробки сміття, а також економіко - соціальних складових. Відходи створюють негативний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людей. Засмічення, збір, обробка та захоронення відходів є причиною забруднення повітря, води та ґрунтів. Зменшення такого негативного впливу досягається шляхом запобігання утворенню відходів і використання більш чистих технологій збору, їх обробки та відновлення.

Видалення відходів на звалища є потенційною втратою природних ресурсів. Наприклад, видалення старих меблів означає, що матеріали, які колись були відібрані з природного середовища, більше не використовуються і, можливо, втрачені назавжди. Втрату даного ресурсу можна зменшити шляхом проведення ремонту меблів або спалювання їх з рекуперацією тепла на сучасному сміттєспалювальному заводі. Ці заходи дозволяють знову ввести цей вид відходів як ресурс в економіку.

Пропонований навчальний посібник допоможе майбутнім екологам, які вивчають дисципліну «Управління та поводження з відходами» отримати розуміння про процеси утворення відходів, а також про можливості їх відновлення та раціонального використання у якості вторинної сировини. Виклад навчального матеріалу базується на конкретних прикладах технологій утилізації відходів, приводиться техніко-економічний аналіз використовуваних технологій. Отримані в процесі вивчення курсу «Управління та поводження з

відходами» теоретичні та практичні знання сприятимуть формуванню висококваліфікованих та ерудованих фахівців.

При написанні цього посібника використано досвід викладання дисципліни «Управління та поводження з відходами» в Центральноукраїнському національному технічному університеті, систематизовано світовий досвід рециклінгу відходів, а також результати наукових досліджень українських та зарубіжних вчених. Матеріали даного посібника викладено у формі перепрацювання навчального посібника *Утилізація та рекуперація відходів. Навчальний посібник / В.М. Кропівний, О.В. Медведєва, А.В. Кропівна, О.В.Кузик // Загальна редакція В.М.Кропівного. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020* шляхом розширеного висвітлення новітніх практик поводження з відходами та змін у законодавстві України. У навчальному посібнику широко розкриваються проблемні питання в галузі поводження з відходами виробництва та споживання в центральноукраїнському регіоні та розглядаються шляхи їх вирішення.

Автори вдячні рецензентам за цінні вказівки, і будуть і будуть вдячні всім, хто надасть відгуки та зауваження, спрямовані на поліпшення змісту даного посібника.

1. Загальні питання поводження з відходами

1.1. Джерела утворення відходів

Для всього, що виробляє і використовує людство, використовуються певні матеріали. Ці матеріали відносяться до однієї з чотирьох основних категорій: біомаса, викопні енергоносії, металеві руди і неметалеві корисні копалини.

Атрибутом виробничої чи господарської людства є утворення відходів. З часом після використання виробу речі втрачають свою споживчу цінність та мають пройти цикл відновлення або бути видаленими. Стадії життєвого циклу матеріалів в економіці визначаються наступним чином:

1. Виробництво сировинних матеріалів шляхом виробництва, добування і обробки корисних копалин охоплює первинні галузі: сільське та лісове господарство, гірничу промисловість, розробку кар'єрів тощо;

2. Переробка первинної або вторинної сировини в готові матеріали та вироби. Ця стадія охоплює переробку сировини (наприклад, залізної руди або сталевих брухтів) у матеріали (наприклад, сталь), а потім у продукти (наприклад, автомобілі). Речовини, предмети, що утворюються при виробництві основної продукції і не є метою даного виробництва, але придатні як сировина в іншому виробництві чи для використання як готова продукція, розглядаються як побічні продукти, а не відходи;

3. Використання – це стадія життєвого циклу, на якій матеріали та продукти використовуються або спалюються, наприклад їжа та паливо, або використовуються в довготривалих цілях, таких як автомобілі та будівлі;

4. Обробка та відновлення відбуваються після вилучення з використання продукту споживачем або власником підприємства. Ця стадія включає заходи з розділення компонентів відходів, зменшення їх об'єму або шкідливого потенціалу, відновлення їх матеріальної чи енергетичної цінності;

5. Захоронення відходів є кінцевою стадією для матеріалів і продуктів, які не повертаються до попередніх стадій життєвого циклу. Матеріали деяких відходів з часом можуть бути вилучені зі звалищ та повернуті до виробництва за допомогою так званого «видобутку на звалищі» по мірі розвитку відновлювальних технологій.

Закон України «Про управління відходами» містить наступне визначення: «відходи - це будь-які речовини, матеріали і предмети, яких їх власник позбувається, має намір або повинен позбутися». Згідно визначення Статистичного відділу Організації Об'єднаних Націй: «відходи - це матеріали, які не є основними продуктами (тобто продуктами, виробленими для ринку), які виробник не має подальшого використання з точки зору його / її власних

цілей виробництва, перетворення або споживання, і які він/вона хоче видалити. Відходи можуть утворюватися під час видобутку сировини, переробки сировини в проміжну та кінцеву продукцію, споживання кінцевої продукції та інших видів діяльності людини».

До основних джерел утворення відходів відносяться наступні сектори економічної діяльності:

- добування корисних копалин. Цей сектор відповідає за видобуток викопного палива (вугілля, нафти, газу), металевих руд (наприклад, залізної руди, бокситів) і неметалічних корисних копалин (наприклад, каменю, солі). У цьому секторі утворюються переважно мінеральні відходи.

- сільське господарство, лісове господарство. У цьому секторі вирощують зернові культури, овочі, фрукти (наприклад, пшеницю, картоплю, яблука), розводять тварин (наприклад, велику рогату худобу, птицю). Він також відповідає за лісове господарство та лісозаготівлю (наприклад, виробництво деревини), полювання (наприклад, дичина) і рибальство (дикий вилов) і аквакультуру (вирощування риби та водних рослин в штучних умовах). Цей сектор переважно утворює відходи біологічного характеру.

- промисловість. Цей сектор використовує сировину для виробництва продуктів харчування, текстилю, паперу, хімікатів, пластмас, комп'ютерів, верстатів, автомобілів тощо. Підприємства, які постачають переважно електроенергію та газ, також відносяться до промисловості. Для кожного окремих процесу характерні дуже специфічні промислові відходи.

- будівництво. Цей сектор відповідає за створення будівельних споруд, включаючи житло, та інфраструктуру, таку як дороги, мости, тунелі та водні шляхи. Відходи цього сектора носять назву - відходи будівництва та знесення. Цей сектор виробляє значну кількість переважно мінеральних відходів.

- домашні господарства та послуги. Домашнє споживання та сектор послуг (наприклад, роздрібна торгівля, готельний бізнес) часто розглядаються разом, оскільки вони утворюють подібні відходи, які збираються разом як тверді побутові відходи.

У період Середньовіччя у містах всі побутові відходи викидали на вулиці перед будинками чи у найближчі річки. Це ставало причиною виникнення епідемій холери, чуми, і, в решті, стало змушувати владу міст замислюватися над питаннями санітарної чистоти міста. Сміття стали вивозити на сміттєві звалища за межі міст. Але шкідливість від такого поводження з відходами суттєво не знизилася. Замість звалища залишалися джерелами епідемій, притулками для тисяч щурів і мільйонів мух. На початку XIX століття в Англії спалахнула велика холерна епідемія. Причиною її було значне забруднення річок, і після їх ретельного обстеження, було видано закони щодо відведення

та очищення стічних вод. Людство почало усвідомлено вступати у фазу планомірної боротьби з відходами життєдіяльності. З'явилися перші підмітальні та сміттєзбиральні машини, а в 1870 році в лондонському передмісті Паддінгтон з'явилося перше сміттєспалювальне підприємство.

Зростання населення планети у період з 1960 по 2025 рік з 3 до 8 млрд людей до різкого зростання масштабів господарської діяльності, використання дедалі більшої кількості природних ресурсів, тотального посилення антропогенного тиску на довкілля та порушення екологічної рівноваги у природному навколишньому середовищі.

Впровадження нових технологій часто допомагають людству краще задовольняти потреби. Відбулося зростання потреб населення щодо придбання телевізорів, холодильників, ноутбуків тощо. Цей ефект посилюється схильністю людей купувати ті речі, що мають інші, щоб підвищити свій соціальний статус. Зі зростанням рівня доходів сім'ї стали мати по кілька автомобілів, смартфонів, великі колекції одягу, що було немислимим ще 100 років тому. Впровадження електричних машин привело не лише до будівництва електростанцій, але й до розбудови вугільних шахт та електричних мереж, залізничного та автомобільного транспорту, розвитку електроприладобудування. Це також стало поштовхом для розвитку чорної і кольорової металургії, транспортного машинобудування, дорожнього будівництва.

До основних причин перетворення певних продуктів у відходи, відносяться наступні моменти:

- цінність виробу може знизитися через знос, втомні руйнування або випадкове пошкодження. Наприклад, тостер може потребувати ремонту або обслуговування, що часто дорожче, ніж заміна. Окремі види продуктів можуть ставати відходами при перевищенні термінів придатності (наприклад, продукти харчування);

- продукт може швидко застаріти, коли на ринку з'являються нові продукти з кращою функціональністю. Новіший продукт може мати нижчу вартість використання (наприклад, витрати на технічне обслуговування) або може бути замінений принцип роботи (наприклад, на заміну автомобілям, що працюють на викопному паливі, приходять електричні автомобілі);

- продукт може стати непридатним через зміну обставин, уподобань чи законодавства. Наприклад, від наявного одягу відмовляються, коли діти підрастають і їм потрібні більші розміри або коли мода змінюється. Законодавство може зробити продукти менш привабливими, наприклад, коли податки на енергоносії роблять неекономічним використання старішого, менш ефективного обладнання;

- продукт може стати непотрібним, якщо законодавство забороняє його використання, наприклад, після визнання токсичними свинцевих фарб.

Згідно з даними Євростату, загальний обсяг відходів, утворених у ЄС у 2020 році всіма видами економічної діяльності та домогосподарствами, становив 2 135 млн т або 4815 кг на душу населення. З них відходи будівельної галузі у 2020 році становили 37,5% від загального обсягу, а відходи гірничодобувної промисловості і розроблення кар'єрів – 23,4%. За даними статистичних досліджень кількість відходів, що утворюється в процесі виробництва характеризується показником «1:10:100». Так, на 1 т кінцевого продукту утворюється 10 т відходів в процесі його виробництві і 100 т відходів - при видобутку сировини. Накопичений європейський досвід свідчить, що, в ряді випадків, матеріали відходів можуть ефективно замінювати первинні сировинні джерела, зменшуючи споживання ресурсів та сприяючи забезпеченню сировинної незалежності країн, створюючи додатковий експортний потенціал тощо.

У зарубіжній практиці поводження з відходами широко використовується термін «рециклінг» (від англ. recycling) - це процес переробки відходів в матеріал, який можна використовувати повторно. В результаті такої переробки отримують нову корисну продукцію - з макулатури виробляють туалетний папір, з пластика – сировину для виробництва нових пластикових виробів, з битого скла - нові тарні вироби тощо. До рециклінгу можна віднести усі види поводження з відходами, за виключенням захоронення та спалювання.

Сучасна цивілізація утворює стільки відходів, що їх збір, обробка, переробка та видалення перетворилися на індустрію. Використовуючи сучасні технології рециклінгу часто вдається скоротити обсяги утворення відходів та досягнути їх повторного використання у якості сировини. Ця діяльність в цілому називається управлінням відходами. Стратегії управління відходами та циклічної економіки забезпечують зменшення або мінімізацію як використання ресурсів, так і утворення відходів, а також їхнього негативного впливу на навколишнє середовище та здоров'я людей. Рециклінг є перспективною промисловою галуззю майбутнього, незважаючи на те, що його господарське застосування часто вимагає проведення широких досліджень та значних інвестицій. Зайнятість у сфері управління відходами в ЄС у період з 2000 по 2018 рік зросла майже на 39% з 0,8 мільйона до 1,2 мільйона штатних працівників.

Державне геологічне підприємство "Геопрогноз" обстежило промислові відходи багатьох виробництв України. У ряді з них зафіксовано наявність дефіцитних рідкісних, благородних кольорових металів і нерудної сировини, що за якістю та кількістю близькі до концентрації у природних промислових

родовищах. Такі важливі речовини, як галій, скандій, ванадій, талій, ніобій, ртуть, германій і інші, від яких залежить розвиток електроніки, космічної техніки, машинобудування, атомної енергетики, можуть отримуватись за рахунок лише переробки промислових відходів України.

В довоєнний час виробнича сфера України переробляла понад 1 млрд т природних речовин. За даними статистичних досліджень кількість відходів, що утворюється в процесі виробництва характеризується показником «1:10:100». Так, на 1 т кінцевого продукту утворюється 10 т відходів в процесі його виробництві і 100 т відходів - при видобутку сировини. На території України нагромадилось станом на 2020 рік понад 15 млрд т різних видів відходів виробництва і споживання, які займають більше 160 тис. га родючих українських ґрунтів. В Україні частка гірничопромислових відходів (розкривних порід та продуктів збагачення корисних копалин) складає понад 75 відсотків усіх утворених відходів. Фактичні обсяги накопичених відходів перевищують ті, що відображені у статистичній звітності, оскільки збанкрутілі та непрацюючі підприємства, які раніше накопичили значні обсяги відходів, часто не звітують і не враховуються під час проведення державних статистичних спостережень.

Внаслідок гіпертрофованого розвитку гірничодобувної промисловості в Україні домінують промислові відходи, що утворюються під час розробки родовищ корисних копалин та їх збагачення. Значну частину становлять відходи хіміко-металургійної переробки сировини. Одночасно з вичерпанням запасів невідновлюваних сировинних ресурсів відбувається забруднення довкілля, зменшуються площі лісів і родючих земель, зникають окремі види рослин, тварин тощо.

Значні масштаби використання природних ресурсів та енергетично-сировинна спеціалізація економіки України разом із застарілою технологічною базою визначають високі показники щорічного утворення й нагромадження відходів. Внаслідок домінування у промисловості ресурсоемних багатовідхідних технологій та через відсутність протягом тривалого часу адекватного реагування на виникаючі екологічні виклики в Україні існують масштабні проблеми утилізації відходів. Тривалий час на території України переробці та відновленню твердих промислових відходів приділялася недостатня увага, що привело до утворення відвалів з відходів гірничодобувної промисловості, озер з осадами після виробництва соди, мінеральних добрив тощо. Як приклад, внаслідок недбайливого відношення до зберігання промислових відходів відбулася техногенна катастрофа на Стебниківському калійному комбінаті, який знаходиться на Львівщині. У 1983 році на цьому підприємстві була зруйнована гребля відстійника, в результаті

чого 4,5 млн м³ висококонцентрованих розсолів калійного виробництва потрапили в річку Дністер, що привело до руйнування доріг та мостів, було знищено значну кількість товарної риби та малька, виникли перебої у водозабезпеченні м. Чернівці та інших населених пунктів. Лише у Новодністровському водосховищі, що знаходиться на відстані 500 км від Стебника, було зупинено руйнівний потік калійних солей, які осіли товстим пластом на глибині 14-15 метрів.

Тривожне становище складається в Україні зі зберіганням токсичних відходів, які містять важкі метали та інші отруйні речовини. Особливу тривогу викликають близько 5000 складів сільськогосподарських підприємств, на яких в неналежних умовах зберігається понад 10 тис. тонн отрутохімікатів з закінченим терміном використання.

До початку воєнної агресії РФ в Україні розширено упроваджувалися екологічні розробки й ініціативи. Зокрема, увага приділялась питанням зменшення викидів парникових газів, реформою фінансування екологічних робіт та цільового використання екологічних податків. Було проведено реформу державного екологічного контролю та контролю промислових забруднень, проводилася державна підтримка проектів з екологічної модернізації промислових підприємств, використання альтернативних видів палива, у тому числі на основі переробки біомаси.

Від початку повномасштабного вторгнення РФ на території України додатково утворилося понад 670 тис т відходів руйнації. Це підриває природно-ресурсний потенціал суспільного виробництва та негативно позначається на здоров'ї населення. За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів, за три роки повномасштабної війни нанесено більше 80 млрд євро збитків навколишньому середовищу України. Війна спричинила ряд екологічних проблеми: мінування сільськогосподарських земель та лісових насаджень; викиди отруйних речовин внаслідок обстрілів і пожеж нафтобаз, газових сховищ та об'єктів хімічної промисловості; забруднення нафтопродуктами річок, ставків та акваторії морів через затоплення кораблів; знищення заповідних територій, руйнування екосистем, загибель тварин та птахів, втрата біорізноманіття та загроза існуванню червонокнижних видів; руйнування очисних споруд, дамб, гребель, мереж водопостачання; засмічення територій уламками зруйнованих будівель, розбитою воєнною технікою, значне забруднення повітря; хімічне забруднення від обстрілів і ракет. Відбудова країни потребуватиме науково обгрунтованого відновлення значної кількості знищених природних ресурсів.

1.2.Класифікація відходів

Класифікація відходів - процес впорядковування даних про відходи який охоплює ідентифікацію виду відходів відповідно до їхнього стану, складу і властивостей через номенклатурну назву, співвіднесення з певним процесом утворення та видом економічної діяльності та віднесення до будь-яких інших діючих систем групування чи переліків (забруднень вторинних ресурсів, токсикантів тощо), категорій речовин, матеріалів та інших об'єктів, а також до певних видів перероблення, утилізації та видалення відходів.

Відходи класифікують шляхом віднесення їх до відповідної групи, підгрупи та виду з урахуванням:

- 1) джерела походження відходів;
- 2) властивостей, у зв'язку з наявністю яких відходи є небезпечними;
- 3) наявності у відходах компонентів із вмістом небезпечних речовин, перевищення лімітів концентрації яких може призвести до визнання відходів небезпечними.

Класифікація відповідно до Закону України «Про управління відходами» здійснюється відповідно до Національного переліку відходів і Порядку класифікації відходів з урахуванням Переліку властивостей, що роблять відходи небезпечними. Згідно Національного переліку відходів, вони поділяються на два класи:

- 1) небезпечні відходи;
- 2) відходи, що не є небезпечними.

Відходи також класифікують:

- за агрегатним станом;
- за походженням;
- за ступенем небезпеки;
- за споживчими властивостями.

За агрегатним станом відходи поділяються на тверді, рідкі, пастоподібні (шлами) та газоподібні. На відміну від твердих відходів, місця складування яких займають великі території, газоподібні і рідкі відходи відносно швидко розподіляються у природному середовищі. Значна частина прикладів поводження з відходами стосується твердих відходів, що становить основну частину відходів, що створюються побутовою, промисловою та комерційною діяльністю.

Відходи виробництва – промислові продукти, які не виробляються цілеспрямовано, а утворюються як побічні при створенні кінцевого продукту.

За походженням відходи поділяються на наступні категорії.

Промислові відходи утворюються в результаті виробничих робіт і технологічних процесів внаслідок виробничої діяльності людини у різних галузях промисловості. Промислові відходи - це речовини, матеріали, предмети, які утворились у результаті хімічних, термічних, механічних та інших перетворень матеріалів природного і антропогенного походження, виробництва продукції (товарів), та не мають подальшого використання в технологічних процесах суб'єкта господарювання, внаслідок діяльності якого вони утворились. В промисловості використовується величезна кількість речовин, які не характерні для природи. Вони є основним джерелом надходження в довкілля шкідливих хімічних, біологічних та біохімічних речовин, що створює загрозу здоров'ю та життю людства. За обсягами утворення домінують токсичні відходи, які містять важкі метали (хром, свинець, нікель, кадмій, ртуть). Переважно це відходи підприємств кольорової металургії, хімічної промисловості, машинобудування (гальванічні виробництва), хімічних комбінатів тощо. В довкіллі їх відходи можуть не розкладатися взагалі або розкладаються дуже повільно, розсіюючись і забруднюючи атмосферу, гідросферу та літосферу, призводячи до загибелі значної кількості живих організмів та порушуючи рівновагу екосистем.

До промислових відходів відносяться залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів, що утворилися при виробництві продукції або виконанні робіт і втратили цілком або частково вихідні споживчі властивості (рис.1).

Кодексом України «Про надра» промислові відходи поділяються на:

- відходи видобутку - невикористані продукти видобутку, що виділяються з маси видобутої корисної копалини в процесах розробки родовищ;
- відходи збагачення - відходи, які утворюються у процесі первинної обробки мінеральної сировини;
- відходи переробки - відходи збагачувального і металургійного виробництва (відвали хвостів збагачувальних фабрик, металургійних шлаків, промивних установок на розсипних родовищах), стічні води збагачувального і металургійного виробництва, що містять корисні компоненти.

Основна маса твердих промислових відходів утворюється на підприємствах:

- гірничої промисловості (шлаки, відвали, тощо);
- чорної та кольорової металургії (шлаки, шлами, відходи металу, колошниковий пил, тощо);
- металообробна промисловість (металева стружка, браковані вироби, лом, тощо);
- лісової та деревообробної промисловості (лісозаготівельні відходи, відходи деревини при виготовленні меблів та інших дерев'яних виробів, відходи клеїв, формальдегідних смол, лакофарбових матеріалів, тощо);

- енергетики (шлаки, попіл, жухелиця, які утворюються на теплових електростанціях);
- хімічної та суміжних галузей промисловості (фосфогіпс, галіт, недогарок, шлами, шлаки, скло, цементний пил, гума, пластмаси, тощо);
- харчової промисловості (кістки, шерсть, тощо);
- легкої промисловості (шматки тканини, шкіри, гуми, пластмаси, тощо).

Промислові відходи характеризуються досить стабільним складом і можуть являтися цінними вторинними ресурсами для повторного використання у базовому технологічному процесі або в інших виробництвах. У ряді випадків промислові відходи є більш якісною сировиною у порівнянні з природною. Наприклад, паперові комбінати повертають будь-які пошкоджені рулони у якості сировини на початкові ділянки виробничої лінії. Такі ж підходи застосовують у виробництві пластмасових виробів, а також у металургійному виробництві. Застосування ефективного моніторингу виробничого процесу дозволяє знизити рівень виробничого браку і технологічних відходів, що забезпечує зниження до мінімуму рівня утворення промислових відходів.

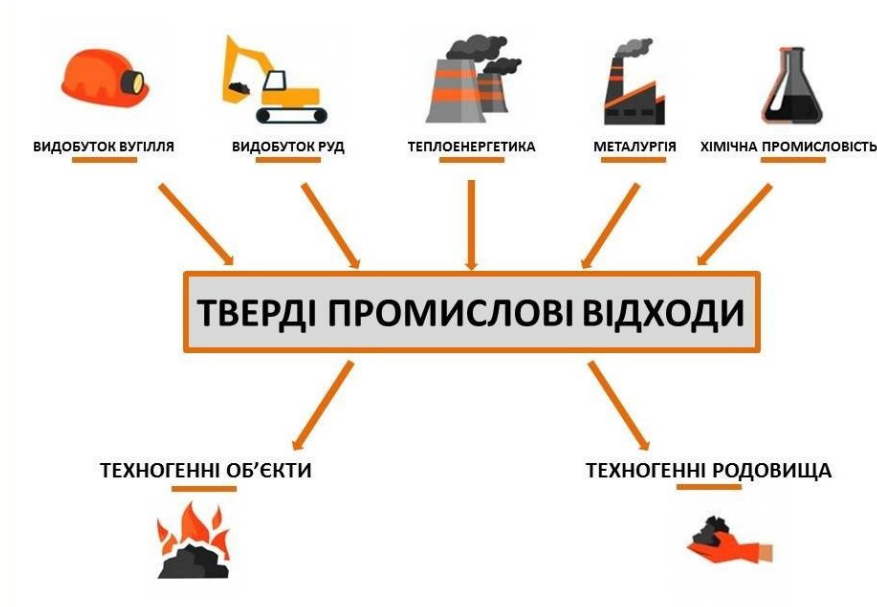


Рисунок 1- Види промислових відходів

Багаторічна енергетично-сировинна спеціалізація та низький технологічний рівень промисловості України поставили її в ряд країн зі значним обсягом утворення і накопичення промислових відходів. Щороку в поверхневих сховищах складається понад 1,5 млрд. тонн твердих відходів. На території України знаходиться 2754 полігони для зберігання промислових відходів загальною площею близько 130 тис. га. На цих об'єктах зберігається близько 23...25 млрд. т промислових відходів, із них близько 2% належать до категорії високотоксичних. Більшість з цих полігонів з різних причин не відповідає

санітарно-гігієнічним вимогам (ненадійна гідроізоляція, не дотримуються норми санітарно-захисних зон, відсутні належні шляхи під'їзду).

Відходи будівництва та знесення - відходи, що утворилися внаслідок діяльності з капітального ремонту, будівництва або знесення будівель і споруд. Найчастіше будівельні відходи включають забруднений щебінь, биту цеглу та бетонні вироби, арматуру, деревні відходи тощо. Закон України «Про управління відходами» також містить термін ремонтні відходи - залишки речовин, матеріалів, предметів, виробів, що утворилися під час переобладнання, перепланування або поточного ремонту у житловому будинку, окремій квартирі або будинку громадського призначення.

Сільськогосподарські відходи - відходи, що утворюються в процесі сільськогосподарського виробництва тваринної та рослинної продукції.

Біологічні відходи - відходи, що мають властивість піддаватися анаеробному або аеробному розкладу, такі як відходи харчових продуктів або відходи харчової промисловості на всіх етапах виробництва та споживання, відходи від зелених насаджень.

Відходи споживання - вироби і машини, що втратили свої споживчі властивості в результаті фізичного або морального зносу. До поширених відходів споживання відносяться фізично і морально зношені холодильники, пральні машини, газові та електричні плити, автомобільний та електронний лом, меблі, автопокришки, ртутні лампи тощо.

Побутові відходи - змішані та/або роздільно зібрані відходи від домогосподарств, включаючи відходи паперу, картону, скла, пластику, деревини, текстилю, металу, упаковки, біологічні відходи, відходи електричного та електронного обладнання, відходи гальванічних батарей та акумуляторів, небезпечні відходи у складі побутових, великогабаритні та ремонтні відходи, а також змішані та/або роздільно зібрані відходи з інших джерел, якщо ці відходи подібні за своїм складом до відходів домогосподарств. Побутові відходи утворюються як житлових комплексах і приватному секторі, так і муніципальних установах.

Побутові відходи це предмети або товари, що втратили споживчі властивості. Кількісні та якісні характеристики побутових відходів не є постійними та залежать від сезону і джерел їх утворення. За складом побутових відходів можна робити висновки, до якого економічного типу відноситься відповідна країна. В державах, що розвиваються, їх склад відрізняється переважанням харчових відходів, у розвинених країнах – паперу, полімерів та металу.

Побутові відходи не включають відходи промисловості, сільського і лісового господарства, рибальства та аквакультури, резервуарів для септиків,

каналізаційних мереж та відходи їх оброблення, включаючи осад стічних вод, транспортні засоби, строк експлуатації яких закінчився, відходи будівництва та знесення, вуличний змет, медичні відходи. Великогабаритні відходи - побутові відходи, що за розміром не можуть бути поміщені у контейнери об'ємом до 1,1 кубічного метра. Хімічний склад різних компонентів побутових відходів є дуже різноманітним. Цей клас відходів може містити значну кількість небезпечних відходів (ртуть, фосфорокарбонати, токсичні хімікати тощо), які негативно впливають на здоров'я населення і забруднюють навколишнє середовище. Побутові відходи не включають відходи промисловості, сільського і лісового господарства, рибальства та аквакультури, резервуарів для септиків, каналізаційних мереж та відходи їх оброблення, включаючи осад стічних вод, транспортні засоби, строк експлуатації яких закінчився, відходи будівництва та знесення, вуличний змет, медичні відходи.

Міське населення світу продовжує стрімко зростати. Згідно з даними ООН, очікується, що до 2050 року населення на планеті зросте до 9,7 мільярда, причому майже 90 відсотків приросту відбудеться в містах. Однією з найбільш гострих глобальних господарських і природоохоронних проблем залишається проблема побутових відходів. Очікується, що з продовженням зростання населення, кількість твердих побутових відходів, що утворюються у світі, буде різко зросте, досягнувши до 2050 року 3,4 млрд т. Згідно останнього звіту Світового банку (Waste 2.0, 2018), у світі щорічно утворюється 2,01 млрд т твердих побутових відходів, причому щонайменше 33% з них не обробляються екологічно безпечними способами. Кількість відходів, що утворюється на людину в день у світі, становить в середньому 0,74 кілограма, в різних країнах ці цифри відрізняються в широкому діапазоні від 0,11 до 4,54 кілограма. На розвинуті країни з високим рівнем доходів припадає лише 16% населення світу, однак вони виробляють близько 34% світових побутових відходів. Підраховано, що збільшення обсягів відходів, що генеруються суспільством, має тісний кореляційний зв'язок з темпами зростання національного внутрішнього валового продукту (ВВП). Країни Європейського Союзу сьогодні прагнуть до того, щоб ці обсяги утворення відходів зростали на 15% повільніше ніж ріст ВВП. В ряді західноєвропейських країн (Данії, Нідерландах, Швейцарії, Словаччині та Естонії) вже досягнуто ослаблення тенденцій утворення відходів.

В сучасній маркетинговій діяльності виробники приділяють посилену увагу упаковці споживчих товарів. Виробництво пакувальних матеріалів, які складають левову частку у складі побутових відходів, у розвинених країнах вийшло на рівень провідної галузі економіки. У 2020 році кількість утворених відходів упаковки складало 177,2 кг на жителя ЄС (від 66,0 кг на жителя

Хорватії до 225,8 кг на жителя Німеччини). Найпоширенішими видами відходів упаковки в ЄС були папір і картон (41,2 %), пластик (19,5 %), скло (19,1 %), деревина (15,1%) і метал (5,0 %). Паперове і картонне пакування є основним у країнах ЄС (32,7 млн т у 2020 році), за ним йдуть пластикове пакування (15,5 млн т) та скляна тара (15,1 млн т).

В Україні майже половину маси пакувальних відходів (48%) складає папір і картон (коробки, пакети, мішки), 13% - скло, 8% чорні і кольорові метали (в основному консервні банки), 5% - деревина, 24% - полімерні синтетичні матеріали та комбінована тара.

Відновлення матеріалів пакувальних відходів ускладнене, оскільки процеси пакування продукції і переробки використаних пакувальних матеріалів переслідують протилежні цілі. Виробники і споживачі товарів бажають, щоб упаковка була міцною, довговічною, не горючою та водостійкою. В той же час екологічні вимоги до пакувальних матеріалів мають протилежний характер: вони повинні легко подрібнюватися, ущільнюватися, хімічно або біологічно розкладатися, згорати. Розробники упаковки намагаються знайти компроміс щодо поєднання виробництва пакувальних матеріалів з високими споживчими властивостями і їх придатністю для ефективного відновлювальної переробки.

Радіоактивні відходи – радіоактивні речовини і матеріали, які утворюються при роботі ядерних реакторів, а також при виробництві і застосуванні радіоактивних ізотопів.

Медичні відходи - відходи, що утворюються внаслідок здійснення діяльності з медичного обслуговування або ветеринарної практики, здійснення експертиз та досліджень у сфері охорони здоров'я, ветеринарної медицини, у тому числі наукових або дослідницьких робіт. Це матеріали, речовини, вироби, що втратили частково або повністю свої первісні споживчі властивості в ході здійснення медичних маніпуляцій, що проводяться при лікуванні або обстеженні людей в медичних установах.

Інструкцією щодо заповнення форми державного статистичного спостереження № 1- небезпечні відходи «Звіт про утворення, оброблення та утилізацію відходів I-III класів небезпеки», що затверджена наказом Державного комітету статистики України від 24 жовтня 2006 р. №494 та зареєстрованої в Міністерстві юстиції України 10 листопада 2006 р. за №1195/13069 визначено: «до небезпечних відходів належать відходи, що мають такі фізичні, хімічні, біологічні чи інші небезпечні властивості, які створюють або можуть створити значну небезпеку для навколишнього природного середовища і здоров'я людини та які потребують спеціальних методів та засобів поводження з ними. Небезпечні відходи містять такі речовини, що мають небезпечні властивості – токсичність,

вибухонебезпечність, пожежонебезпечність, високу реакційну здатність або містять збудників інфекційних хвороб». Згідно цього документу небезпечні відходи поділяються на 4 класи небезпеки:

I клас - надзвичайно небезпечні;

II клас - високонебезпечні;

III клас - помірно небезпечні;

IV клас - малонебезпечні.

Аналогічно на 4 класи небезпеки поділяються небезпечні відходи ДСанПіН 2.2.7.029-99 «Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення» та інструкції щодо заповнення форми державного статистичного спостереження N 1 - небезпечні відходи «Звіт про утворення, оброблення та утилізацію відходів I-III класів небезпеки" (zareestrovano v Ministerstvi yustitsii Ukrainy 10 listopada 2006 r za N 1195/13069».

Закон України «Про управління відходами» містить термін інертні відходи - відходи, що не зазнають фізичних, хімічних чи біологічних змін і трансформацій, не розкладаються, не горять, не розкладають, не здійснюють негативного впливу на інші предмети, з якими контактують, та не завдають шкоди здоров'ю людей і не призводять до забруднення навколишнього природного середовища.

Термін «небезпечні відходи» визначено ст. 1 Закону України «Про управління відходами»: відходи, що мають одну чи більше властивостей, що роблять їх небезпечними, наведених у Переліку властивостей, що роблять відходи небезпечними:

НВ 1 Вибухонебезпечність: відходи, здатні до хімічної реакції з виділенням газу за такої температури, тиску та з такою швидкістю, що можуть завдати шкоди навколишньому природному середовищу, включаючи відходи піротехнічних виробів, вибухонебезпечні відходи органічних пероксидів та відходи вибухонебезпечних самореактивних речовин.

НВ 2 Окисна здатність: відходи, які, виділяючи кисень, викликають або сприяють горінню інших матеріалів.

НВ 3 Легкозаймистість:

- легкозаймисті рідкі відходи: рідкі відходи, які мають температуру спалаху нижче 60°C або відпрацьовані газойль, дизельне пальне та світлі нафтопродукти з температурою спалаху від $> 55^{\circ}\text{C}$ до $\leq 75^{\circ}\text{C}$;

- легкозаймисті пірофорні рідкі або тверді відходи: тверді або рідкі відходи, які навіть у невеликій кількості можуть спалахнути протягом 5 хвилин при взаємодії з повітрям;

- легкозаймисті тверді відходи: тверді відходи, які легко займаються або можуть спричинити, або сприяти горінню через тертя;
- легкозаймисті газоподібні відходи: газоподібні відходи, які є легкозаймистими у повітрі за температури 20°C та нормального атмосферного тиску 101,3 кПа;
- відходи, що вступають у реакцію з водою: відходи, які при контакті з водою виділяють легкозаймисті гази у небезпечних обсягах;
- інші легкозаймисті відходи: легкозаймисті аерозолі, відходи, що саморозігріваються, органічні пероксиди та самореактивні відходи.

НВ 4 Подразнювальна здатність - подразнення шкіри чи пошкодження очей

НР 5 Вибіркова токсичність для окремих органів-мішеней / Токсичність при аспірації: відходи, які можуть виявляти вибірккову токсичність для окремих органів за одноразового або повторюваного впливу, або які можуть спричинити гострі токсичні ефекти внаслідок аспірації.

НВ 6 Гостра токсичність: відходи, які можуть спричинити гострі токсичні ефекти після перорального надходження, потрапляння на шкіру або під час вдихання.

НВ 7 Канцерогенність: відходи, які провокують онкологічні хвороби або збільшують вірогідність захворювання на такі хвороби.

НВ 8 Корозивність: відходи, які при контакті можуть викликати роз'їдання шкіри.

НВ 9 Інфекційність: відходи, які містять життєздатні мікроорганізми або їх токсини, які є або вважаються такими, що викликають захворювання у людей чи інших живих організмів.

НВ 10 Токсичність для репродуктивної системи: відходи, які негативно впливають на статеву функцію та репродуктивність дорослих чоловіків і жінок, а також справляють токсичну дію на розвиток потомства.

НР 11 Мутагенність: відходи, які можуть викликати мутацію, тобто постійні зміни в кількості або структурі генетичного матеріалу в клітині.

НВ 12 Здатність виділяти гостротоксичний газ: відходи, які при контакті з водою або кислотою виділяють гостротоксичні гази.

НВ 13 Сенсibiliзуюча здатність: відходи, які містять одну або більше хімічних речовин, про які відомо, що вони спричиняють сенсibiliзацію (алергічну реакцію) на шкірі або в дихальних шляхах.

НР 14 Екотоксичність: відходи, які становлять або можуть становити безпосередній або віддалений ризик для навколишнього природного середовища.

НВ 15 Відходи, здатні виявляти небезпечні властивості, зазначені вище, але не класифіковані за такими властивостями.

Сучасне Європейське законодавство відповідно до статті 2 Рішення Єврокомісії 2000/532/ЄС при оцінці небезпеки відходів рекомендує враховувати також і процентний вміст одного або більше перерахованих вище компонентів, класифікованих як:

- сильнодіючі отруйні речовини > 0,1%;
- токсичні речовини > 3,0%;
- небезпечні речовини > 25,0%;
- їдкі речовини (символ — R35) > 1,0%;
- їдкі речовини (символ — R34) > 5,0%;
- подразнюючі речовини (символ — R41) > 10,0%;
- подразнюючі речовини (символи — R36, R37, R38) > 20,0%;
- канцероген класу 1 або 2 > 0,1%;
- канцероген класу 3 > 1,0%;
- речовини, які проявляють репродуктивну токсичність класу 1 або 2 (символи — R60, R61) > 0,5%;
- речовини, які проявляють репродуктивну токсичність класу 3 (символи — R62, R63) > 5,0%;
- мутаген класу 3 (символ — R40) > 1,0%;
- мутаген класу 1 або 2 (символ — R46) > 0,1%.

За ступенем небезпеки для навколишнього середовища промислові відходи поділяють на 4 класи, в залежності від чого встановлюються вимоги до їх утилізації захоронення.

I-й клас: Надзвичайно небезпечні відходи мають найвищий ступінь впливу відходів на навколишнє середовище. При контакті з даним класом відходів екологічна система порушується з незворотними наслідками, тому період для її відновлення до цієї категорії не застосовується. У список відходів цього класу входять:

- радіоактивні ізотопи;
- пестициди;
- ціаніди;
- крезол у вигляді залишків, які втратили споживчі якості;
- шлам з вмістом тетраетилсвинцю і металоорганічних сполук;
- відходи солей арсену;
- відпрацьовані трансформатори і конденсатори з трихлордифенілом і пентохлордифенілом;
- ртутьвміщуючі матеріали, відпрацьовані лампи люмінесцентні.

На підставі укладеної угоди між Міністерством екології та природних ресурсів України та ТОВ «С.І. Груп Консорт ЛТД» від 31 травня 2012 року №14/7 усі наявні на території Кіровоградської області непридатні та

заборонені до використання пестициди і агрохімікати протягом 2012 року були вивезені за області з метою їх знешкодження.

II-й клас: Високонебезпечні відходи. Створюють високу загрозу для навколишнього середовища. Відновлення екологічного балансу можливо через 30 років. Їх зберігають в поліетиленових мішках, пакетах, бочках та інших видах тари, що запобігає поширенню шкідливих речовин у навколишньому середовищі. У список відходів цього класу входять важкі метали та їх солі, різноманітні кислоти, вторинна сировина нафтової промисловості, відпрацьовані мастила, відпрацьовані акумулятори свинцевого та лужного типу тощо.

III-й клас: Помірно небезпечні відходи. Порушена ними екологічна система відновлюється ними не раніше, ніж через 10 років. У список відходів цього класу входять деякі осади з очисних споруд хімічного виробництва, відходи лакофарбових матеріалів та клеїв, полімери, дерев'яні шпали, які були просочені хімічними речовинами, відпрацьовані фільтрувальні матеріали.

IV-й клас: Малонебезпечні відходи. Вплив на екологію присутній. Відновлення екологічної системи відбудеться не менш, ніж за 3 роки. У список відходів цього класу входять брухт чорних металів (у т.ч. списане обладнання), брухт кольорових металів (у т.ч. списане обладнання, що вміщує кольорові метали, кабельна продукція), макулатура, зношене взуття та одяг, матеріали та вироби з пластмаси зіпсовані, списане комп'ютерне обладнання (крім джерел безперебійного живлення, акумуляторів), відходи деревини, будівельні відходи.

Відходи I-го класу небезпеки мають зберігатися у герметичній тарі (сталеві бочки, контейнери). По мірі наповнення тару з відходами закривають герметично сталюю кришкою, при необхідності кришку закріплюють методами зварювання.

Відходи II-го класу небезпеки зберігають, відповідно до їх агрегатного стану, у поліетиленових мішках, пакетах, діжках та інших видах тари, що запобігає розповсюдженню шкідливих речовин (інгредієнтів).

Відходи III-го класу небезпеки зберігають у тарі, що забезпечує локалізоване зберігання, дозволяє виконувати вантажно-розвантажувальні та транспортні роботи і виключає розповсюдження у навколишньому середовищі шкідливих речовин.

Відходи IV-го класу небезпеки можуть зберігатися відкрито на промисловому майданчику у вигляді конусоподібної купи. Ці відходи без негативних екологічних наслідків можуть бути об'єднані з побутовими відходами в місцях захоронення останніх або використані як ізолюючий

матеріал, а також для проведення різних планувальних робіт при освоєнні території.

Електронні відходи, як правило, класифікуються як небезпечні відходи через їх токсичні компоненти, такі як ПХД, свинець, ртуть, кадмій, ртуть і бромовані антипірени. Недостатня обробка цих відходів призведе до забруднення ґрунту, воді та повітрі та може становити великий ризик для здоров'я людини.

Закон України «Про перевезення небезпечних вантажів» містить класифікацію згідно якої небезпечні речовини віднесені до таких класів: клас 1 - вибухові речовини та вироби;

клас 2 - гази;

клас 3 - легкозаймисті рідини;

клас 4.1 - легкозаймисті тверді речовини;

клас 4.2 - речовини, схильні до самозаймання;

клас 4.3 - речовини, що виділяють легкозаймисті гази при стиканні з водою;

клас 5.1 - речовини, що окислюють;

клас 5.2 - органічні пероксиди;

клас 6.1 - токсичні речовини;

клас 6.2 - інфекційні речовини;

клас 7 - радіоактивні матеріали;

клас 8 - корозійні речовини;

клас 9 - інші небезпечні речовини та вироби.

Світова практика поводження з відходами свідчить, що чим жорсткіше екологічне законодавство з охорони навколишнього середовища, тим більше утворюється твердих токсичних відходів, оскільки методи, що застосовуються для очищення газоподібних і рідких середовищ, призводять до концентрації забруднювачів у твердій речовині: в мулах, осадах, шлаках тощо. Щороку в Європейському Союзі утворюється 1,3 млрд т несільськогосподарських відходів, близько 58 млн т з яких є небезпечними. Переважна частина утворюємих відходів відноситься до III - IV класів небезпеки. В більшості випадків збирання і переробка таких відходів є економічно вигідним. Рентабельність переробки відходів I - II класів у більшості випадків є збитковою.

Правовою основою для використання економічних інструментів досягнення цілей екологічного менеджменту є Закон України "Про охорону навколишнього середовища". Цей Закон передбачає застосування принципу: забруднювач платить. Податковий кодекс України визначає ставки екологічного податку за видалення відходів. Ставка податку залежить від класу небезпеки відходів (табл.1). Розміри екологічних податків тісно пов'язані з системою дозволів, яка

встановлює допустимі обсяги розміщення відходів для кожного промислового об'єкта. Витрати на утилізацію промислових відходів залежать від їх обсягу і класу небезпеки, з нарахуванням коефіцієнтів залежно від місця і типу захоронення.

Залежно від споживчих властивостей відходи як вторинну сировину поділяють на чотири категорії:

- відходи, що є високоякісною вторинною сировиною, переробка якої в місцевих умовах дозволяє отримувати продукцію, яка користується постійним попитом і забезпечує високу рентабельність виробництва (промислові відходи, що утворюються у вигляді побічної готової продукції, лом чорних і кольорових металів, високоякісні марки макулатури, чисті виробничі текстильні відходи, чисті виробничі відходи полімерів, незабруднений склобій тощо);

- відходи, що є вторинною сировиною середньої якості, переробка якої дозволяє випускати продукцію, яка користується попитом, однак доходи від її реалізації приблизно дорівнюють витратам на збирання, первинну обробку та остаточну переробку відходів (відходи добування і збагачення вугілля і різноманітних руд, макулатура зі значною кількістю картону, змішана макулатура і текстиль, полімери зі сторонніми домішками, шматки деревини і забруднена тирса, змішаний склобій, зношені шини);

- малопридатні для безпосередньої утилізації відходи, затрати на переробку яких перевищують доходи від їхнього використання або для переробки яких відсутні прийнятні технологічні рішення (відходи добування і збагачення багатьох видів мінеральної сировини; відходи металургійних і хімічних виробництв, переробка яких з метою вилучення цінних компонентів є збитковою; вологостійкі відходи паперу і картону; суміші різних полімерів; виробниче сміття; забруднений склобій);

- небезпечні відходи, що не підлягають утилізації, переробка яких здійснюється тільки для їхнього знешкодження за рахунок постачальника таких відходів, або за рахунок цільового чи іншого спеціального фінансування.

Всі відходи, що утворюються на території України підлягають в обов'язковому порядку державному обліку та паспортизації. На кожний об'єкт зберігання або видалення відходів складається спеціальний паспорт, в якому зазначаються найменування та код відходів (згідно з державним класифікатором відходів), їх кількісний та якісний склад, походження, а також технічні характеристики об'єктів зберігання чи видалення і відомості про методи контролю та безпечної експлуатації цих об'єктів. Під час розгляду всього комплексу проблем, пов'язаних зі збором, транспортуванням, дотриманням вимог до знешкодження і захоронення відходів, ефективної

переробки й видалення, у першу чергу постає питання про властивості відходів, їх токсичність, морфологічний і елементний склад

Таблиця 1

Ставки податку за розміщення відходів, які встановлюються залежно від класу небезпеки та рівня небезпечності відходів з 1 січня 2024 року

Клас небезпеки відходів	Рівень небезпечності відходів	Ставка податку, гривень за 1 тону
I	надзвичайно небезпечні	1546,22
II	високонебезпечні	56,32
III	помірно небезпечні	14,12
IV	малонебезпечні	5,50
малонебезпечні нетоксичні відходи гірничої промисловості		0,54

В Україні з 1996 року діяв державний класифікатор відходів ДК 005-96, який входив в державну систему класифікації та кодування техніко-економічної і соціальної інформації і діяв до 2023 року. Державний класифікатор відходів - систематизований перелік кодів та назв відходів, призначений для використання в державній статистиці з метою надання інформації про утворення, накопичення, оброблення (перероблення), знешкодження та видалення відходів. Класифікатор відходів забезпечує інформаційне підтримування у вирішенні питань державного управління відходами на базі системи обліку та звітності, гармонізованої з міжнародними системами. Класифікація відходів здійснювалася за вхідними компонентами, за виробничо-технологічними процесами і за кінцевою продукцією.

Структурно класифікатор відходів складався з двох частин:

- класифікації відходів (частина I), в тому числі специфічних відходів, що утворюються в сировинних, видобувних і обробних галузях економіки (розділ А, від А1 до А30, групи 01-36), а також специфічних відходів, що утворюються в сфері побутових послуг (розділ Б, від Б1 до Б8, групи 40-90);

- класифікації послуг, пов'язаних з відходами - (частина 2, розділ В, від В1 до В5, групи 1-5).

Класифікатор відходів ДК 005-96 складався з трьох розділів:

- відходи сировинних, видобувних та обробних галузей економіки (розділ А);
- відходи від надання послуг (розділ Б);
- послуги, пов'язані з відходами (розділ В).

У класифікаторі відходів використовували 11-значову структуру коду, яка складається з чотирьох частин.

В класифікаторі відходів обрані наступні класифікаційні признаки відходів:

- вид економічної діяльності, під час якої утворилися відходи, - це перші чотири цифрові позиції (XXXX). Цифровий індекс виду економічної діяльності, за якої утворилися відходи (група 1), гармонізований або пов'язаний з кодами угруповань класифікатора ДК 009 – 96 «Класифікація видів економічної діяльності»;

- фаза процесу, на якій утворилися відходи - це 5-та цифрова позиція (XXXX.X), вона може бути позначена цифрами 1-3;

- складовий елемент процесу, від якого утворилися відходи - це 6-та цифрова позиція (XXXX.X.X), може бути позначена цифрами 1-9.

- дві останні - 7-а і 8-а цифрові позиції - це цифровий індекс конкретного відходу, який визначається за класифікатором відходів ДК 005-96.

Законом України «Про управління відходами» введений новий механізм поділу відходів на класи відповідно до вимог Директиви ЄС. Даний Закон вносить значні зміни в українську систему управління відходами та сприятиме її наближенню до стандартів ЄС. Постановою Кабінету Міністрів України від 20.10. 2023 р. № 1102 затверджено оновлені документи Порядок класифікації відходів та Національний перелік відходів. Постановою КМУ від 20.10.2023 №1102 встановлено, що для цілей оподаткування Національний перелік відходів та Порядок класифікації відходів, почне застосовуватися з 1 січня 2025 року. Ці документи є основою реформи управління відходами. На новому підході до класифікації створюється інформаційна система відповідно до європейського переліку відходів (List of Waste), яка має спростити адміністрування потоків відходів та звітність для бізнесу. Найважливішою зміною є встановлення положення, що суб'єкти господарювання мають проводити класифікацію відходів з урахуванням небезпечних властивостей відходів. Загалом новим Національним переліком передбачені 20 груп та 895 видів відходів.

Порядок класифікації відходів містить наступні додатки:

- Додаток 1. Коди класів небезпеки та категорій у межах класів, позначень щодо виду небезпечного впливу за кожною властивістю відповідно до переліку властивостей, що роблять відходи небезпечними (14 видів небезпечних властивостей відходів);

- Додаток 2. Перелік небезпечних компонентів відходів (51 вид компонентів);

- Додаток 3. Перелік потенційно небезпечних відходів з урахуванням їх походження або діяльності, під час якої вони були утворені (2 групи джерел утворення відходів);

- Додаток 4. Форма протоколу дослідження відходів.

Кожна позиція Національного переліку відходів складається з коду відходів і назви відходів українською мовою. Класифікацію відходів проводять на основі даних:

- про вміст і складові відходів, інформації про продукцію, паспорта безпечності наявності небезпечних речовин або компонентів із вмістом небезпечних речовин;

- визначення небезпеки за кожною властивістю;

- опису діяльності, в результаті якої утворилися відходи;

- опису процесу, дії або процедури, в результаті яких утворилися відходи;

- визначення кількості фракцій, з яких складаються відходи.

Код відходів складається з шести цифр:

- перші дві цифри визначають групу відходів (XX 00 00);

- другі дві цифри визначають підгрупу відходів (XX XX 00);

- останні дві цифри визначають вид відходів в межах підгрупи (XX XX XX).

- Коди відходів поділяються на:

- коди без позначення символом «*» - ідентифікують відходи, що не є небезпечними;

- коди, позначені символом «*» - ідентифікують небезпечні відходи;

- дзеркальні коди - два коди для одного і того самого виду відходів, де один із них, позначений символом «*», визначається як дзеркальний небезпечний, інший код, не позначений символом «*», визначається як дзеркальний, що не є небезпечним.

Групи 01-12 і 17-19 охоплюють відходи, що походять із різних галузей промисловості та/або процесів виробництва;

групи 13-15 охоплюють відходи, що утворюються в результаті використання різних матеріалів і речовин

група 16 охоплює відходи, які не зазначені в інших групах Національного переліку відходів;

група 20 охоплює побутові відходи (відходи домогосподарств та подібні відходи комерційних організацій, промислових підприємств, установ тощо.

Визначення коду відходів проводиться у наступній послідовності.

1) Оцінюється належність відходів до однієї із груп відходів від 1 до 12 і від 17 до 20 з урахуванням джерела (галузі) утворення відходів та визначається відповідний шестизначний код відходів у межах встановленої групи. Під час

проведення такої оцінки коди відходів, які закінчуються на «99», не враховуються;

2) У разі неможливості визначити відповідний код у межах груп відходів від 1 до 12 і від 17 до 20 утворювач відходів або суб'єкт господарювання у сфері управління відходами проводить оцінку належності відходів до груп 13, 14 і 15 та визначає відповідний шестизначний код відходів у межах встановленої групи;

3) У разі неможливості визначити відповідний код у межах груп відходів 13, 14 і 15 оцінюється належність відходів до групи відходів 16 та визначається відповідний шестизначний код відходів у межах встановленої групи;

4) У разі неможливості визначити відповідний код у межах групи відходів 16 наступним етапом є визначення відповідного шестизначного коду відходів із застосуванням кодів відходів однієї із груп відходів від 1 до 12 і від 17 до 20, які закінчуються на "99", у межах відповідної групи відходів.

Наприклад, упаковка, що містить залишки або забруднена небезпечними речовинами має код - 15 01 10*, де

15 - відповідає найменуванню групи відходів, що утворюються в результаті використання різних матеріалів і речовин: Відходи упаковки; абсорбенти, обтиральне ганчір'я, фільтрувальні матеріали та захисний одяг, не зазначені в інших групах;

15 01 - відповідає найменуванню підгрупи відходів: Упаковка (включаючи роздільно зібрану упаковку) з побутових відходів;

15 01 10 - найменування виду відходів у межах підгрупи: Упаковка, що містить залишки або забруднена небезпечними речовинами.

Символом «*» у кодї позначають небезпечні відходи.

У поводженні з відходами важливим елементом є транскордонні перевезення. Транскордонні перевезення - це будь-яке переміщення відходів з району, яким управляє одна держава, в район (або через район), яким управляє інша держава. В реаліях сьогодення між державами відбувається інтенсивний обмін небезпечними і радіоактивними відходами. Щорічно через національні кордони переміщається до 2 млн. тонн відходів. Це пояснюється, наявністю у певних державах новітніх технологій і виробництв, які дозволяють переробляти ці відходи у якості сировини. Крім того, часто фіксуються випадки нелегального вивезення для захоронення небезпечних відходів в країни Азії та Африки, а також розміщення там підприємств із спалювання небезпечних відходів.

Транскордонні перевезення унормовує Базельська конвенція про контроль за транскордонним перевезенням небезпечних відходів та їх видаленням від 22 березня 1989 року. Базельська конвенція являє

собою міжнародний договір, який був розроблений для зменшення руху небезпечних відходів між державами, і зокрема, для запобігання неконтрольованої утилізації небезпечних відходів у державах, що розвиваються.

Таблиця 2

Елемент Національного переліку відходів

Код	Найменування групи, підгрупи, виду відходів
01	Відходи, що утворюються під час розвідки, видобування корисних копалин та розробки кар'єрів, їх фізичного та хімічного оброблення
01 01	Відходи видобування корисних копалин
01 01 01	Відходи видобування металічних корисних копалин (рудні)
01 01 02	Відходи видобування неметалічних корисних копалин (нерудні)
01 03	Відходи фізичної та хімічної переробки металічних корисних копалин
01 03 04*	Кислотні хвости від переробки сірчаної руди
01 03 05*	Інші хвости, що містять небезпечні речовини
01 03 06	Хвости інші, ніж зазначені за кодами 01 03 04 і 01 03 05
01 03 07*	Інші відходи, що містять небезпечні речовини, від фізичної та хімічної переробки металічних корисних копалин
01 03 08	Пилоподібні та порошкоподібні відходи інші, ніж зазначені за кодом 01 03 07
01 03 09	Червоний шлам від виробництва глинозему інший, ніж відходи, зазначені за кодом 01 03 10
01 03 10*	Червоний шлам від виробництва глинозему, що містить небезпечні речовини, інший, ніж відходи, зазначені за кодом 01 03 07
01 03 99	Інші відходи цієї підгрупи
01 04	Відходи, що утворюються у процесі фізичної та хімічної переробки неметалічних корисних копалин
01 0407*	Відходи, що утворюються у процесі фізичної та хімічної переробки неметалічних корисних копалин і містять небезпечні речовини
01 04 08	Відходи гравію та подрібнених гірських порід інші, ніж зазначені за кодом 01 04 07
01 04 09	Відходи піску та глини
02	Відходи сільського та лісового господарства, садівництва, мисливства, рибальства та аквакультури, виробництва та переробки харчових продуктів
02 01	Відходи сільського та лісового господарства, аквакультури, садівництва, мисливства та рибальства
02 01 01	Осад (шлам, мул) від промивання та очищення
02 01 02	Відходи тканин тваринного походження
02 01 03	Відходи тканин рослинного походження
02 01 04	Відходи пластмаси (крім упаковки)
02 01 06	Тваринні фекалії, урина та гній (включаючи зіпсовану солому), стоки, зібрані окремо та оброблені поза місцями утворення
02 01 07	Відходи лісового господарства

02 01 8*	Відходи агрохімічної продукції, що містять небезпечні речовини
02 01 09	Відходи агрохімічної продукції інші, ніж зазначені за кодом 02 01 08
02 01 10	Відходи металу
02 01 99	Інші відходи цієї підгрупи
02 02	Відходи виробництва та переробки м'яса, риби та інших харчових продуктів тваринного походження
02 02 01	Осад (шлам, мул) від промивання та очищення
02 02 02	Відходи тканин тваринного походження
02 02 03	Сировина та продукти, що не придатні для споживання або переробки
02 02 04	Шлам від очищення стічних вод на підприємстві

Конвенція має на меті мінімізувати кількість і токсичність зібраних відходів, щоб забезпечити екологічно безпечне управління ними якомога ближче до джерела утворення та надати допомогу країнам, що розвиваються, в екологічно безпечному управлінні утвореними відходами. Базельська конвенція забороняє експорт відходів з будь-якої держави без письмової згоди уряду тієї держави, до якої вони транспортуються. Базельська конвенція про контроль за транскордонним перевезенням небезпечних відходів та їх видаленням набула чинності в 1992 році. Є близько 190 сторінок Конвенції. Україна приєдналася до Базельської конвенції 01.07.1999 року.

Базельська конвенція містить перелік із 45 потоків відходів («Y-номера») і небезпечних компонентів, які слід контролювати. Конвенція охоплює відходи з небезпечними властивостями, такими як токсичні, отруйні, вибухові, корозійні, легкозаймисті та інфекційні.

Також Базельська конвенція містить Додаток III Перелік небезпечних властивостей відходів, Додаток IV Операції з видалення, Додаток V А Інформація, яку має містити повідомлення про відходи, Додаток V Б Інформація, яку повинен містити документ про перевезення, Додаток VI зразок договору щодо арбітражного розгляду.

У ЄС Базельська конвенція була транспонована шляхом прийняття Регламенту ЄС про перевезення відходів, який є юридично обов'язковим для всіх держав-членів.

З 1 січня 2021 року почали застосовуватися більш жорсткі положення ЄС щодо перевезення пластикових відходів. Вони засновані на рішенні в рамках Базельської конвенції. З 2000 року транскордонні перевезення відходів в Україні здійснювалися у відповідності до «Положення про контроль за транскордонними перевезеннями небезпечних відходів та їх утилізацією/видаленням» відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 13 липня 2000 р. N 1120. На сьогодні ця Постанова втратила чинність (згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 17 вересня 2024 року N

1067). Уряд затвердив Порядок надання письмової згоди (повідомлення) на транскордонне перевезення небезпечних відходів та висновку на транскордонне перевезення відходів, яку розроблено на основі Базельської конвенції.

Деякі питання поводження з відходами можуть бути виключені зі сфери застосування стратегії, якщо поводження з відповідними відходами здійснюється за межами національних кордонів. Приклади включають, зокрема, відходи, пов'язані з морськими операціями:

- відходи, що виникають під час нормальної експлуатації суден (наприклад, Національна конвенція про запобігання забрудненню з суден та Протокол до неї (МАРПОЛ);

- розбирання та переробка суден є предметом Гонконгської міжнародної конвенції про безпечну та екологічно безпечну переробку суден 2009 року.

Відходи, завантажені на судно для утилізації в морі, є предметом Лондонської конвенції (1972) та Протоколу до неї 1996 року («Лондонська конвенція»). Ці питання знаходяться в компетенції Міжнародної морської організації (ІМО). Після зняття відходів із судна вони стають частиною звичайного тягара утилізації відходів у країні.

Відповідно до рішень Кабінету Міністрів України:

- запроваджено уніфікований порядок надання письмової згоди (повідомлення) на транскордонне перевезення небезпечних відходів та висновку на транскордонне перевезення відходів;

- встановлені форми документів про транскордонне перевезення відходів;

- визначено перелік пластикових відходів, транскордонне перевезення яких здійснюється на підставі висновку..

Встановлений порядок визначає процедуру видачі, відмови у видачі, анулювання письмової згоди на транскордонне перевезення небезпечних відходів та висновку на транскордонне перевезення відходів. Суб'єкт господарювання для здійснення транскордонного перевезення небезпечних відходів, побутових відходів, залишків внаслідок спалювання побутових відходів та відходів пластику та його сумішей зобов'язаний отримати письмову згоду, а в разі перевезення інших відходів - отримати висновок.

Суб'єкт господарювання створює обліковий запис в інформаційній системі управління відходами, що є функціональним модулем Єдиної екологічної платформи "ЕкоСистема" після проходження електронної ідентифікації та автентифікації з використанням інтегрованої системи електронної ідентифікації, електронного підпису та/або печатки.

Видача або відмова у видачі письмової згоди здійснюється відповідно до Законів України "Про дозвільну систему у сфері господарської

діяльності”, “Про адміністративні послуги”, “Про адміністративну процедуру” з урахуванням особливостей, визначених Законом. Письмова згода надається безоплатно Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України до запланованої суб’єктом господарювання дати першого перевезення та протягом 60 календарних днів з дня його звернення.

Таблиця 3

Елементи додатку I та додатку II до Базельської конвенції про контроль за транскордонним перевезенням небезпечних відходів та їх видаленням Категорії відходів, що підлягають регулюванню

Y1	Медичні відходи, отримані в результаті лікувального догляду за пацієнтами в лікарнях, поліклініках та клініках
Y2	Відходи виробництва та переробки фармацевтичної продукції
Y3	Відходи фармацевтичних товарів, ліків та препаратів
Y4	Відходи виробництва, одержання і застосування біоцидів та фітофармацевтичних препаратів
Y5	Відходи виробництва, одержання і застосування хімічних речовин для просочування деревини
Y6	Відходи виробництва, одержання і застосування органічних розчинників
Y7	Відходи термічної обробки та карбідізації, які містять ціаніди
Y43	Будь-які матеріали типу поліхлорованого дібензофурану
Y44	Будь-які матеріали типу поліхлорованого дібензо-п-діоксину
Y45	Галогенорганічні сполуки, крім речовин, зазначених у цьому додатку

Додаток II Категорії відходів, що вимагають особливого розгляду

Y46	Побутові відходи (відходи домогосподарств)
Y47	Залишки в результаті спалювання побутових відходів

Строк дії письмової згоди на транскордонне перевезення небезпечних відходів становить один рік з дня її надання.

1.3.Законодавче регулювання у сфері поводження з відходами

Головною метою екологічного законодавства є попередження штучних негативних впливів на навколишнє середовище. У вересні 2015 року на Саміті ООН з питань сталого розвитку було прийнято резолюцію щодо спрямування зусиль у розвитку до 2030 року під назвою «Перетворення нашого світу: 2030. Порядок денний для сталого розвитку». Цей документ встановлює 17 цілей сталого розвитку, які визначаються 244 індикаторами. Багато цілей сталого розвитку безпосередньо стосуються управління відходами. До них належать.

Ціль 6. Забезпечення наявності та раціонального використання водних ресурсів і санітарії для всіх.

Індикатор 6.3. До 2030 року підвищити якість води за допомогою зменшення забруднення, ліквідації скидання відходів і зведення до мінімуму викидів небезпечних хімічних речовин та матеріалів, скорочення вдвічі частки неочищених стічних вод і значного збільшення масштабів рециркуляції та безпечного повторного використання стічних вод у всьому світі

Ціль 11. Сталий розвиток міст і громад. Забезпечення відкритості, безпеки, життєздатності й екологічної стійкості міст і населених пунктів.

Індикатор 11.6. До 2030 року зменшити негативний екологічний вплив міст у перерахунку на одну особу населення, в тому числі через приділення особливої уваги якості повітря і видаленню міських та інших відходів.

Ціль 12. Відповідальне споживання. Забезпечення переходу до раціональних моделей споживання і виробництва.

Індикатор 12.3. До 2030 року скоротити вдвічі в перерахунку на одну особу населення загальносвітовий обсяг харчових відходів на роздрібному та споживчому рівнях і зменшити втрати продовольства у виробничо-збутових ланцюжках, у тому числі післязбиральні втрати.

Індикатор 12.4. До 2020 року домогтися екологічно раціонального використання хімічних речовин і всіх відходів упродовж усього їх життєвого циклу відповідно до погоджених міжнародних принципів, істотно скоротити потрапляння цих речовин у повітря, воду і ґрунт, щоб звести до мінімуму їх негативний вплив на здоров'я людей та довкілля.

Індикатор 12.5. До 2030 року суттєво зменшити обсяг відходів через вживання заходів щодо запобігання їх утворенню, їх скорочення, переробки та повторного використання.

Ціль 14. Збереження морських ресурсів. Збереження та раціональне використання океанів, морів і морських ресурсів в інтересах сталого розвитку.

Індикатор 14.1. До 2025 року забезпечити запобігання та суттєве скорочення будь-якого забруднення морського середовища, у тому числі внаслідок діяльності на суші, включаючи забруднення морським сміттям і поживними речовинами.

Цілі сталого розвитку є ключовим питанням політики Європейського Союзу і закріплені в Європейських договорах. Для досягнення Цілей сталого розвитку у більшість країн світу прийнято і застовується спеціальне екологічне законодавство. Проактивна політика і законодавство щодо управління відходами стали ключовими факторами підвищення рівня вторинної переробки в Європі. До найважливіших документів відноситься:

- Директива про відходи електричного та електронного обладнання (WEEE), яка встановлює цілі щодо роздільного збору та переробки електричних та електронних відходів;

- Рамкова директива про відходи з цілями щодо переробки та підготовки до повторного використання міських відходів;

- Директива щодо упаковки та відходів упаковки, яка визначає цілі щодо переробки відходів упаковки. Поточна мета цього документу полягає в тому, щоб до грудня 2025 року 65% відходів упаковки мали бути перероблені.

Політика ЄС щодо відходів спрямована на розвиток економіки замкнутого циклу шляхом отримання з відходів вторинних ресурсів через екологічно безпечне поводження з відходами та підвищення рівня рециклінгу та використання вторинної сировини. Центральну роль в економіці замкнутого циклу відіграє скорочення кількості відходів, які спрямовуються на захоронення. В 2015 році ЄС прийняв «План дій для Циркулярної Економіки», який спрямовано на збалансованість складових сталого економічного, екологічного та соціального розвитку.

Директива (ЄС) 2018/851, відповідно до викликів необхідності підвищення ефективності використання викопних ресурсів та зменшення несприятливого впливу відходів на навколишнє середовище, задля переходу до циркулярної економіки і встановлює наступні вимоги для країн ЄС:

- підготовка до повторного використання та переробка побутових відходів має збільшуватися (до 2025 року щонайменше до 55 % за масою; до 2030 року щонайменше до 60 % за масою; до 2035 року щонайменше до 65 % за масою);

- скорочення на 50 % глобальних харчових відходів на душу населення на рівні роздрібної торгівлі та споживання, а також втрат харчових продуктів у ланцюжках виробництва та поставок до 2030 року;

- запровадження обмеження утворення харчових відходів у первинному виробництві, при переробці, у роздрібній торгівлі продуктами харчування, у підприємствах громадського харчування, а також у домашніх господарствах.

В повідомленні Європейської Комісії від 11.03.2020 року представлено новий план дій з циркулярної економіки «За чистішу та конкурентоспроможну Європу», в якому скорегована політика поводження з відходами через регулювання наступних аспектів:

- підвищення довговічності, можливості повторного використання, модернізації та ремонтпридатності продукції, вирішення проблеми присутності небезпечних хімічних речовин у продукції та підвищення ефективності використання енергії та ресурсів;
- збільшення вмісту вторинної сировини в продуктах при забезпеченні їх ефективності та безпеки;
- можливість повторного виробництва та високоякісної переробки;
- скорочення вуглецевого та екологічного сліду;
- обмеження одноразового використання та протидія передчасному старінню товарів;
- введення заборони на знищення нереалізованих товарів тривалого користування;
- заохочення моделі «продукт як послуга» або інших моделей, при яких виробники зберігають право власності на продукт або несуть відповідальність за його характеристики протягом усього його життєвого циклу.

Закон «Про охорону навколишнього природного середовища» (№1264-XII від 25.06.1991 року з останніми змінами 2024 року) визначає, що охорона навколишнього середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки діяльності людини є необхідною умовою для стійкого економічного та соціального розвитку України. В цьому Законі викладено загальні правові, економічні та соціальні основи для організації охорони навколишнього середовища.

Після підписання в 2014 році Угоди про Асоціацію з ЄС Україна взяла зобов'язання наблизити національне законодавство у сфері управління відходами до законодавства ЄС. В 2017 році Кабінет Міністрів України схвалив Національну стратегію управління відходами в Україні до 2030 року, а в 2019 році Кабінет Міністрів України затвердив Національний план управління відходами до 2030 року. Прийняті документи були націлені на наближення поводження з відходами в Україні до стандартів ЄС та зменшення шкідливого впливу відходів на довкілля і життя людей.

Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року базується на наступних принципах стратегічного планування управління відходами:

- ієрархії поводження з відходами, яка передбачає дії стосовно поводження з відходами у такій послідовності: запобігання утворенню відходів, підготовка

до повторного використання без попередньої обробки, перероблення відходів, інші види відновлення;

- перехід до економіки замкнутого циклу, коли забезпечується якомога довше використання в економічній діяльності продуктів, матеріалів і ресурсів, а також мінімізація утворення відходів;

- зменшення потенційних ризиків від забруднення відходами шляхом забезпечення їх перероблення якомога ближче до джерел утворення;

- застосування попереджуючих запобіжних заходів при наявності доказів екологічного ризику;

- спільна відповідальність органів державної влади, органів місцевого самоврядування, суб'єктів господарювання, а також громадськості під час прийняття рішень щодо досягнення цілей екологічної політики;

- розширення відповідальності виробників та імпортерів продукції за прийняття повернутої продукції та відходів, що утворюються в результаті її використання, а також подальше управління відходами;

- створення на рівні держави чи регіону інтегрованої мережі об'єктів з відновлення і видалення відходів.

Взяття Україною зобов'язань по імплементації законодавства Європейського Союзу спонукало до проведення дій щодо внесення змін до нормативно-правового поля галузі управління відходами. Ключовим документом стосовно поводження з відходами став євроінтеграційний рамковий Закон України «Про управління відходами» (№ 2320-ІХ від 20 червня 2022 року), який прийшов на зміну Закону України «Про відходи» (№ 187/98-ВР від 05.03.1998 р.). Закон «Про управління відходами» визначає шляхи, якими Україна повинна рухатися, щоб побудувати сучасну модель управління відходами та виконати зобов'язання за Угодою про асоціацію з ЄС. Метою нового Закону є удосконалення системи управління відходами, забезпечення законодавчого та нормативно-правового регулювання відносин у сфері управління відходами за принципами Європейського Союзу, покращення стану навколишнього природного середовища та досягнення цілей сталого розвитку. Цей Закон визначає правові, організаційні та економічні засади діяльності щодо зменшення обсягів утворення відходів, зниження негативних наслідків від діяльності з управління відходами, сприяння підготовці відходів до повторного використання, рециклінгу і відновленню з метою запобігання їх негативного впливу на здоров'я людей та навколишнє природне середовище, скорочення обсягів захоронення відходів. Прийнятий Закон є фундаментом для побудови циркулярної економіки, заснованої на відновленні та раціональному споживанні ресурсів, і яка є частиною Європейського зеленого курсу.

Закон «Про управління відходами» забезпечує впровадження ієрархії поводження із відходами, дозволяє організувати планування системи управління відходами на національному, регіональному та місцевому рівнях, створити умови для побудови сучасної інфраструктури відновлення відходів за європейськими правилами. Закон містить положення для правового врегулювання питань щодо відходів, які утворюються внаслідок російської військової агресії проти України, а саме, уламків зруйнованих об'єктів будівництва та металобрухту.

Закон України «Про управління відходами» складається із 11 розділів, в яких встановлено правові, організаційні, економічні засади діяльності щодо запобігання утворенню, зменшення обсягів утворення відходів, зниження негативних наслідків від діяльності з управління відходами, сприяння підготовці відходів до повторного використання, рециклінгу і відновленню з метою запобігання їх негативному впливу на здоров'я людей та навколишнє природне середовище.

В «Загальних положеннях» (розділ I) Закону України «Про управління відходами» дається визначення основних термінів, що дозволяє, встановити загальну «мову» для всіх суб'єктів, що діють у сфері поводження з відходами.

Управління відходами - комплекс заходів із збирання, перевезення, оброблення (відновлення, у тому числі сортування, та видалення) відходів, включаючи нагляд за такими операціями та подальший догляд за об'єктами видалення відходів.

Видалення відходів - операція, що не є відновленням відходів, навіть якщо одним із наслідків такої операції є використання речовин або енергії.

Відновлення відходів - операція, у результаті якої відходи використовуються для корисних цілей, замінюючи матеріали, які мали бути використані для виконання певної функції або які підготовлені для виконання цієї функції на підприємстві чи в іншій господарській діяльності. До відновлення матеріалів може бути віднесена будь-яка інша операція, ніж виробництво енергії та перетворення відходів у матеріали, що можуть бути використані як паливо або для іншого виробництва енергії, яка може включати підготовку відходів до повторного використання, рециклінг, зворотне заповнення та інші операції.

Захоронення відходів - розміщення відходів на поверхні чи під поверхнею (підземне) землі у спосіб, що не становить загрози здоров'ю людей та навколишньому природному середовищу і не передбачає подальше оброблення відходів.

Зберігання відходів - утримання відходів на об'єктах збирання, у тому числі до їх оброблення, протягом не більше одного року з моменту їх утворення, що

є безпечним для здоров'я людей та навколишнього природного середовища відповідно до екологічних та санітарно-епідеміологічних вимог.

Збирання відходів - операція, що полягає у вилученні, купівлі, накопиченні та зберіганні відходів суб'єктами господарювання у сфері управління відходами, включаючи роздільне збирання, з метою подальшого перевезення відходів на об'єкти оброблення відходів.

Оброблення відходів - операція з відновлення або видалення відходів, включаючи підготовку відходів до таких операцій.

Сортування відходів - операція, пов'язана з механічним розподілом відходів залежно від їх фізико-хімічних властивостей, матеріальних складових, енергетичної цінності, інших показників з метою їх підготовки до оброблення.

Рециклінг - операція з відновлення, у результаті якої відходи переробляються у продукцію, матеріали або речовини для їх використання за первинною або іншою метою. Ця операція включає перероблення органічного матеріалу, але не включає виробництва енергії чи перетворення відходів у матеріали, що можуть бути використані як паливо або як матеріали для зворотного заповнення.

Закон України "Про відходи" визначає основні цілі державної політики у сфері запобігання утворенню та управління відходами:

- захист здоров'я людей та навколишнього природного середовища від негативного впливу відходів;
- здійснення заходів у сфері управління відходами без загрози здоров'ю людей та спричинення шкоди навколишньому природному середовищу в межах встановлених нормативів шкідливого впливу фізичних факторів;
- дотримання ієрархії управління відходами;
- запровадження розширеної відповідальності виробника.

До основних принципів державної політики у сфері запобігання утворенню та управління відходами Закон України "Про відходи" відносить:

- запобігання - утворювач або власник відходів вживає заходів для запобігання утворенню відходів, а також для уникнення, зменшення або усунення негативного впливу відходів на здоров'я людей та навколишнє природне середовище;
- "забруднювач платить" - утворювач або власник відходів покриває витрати на запобігання утворенню відходів, їх збирання, перевезення та оброблення, включаючи витрати на створення та утримання об'єктів оброблення відходів. Цей принцип поширюється на відходи упаковки, електричного та електронного обладнання, батарей і акумуляторів, транспортних засобів, знятих з експлуатації, мастил (олив), шин, текстилю тощо;

- територіальної наближеності - оброблення відходів здійснюється на найближчій споруді або установці з оброблення відходів, або в місці захоронення відходів, враховуючи їх екологічну та економічну ефективність, відповідно до регіональних та місцевих планів управління відходами;

- формування конкурентного середовища у сфері управління відходами - суб'єкти господарювання, органи державної влади та органи місцевого самоврядування зобов'язані сприяти розвитку конкуренції та не повинні вчиняти будь-яких неправомірних дій, які можуть мати негативний вплив на конкуренцію у сфері управління відходами.

Закон України «Про управління відходами» передбачає:

- створення в Україні європейської ієрархії управління відходами, де пріоритетом є запобігання або зменшення утворення відходів, сприяння підготовці їх до повторного використання і відновлення як вторинної сировини та енергетичних ресурсів;

- залучення інвестицій для будівництва сміттєпереробних заводів в Україні;

- організація довгострокового планування управління відходами на національному, регіональному та місцевому рівнях;

- удосконалення процесу здійснення дозвільних процедур у сфері управління відходами;

- створення відповідної інфраструктури об'єктів управління відходами;

- впровадження розширеної відповідальності виробника для специфічних видів відходів та заходів, що дозволить повністю фінансувати їх збирання та переробку за рахунок виробника;

- створення інформаційної системи управління відходами;

- посилення контролю у сфері управління небезпечними відходами;

- надання податкових і кредитних пільг для фінансової підтримки проведення наукових досліджень та впровадження інноваційних технологій оброблення та рециклінгу відходів.

У розділі 3 Закону України «Про управління відходами» визначено повноваження органів виконавчої влади (Кабінету Міністрів України, центральних органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування) у сфері управління відходами. Суб'єкти господарювання, які мають намір здійснювати або здійснюють діяльність у сфері оброблення відходів, зобов'язані створити обліковий запис в інформаційній системі управління відходами та внести до системи визначені законодавством необхідні відомості. Господарська діяльність з управління небезпечними відходами здійснюється суб'єктами господарювання на підставі ліцензії, яка видається після проведення перевірки матеріально-технічної бази здобувача на відповідність встановленим вимогам.

Закон України «Про управління відходами» містить перелік порушень у сфері управління відходами, за які особи, що винні в їх скоєнні, несуть дисциплінарну, адміністративну, адміністративно-господарську, цивільну чи кримінальну відповідальність:

- здійснення операцій у сфері управління відходами без відповідного дозволу на здійснення таких операцій або недотримання умов дозволу;
- порушення встановленого порядку подання декларації про відходи або неподання такої декларації;
- порушення правил ведення обліку утворення відходів та операцій з управління відходами;
- порушення строків та/або порядку подання звітності про утворення, збирання, перевезення та оброблення відходів;
- порушення вимог щодо передачі відходів суб'єктам господарювання у сфері управління відходами;
- порушення встановленого порядку управління відходами, що призвело до негативного впливу на здоров'я людей, забруднення навколишнього природного середовища та завдало економічних збитків;
- порушення встановлених правил і режиму експлуатації установок та виробництв з оброблення відходів, полігонів для захоронення відходів;
- порушення порядку ввезення в Україну, вивезення і транзиту відходів через територію України;
- невиконання розпоряджень органів, що здійснюють державний контроль і нагляд за операціями з управління відходами та за місцями їх збирання та оброблення;
- приховування, викривлення або відмову від надання повної та достовірної інформації за запитами посадових осіб і зверненнями громадян та їх об'єднань щодо безпечності утворення відходів та управління ними, у тому числі про аварійні скиди відходів та їх наслідки;
- несплату або несвоєчасну сплату екологічного податку за розміщення відходів;
- невиконання цільових показників щодо підготовки відходів до повторного використання, рециклінгу, іншого матеріального відновлення, включаючи зворотне заповнення.

Питання поведінки з специфічними відходами також регламентуються Законами України «Про поводження з радіоактивними відходами», «Про пестициди і агрохімікати», «Про металобрухт», «Про хімічні джерела струму», «Про ветеринарну медицину», «Про вилучення з обігу, переробку, утилізацію, знищення або подальше використання неякісної та небезпечної продукції», Кодексу України про надра та інших нормативно-правових актів.

Закон «Про пестициди і агрохімікати» (№86/95-ВР від 02.03.1995 з останніми змінами 2024 року) визначає вимоги до виробництва, транспортування, торгівлі, зберігання, використання, утилізації та знищення пестицидів і агрохімікатів.

Закон «Про перевезення небезпечних вантажів» (№ 1644-III від 06.04.2000 р. з останніми змінами 2021 року) визначає правові, організаційні, соціальні та економічні засади діяльності, пов'язаної з перевезенням небезпечних вантажів, в тому числі відходів, залізничним, морським, річковим, автомобільним та повітряним транспортом.

Міжнародна організація зі стандартизації ISO розробляє стандарти відповідно до сучасних вимог, гарантує їх широке використання і визнання. Розробка серії міжнародних стандартів систем екологічного менеджменту на підприємствах і в компаніях ISO 14000 є однією із важливих міжнародних природоохоронних ініціатив. Міжнародні екологічні стандарти визначають методи створення та забезпечення функціонування систем екологічного управління на підприємствах і організаціях, вимоги до таких систем, встановлюють вимоги до екологічного аудиту тощо. Застосування стандартів ISO серії 14000 передбачає складання підприємством декларації, яка включає опис виробничої діяльності підприємства, оцінку його впливу на довкілля, обсяги відходів і забруднень, рівень споживання води і енергії, методи управління, проведення контролю навколишнього середовища тощо. Існують окремі стандарти ISO, що стосуються конкретних процесів утилізації, наприклад ISO 15270: 2008 відноситься до управління відходами пластмас.

Стандарти систем екологічного менеджменту дозволяють підприємствам досягати якісно нового рівня охорони навколишнього середовища, зробити його природоохоронну діяльність системною і ефективною. Стандарти передбачають здійснення необхідних заходів щодо удосконалення цієї діяльності при збереженні економічних інтересів підприємства. Незважаючи на те, що застосування стандартів серії ISO14000 є добровільним, відбувається активне впровадження їх положень передовими підприємствами України.

В Україні діє кілька національних стандартів в галузі поводження з відходами.

ДСТУ 2195-99 Національний стандарт України. Охорона природи. Поводження з відходами. Технічний паспорт відходу. Склад, вміст, виклад і правила внесення змін.

Вимоги цього стандарту застосовують:

- під час планування та здійснення будь-якої діяльності, внаслідок якої утворюються (прогнозуються) відходи;

- за будь-яких видів поводження з відходами;
- під час пошукових, проектних робіт і підготовки виробництв, зв'язаних з утворенням відходів і поводженням з ними;
- під час розробки технологічної, будівельної, житлово-комунальної та іншої нормативної і технічної документації на всі види діяльності, в яких утворюються, переробляються, використовуються чи видаляються відходи;
- під час формування обліку і звітності щодо відходів виробництва.

ДСТУ 3910—99 Національний стандарт України. Охорона природи. Поводження з відходами. Класифікація відходів. Порядок найменування відходів за генетичним принципом і віднесення їх до класифікаційних категорій.

Цей стандарт установлює порядок визначення найменування відходів відповідно до їхнього стану, процесу утворення, виду економічної діяльності і віднесення відходів до наявних класів, груп та інших категорій. Вимоги цього стандарту застосовують під час паспортизації відходів і розробки нормативних документів, що відносяться до поводження з відходами.

ДСТУ 3911—99 Національний стандарт України. Охорона природи. Поводження з відходами. Виявлення відходів і подання інформаційних даних про відходи. Загальні вимоги.

Цей стандарт установлює загальні вимоги щодо прогнозування утворення, виявлення відходів, та подання інформаційних даних про відходи на всіх стадіях життєвого циклу продукції, вимоги до нормативних документів на процеси і продукцію, пов'язаних із утворенням і переробленням відходів та до нормативних документів, пов'язаних з поданням даних про відходи.

ДСТУ 4462.3.01:2006 Національний стандарт України. Охорона природи. Поводження з відходами. Порядок здійснення операцій.

Вимоги цього стандарту поширюються на всі етапи поводження з відходами, починаючи з моменту їх утворення, охоплюючи операції збирання, заготівлі, оброблення, перероблення, транспортування, відновлення, розміщення (зберігання), знешкоджування, захоронення та контролювання за цими операціями і нагляд за місцями видалення. Цей стандарт установлює порядок операцій поводження з відходами, утворюваними на усіх стадіях життєвого циклу продукції, виконання робіт та надання послуг

ДСТУ 4462.3.02:2006 Національний стандарт України. Охорона природи. Поводження з відходами. Пакування, маркування і захоронення відходів. Правила перевезення відходів. Загальні технічні та організаційні вимоги.

Цей стандарт встановлює вимоги до пакування, маркування і захоронення відходів та правила перевезення відходів. Вимоги цього стандарту спрямовані на забезпечення екологічної безпеки та безпеки для здоров'я населення і запобігання надзвичайним ситуаціям.

1.4. Управління відходами

Відходи є наслідком господарської діяльності населення нашої планети. Завданням для сучасної світової спільноти є мінімізація кількості утворених відходів та перетворення відходів у матеріальні ресурси. Це є головною метою концепцій нульових відходів «zero waste» та циркулярної економіки.

Управління відходами (waste management) включає процеси, за допомогою яких відходи збираються, транспортуються та відновлюються найкращим можливим способом для обмеження або усунення шкідливого впливу відходів на навколишнє середовище. Управління безпечними побутовими та комунальними відходами в мегаполісах зазвичай є відповідальністю місцевих органів влади, тоді як за видалення безпечних комерційних і промислових відходів зазвичай покладається на виробників. Управління відходами є найбільш успішним, коли воно має низький вплив і зменшує потребу в первинних матеріалах шляхом рециклінгу відходів.

Ресурсний потенціал відходів включає матеріальну, енергетичну та біологічну складові. Повторне використання кожної з названих складових дозволяє знизити витрати на енергетичні та сировинні ресурси в різних галузях господарської діяльності, скоротити емісію шкідливих речовин в навколишнє середовище та зменшити обсяг відходів, що підлягають захороненню. Практика поводження з відходами відрізняється для розвинутих країн і країн, що розвиваються, для міських і сільських районів, а також для побутових і промислових джерел утворення. Вибір доцільного способу поводження з побутовими і промисловими відходами проводиться за результатами проведення комплексного техніко-економічного аналізу проблеми. У практиці управління відходами застосовують наступні види аналізу: екологічний, ресурсний, технічний, економічний, соціальний, фінансовий та інституційний. Кожний із цих видів аналізу не є самодостатнім і вимагає комплексного поєднання зусиль задля забезпечення ефективності поводження з відходами.

Екологічний аналіз передбачає проведення моніторингу та класифікації відходів, визначення ступеня їх токсичності та впливу на навколишнє середовище. Відповідно до цього приймають оптимальний спосіб зберігання

відходів, оцінюють можливості їх повторного використання, знешкодження та нейтралізації.

Ресурсний аналіз передбачає оцінку відходів як джерела сировини: визначається вміст цінних компонентів у конкретних відходах, порівнюються можливі технології їх вилучення. Для цього використовують інформацію щодо наявності й передбачуваних в майбутньому обсягів утворення відходів, визначають собівартість переробки та попит споживачів на таку сировину.

Технічний аналіз передбачає опрацювання інформації щодо ефективних маловідходних та екологічно чистих технологій за галузями, технологій видлення та знешкодження відходів.

Економічний аналіз спрямовується на забезпечення економічної ефективності поводження з відходами, оцінки ефектів мінімізації утворення відходів та їх утилізації, створення нових робочих місць.

Фінансовий аналіз передбачає визначення необхідних витрат, забезпечення основи для планування та мобілізації необхідних інвестиційних ресурсів.

Соціальний аналіз розглядає механізми взаємодії громадськості та установ, які працюють у сфері управління відходами, підвищення рівня обізнаності та інформованості населення у питаннях поводження з відходами, участь громадськості в процесах планування, впровадження та експлуатації систем збору та переробки відходів.

Інституційний аналіз передбачає оцінку ефективності механізму поводження з відходами на муніципальному рівні. Раціонально побудоване управління відходами дозволяє забезпечити підвищення зайнятості населення та досягати виведення громад з бідності.

Ефективна система управління відходами має бути як екологічно, так і економічно стійкою. Екологічна стійкість досягається при забезпеченні мінімізації шкідливого впливу відходів на навколишнє середовище. Економічна стійкість досягається стабільною роботою за прийнятною для громади ціною. Одночасна мінімізація цих двох змінних (вартість і вплив на навколишнє середовище) є складно реалізуємою задачею. Баланс, який необхідно знайти шляхом компромісу, полягає в забезпеченні зменшення загального впливу системи управління відходами на навколишнє середовище в межах прийнятного рівня фінансування.

Раціональне використання відходів того чи іншого виду залежить від наступних чинників: об'єм партії відходів, економічна рентабельність транспортування відходів від місць їхнього утворення до місця переробки, склад і особливі властивості відходів, попит на продукцію, яка отримується на основі відновлених матеріалів, наявність ефективних технологій рециклінгу. Усі зазначені чинники об'єднуються поняттям «споживчі властивості відходів».

До цього часу при господарюванні у більшості країн світу переважає лінійна модель економічної діяльності коли ресурси добуваються, переробляються та перетворюються на відходи, що не відновлюються, не мають подальшого застосування і піддаються захороненню на звалищах. При використанні лінійної моделі «видобув - виготовив - покористувався - викинув» джерела сировини з часом вичерпуються, а утворені в результаті життєдіяльності населення відходи накопичуються без повторного використання. Наприклад, з нафтопродуктів виробляють пластикові пакети, які використовуються за призначенням впродовж короткого терміну, після чого вони стають відходом, викидаються та починають забруднювати ґрунти або води впродовж сотень років.

По мірі розвитку техніки і технологій склад відходів змінюється за рахунок переорієнтації на виробництво високотехнологічної продукції. Відходи починають містити дедалі складніші поєднання матеріалів, включаючи пластик, рідкоземельні та дорогоцінні метали, які вимагають ускладненого поводження. Утворення нових потоків відходів (електронні пристрої, монітори та ІТ-обладнання, речі з синтетичних матеріалів, наноматеріалів тощо) вимагають розробки новітніх методів поводження, які раніше не існували. Утворені відходи мають шкідливий вплив на навколишнє середовище, спричиняючи викиди парникових газів, що сприяє зміні клімату, а також викликає значні втрати матеріалів. Це є суттєвою проблемою для економіки країн ЄС, які сильно залежать від імпорту сировини.

Перед людством гостро постають проблеми ефективного управління відходами для досягнення цілей сталого розвитку, які спрямовані на забезпечення можливостей людству жити у гідних умовах. Належне управління біологічними відходами, зменшення викидів вуглекислого газу і метану уповільнює кліматичні зміни за рахунок глобального потепління. Впровадження екологічних інновацій в умовах лінійної економіки дозволяє розв'язувати лише окремі екологічні, економічні та соціальні проблеми:

- розширена відповідальність виробника збільшує можливості для фінансування збору та обробки окремих потоків відходів;
- використання багатих на енергію фракцій відходів дозволяє забезпечувати постачання електричної енергії та гарячої води в містах при скороченому використанні викопного палива;
- впровадження автоматизованого сортування з застосуванням штучного інтелекту і робототехніки підвищує якість сортування твердих побутових відходів;
- вдосконалення обладнання очисних споруд дозволяє зменшити забруднення річок;

- проведення публічного обговорення під час прийняття важливих рішень щодо будівництва нових сміттєспалювальних підприємств дозволяє уникнути конфліктів під час прийняття важливих рішень щодо поводження з відходами;
- вдосконалення логістики транспортування відходів, які виробляються в одному місці, але переробляються в іншому місці через відсутність рециклінгової інфраструктури.

Розширена відповідальність виробника застосовується майже усім країнам ЄС. У виробників є два варіанти – самостійно налаштувати власний збір та переробку відходів упаковки або ж укласти договір з організацією, яка візьме цю роботу на себе. Різні варіації розширеної відповідальності виробників почали розвиватися з початку 90-х років минулого століття. Вперше переніс відповідальність за збір та утилізацію упаковки на її виробників, імпортерів і дистриб'юторів товарів закон, який було прийнято в Німеччині у 1991 році. Виробники платять ліцензійний збір, який має компенсувати затрати на вивіз, сортування та переробку тари та пакування, а кошти від ліцензійного збору передаються фірмам, що вивозять та переробляють відходи.

Одну з найбільш ефективних систем розширеної відповідальності виробників запроваджено в Австрії, де вона охоплює не лише пакування, але й вживані автомобілі, батарейки та бруд електрообладнання. В результаті 90% упаковок збирається та перероблюється в мережі центрів переробки, яка нараховує 1200 одиниць.

Комплексним рішенням управління відходами та ресурсами, яке вже довело свою ефективність у багатьох країнах світу, є модель “zero waste” (нуль відходів). Міжнародний альянс Zero Waste International Alliance було створено у 2003 році для просування позитивних альтернатив захороненню та спалюванню відходів, які можуть створити робочі місця та нові можливості для бізнесу. Альянс проводить інформаційну діяльність, яка спрямована на підвищення обізнаності суспільства про соціальні та економічні переваги, які можна отримати, коли відпрацьовані матеріали розглядаються як ресурси. Стратегія «Zero waste» полягає у збереженні ресурсів за допомогою відповідального виробництва, споживання, повторного використання та відновлення продуктів та матеріалів без спалювання та захоронення. Політика, правила та фінансові стимули моделі «zero waste» націлені на:

- відмову від використання одноразових виробів;
- зміну дизайну продуктів на такі, які не містять токсичних речовин і є довговічними;
- розширення компостування та відновлення органічних відходів.

Незважаючи на свою безперспективність лінійна модель економіки все ще продовжує домінувати у світі. За даними звіту The Circularity Gap (2023), який

презентують на Всесвітньому економічному форумі в Давосі, лише 9% відходів матеріалів у світовій економіці використовується повторно. Рішенням існуючих екологічних проблем визнано перехід від лінійної моделі економіки до відновлювальної циркулярної економіки. Циркулярна економіка – це загальна назва діяльності, спрямованої на енергозбереження, рециклінгове екологічно чисте виробництво та споживання. Циркулярна модель економічного розвитку є перспективним шляхом збереження ресурсів і матеріалів, а відтак веде до стабільного економічного росту. Це відповідь на такі сучасні глобальні виклики, як зменшення кількості відходів, які спрямовуються на захоронення, зміна клімату та неконтрольоване утворення відходів. Проводиться заміна концепції завершення життєвого циклу відходів на санітарних полігонах на перехід до відновлення, розширення використання джерел відновлюваної енергії, відбору меншої кількості первинних ресурсів із земних надр.

Принципом практичної діяльності в моделі циркулярної економіки стає виробництво продукції більш тривалого користування («дизайн на перспективу»), обслуговування та підтримування виробів у робочому стані, їх ремонтпридатність, повторне використання, оновлення та рециклінг.

За останні роки країни Європейського Союзу все ширше переходять до циркулярної економіки та досягнення більшої ефективності у використанні ресурсів. В Україні, до гарячої фази війни з росією станом на 2021 рік, переробку проходило лише 3,2% відходів. В рамках Угоди про асоціацію між Україною та ЄС наша країна взяла зобов'язання щодо гармонізації національного законодавства з європейським. Це сприяло тому, що в 2017 році було прийнято Національну стратегію поводження з відходами, яка передбачає, зокрема, запровадження принципів циркулярної економіки.

1.5. Ієрархія управління відходами в умовах циркулярної економіки

З початку нового тисячоліття європейські практики управління відходами поступово сформувалися в єдину економічну і технологічну парадигму, згідно якої проблема відходів розглядається в контексті переходу до циклічної економіки. У всіх документах ЄС і коментарях експертів циркулярна економіка майбутнього подається як революція, яка веде до нового технологічного укладу - до стійкої, низьковуглецевої, ресурсно-ефективної і конкурентоспроможної економіки. Ці кроки регламентуються рядом директивних документів ЄС.

1) Директива про захоронення відходів (Council Directive 1999/31/EC), яка вимагає проведення вдосконалення санітарних полігонів, включаючи суворі вимоги щодо заборони захоронення біорозкладних відходів та обов'язкове

попереднє оброблення відходів перед захороненням. Директива про захоронення відходів, передбачає дві основні вимоги:

- мінімізація захоронення на полігонах відходів, що біологічно розкладаються;
- зобов'язання попереднього оброблення твердих побутових відходів до їх захоронення на полігонах.

2) Директива 94/62/ЄС «Про упаковку та відходи упаковки» та 2018/852/ЄС «Про внесення змін до директиви щодо упаковки та відходів упаковки в рамках сприяння переходу ЄС до економіки замкнутого циклу». Ці документи містять комплекс положень, які спрямовані на запобігання утворення непотрібних відходів упаковки шляхом запровадження з 1 січня 2022 року заборони на продаж легких пластикових пакетів для перенесення покупок. Крім того, з 1 січня 2023 року ресторани, бістро та кафе, які пропонують їжу та напої на винос, повинні продавати свою продукцію у багаторазовій упаковці.

3) Директива ЄС 2008/98 «Про відходи» (рамкова) встановила ієрархію бажаного поводження з відходами.

4) Європейська зелена угода. У 2019 році Європейська комісія оголосила мету - Європа до 2050 року має стати першим у світі кліматично нейтральним континентом. Центральною частиною досягнення такого екологічно чистого сталого зростання є повноцінний перехід до ресурсо-ефективної циркулярної економіки.

5) У 2019 році ЄС виключив спалювання відходів для отримання енергії зі списку видів економічної діяльності, які можуть отримати інвестиційне фінансування як технологій, що можуть зробити внесок у пом'якшення наслідків зміни клімату та забезпечити перехід до циркулярної економіки.

6) Директива 2012/19/ЄС про відходи електронного та електричного обладнання.

7) Директива 2006/66/ЄС про видалення відпрацьованих гальванічних батарейок і акумуляторів.

8) План дій ЄС щодо циркулярної економіки. Після успішного виконання першого Плану дій із кругової економіки від 2015 року, який включав 54 дії, Європейська комісія в березні 2020 року прийняла новий План дій. Цей план має на меті перетворити циркулярну економіку на основну концепцію та від'єднати темпи економічного зростання від зростання темпів використання ресурсів, забезпечуючи при цьому конкурентоспроможність економіки Європейського Союзу. Новий план включає 35 заходів, які охоплюють весь життєвий цикл продуктів, віддаючи пріоритети дизайну продуктів, сприяючи процесам циркулярної економіки, стимулюючи стале споживання.

Концепція циркулярної економіки базується на трьох принципах «3R»: скорочення споживання, повторне використання та переробка (reduce, reuse, recycle). Ведення традиційного сільськогосподарського виробництва є прикладом переважно природного та сталого використання ресурсів. Цю сферу можна розглядати як оригінальну модель функціонуючої циркулярної економіки, оскільки вона може успішно працювати без використання штучних добавок і утворення побічних продуктів виробництва, а «відходи» використання виготовлених продуктів повертаються на поле у вигляді органічних добрив.

Циркулярна економіка створює можливості для сталого розвитку держав та формування конкурентоспроможності їх промислової продукції. Перевагами циркулярної моделі економічного розвитку є:

- інноваційні та ресурсоефективні способи виробництва та споживання;
- захист підприємств від дефіциту ресурсів та нестабільних цін;
- оптимальне вторинне використання відходів;
- економія енергії внаслідок реалізації замкнутого виробничого циклу;
- зменшення негативного впливу виробництва на довкілля.

У циркулярній моделі використані матеріали та відходи мають знову стати сировиною для економіки. Це зглажує проблеми дефіциту природних ресурсів, високих цін на сировину і знижує залежність від імпортованих матеріалів. Переробку виробів після їхнього остаточного зношення на сировину (*recycling*), а відтак виробництво з отриманої сировини нової продукції носить назву замикання петель. При замкнутому циклі переробки відходи використовуються в первинному виробничому процесі. Наприклад, старі журнали можуть бути використані для виробництва паперу для нових журналів. Якщо макулатура використовується для виготовлення термоізоляційного матеріалу, це назвають переробкою у відкритому циклі, оскільки її неможливо перетворити на папір після закінчення терміну служби.

Виготовлення виробів із сировини, багаторазове переробляння якої практично не знижує її початкової якості, оцінюють як повне замикання петель. Таким є переробка відходів зі сталі, алюмінію, скла. Добуті природні ресурси (залізна руда, боксити, пісок) в умовах циркулярної економіки починають циркулювати в закритих петлях та не потребують захоронення залишків на звалищах. Замикання петель при багаторазовій переробці ряду матеріалів, наприклад, пластмас, ускладнюється через поступове зниження якості отримуваної вторинної сировини. Найчастіше таке зниження зумовлено поступовим накопиченням у сировині сторонніх домішок. Наприклад, папір для друку можна переробляти не більше 5-7 разів, останньою ланкою в ланцюзі

його перетворень з макулатури є паперові рушники, серветки, туалетний папір.



Рисунок 2 - Схема циркулярної економіки

Модель циркулярної економіки містить технічний та біологічний цикли. Споживання продуктів і послуг відбувається лише в біологічних циклах, коли матеріали, засновані на біологічній основі (їжа, одяг), призначені для повернення назад до системи через такі процеси, як анаеробне розкладання та компостування. Біологічні цикли, до певної межі, здатні відновлювати забруднені екологічні системи земної поверхні та океанських глибин. Технічні цикли забезпечують відновлення певних виробів, компонентів виробів та матеріалів за допомогою таких стратегій, як повторне використання, ремонт, реконструкція чи переробка.

Закон України «Про управління відходами» містить такі цільові показники щодо підготовки до повторного використання та рециклінгу побутових відходів: до 2025 року – не менше 10 % їх маси; до 2030 року – не менше 20 % їх маси; до 2035 року – не менше 25 % їх маси; до 2040 року – не менше 35 % їх маси.

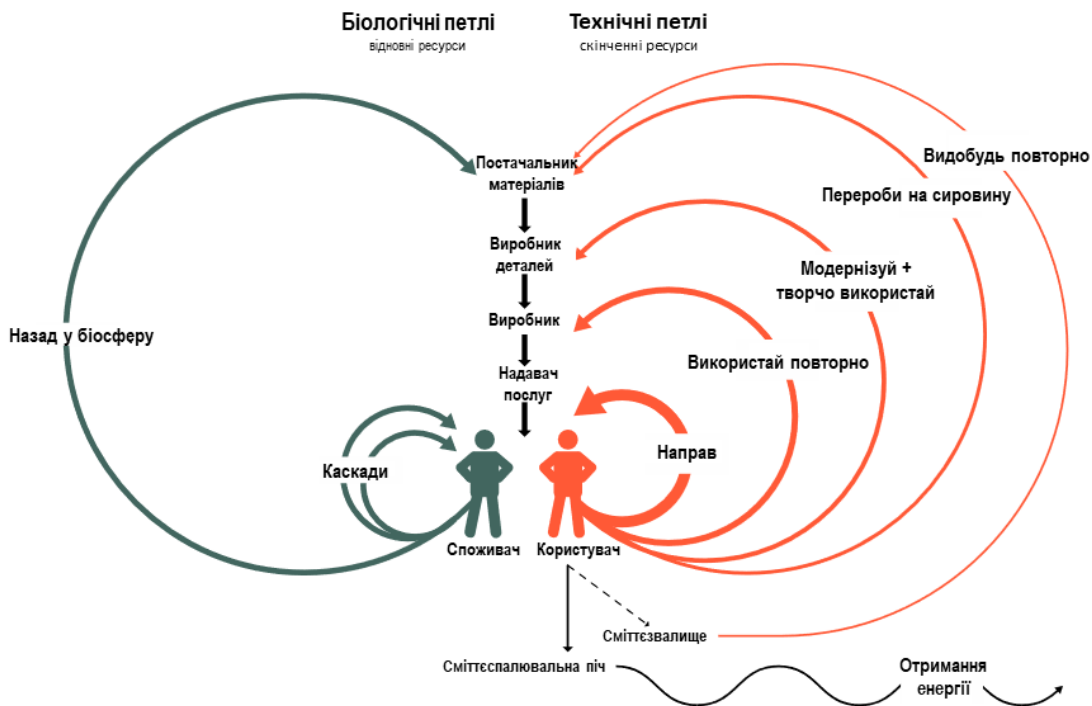


Рисунок 3 - Петлі циркулярної економіки

З часом концепція циркулярної економіки на принципі «3R» була якісно допрацьована до комплексного циркулярного підходу, який побудовано на принципі «10R»:

Refuse (Відмова): скорочення використання природних ресурсів, підвищення ефективності виробництва. Відмовляючись від непотрібних предметів і одноразового пластикового посуду, окремі виробники можуть свідомо запобігти утворенню відходів. Цей принцип спонукає до критичної оцінки споживчих звичок і відмови від продуктів, які сприяють надмірному марнотратству.

Reduce (Зменшити): цей принцип виступає за мінімізацію споживання та утворення відходів шляхом свідомого вибору. Для цього потрібно попередньо визначати, чи справді потрібна дана покупка, і вибрати продукти з простішим пакуванням або з більш довговічною якістю.

Renew/Redesign (Оновлення/перепроєктування): цей принцип означає створення екологічно чистих продуктів. Це передбачає вибір відновлюваних матеріалів, мінімізацію вмісту небезпечних речовин і забезпечення того, щоб вироби складної конструкції можна було легко розібрати для переробки або повторного виробництва. Наприклад, конструювання легких збірних будівельних конструкцій, для транспортування яких потрібно менше матеріалів і енергії.

Reuse (Повторне використання): подовження терміну служби продукції шляхом повторного використання за його основним призначенням, що

мінімізує потребу в новому виробництві. Підприємства та окремі особи можуть використовувати сервісні платформи для обміну інструментами або транспортними засобами, щоб оптимізувати використання ресурсів.

Repair (Ремонт): ремонт продуктів, а не видалення їх на звалища, сприяє збереженню ресурсів і зменшенню відходів. Доступ до ремонтних послуг і наявність запасних частин є важливими складниками реалізації цього принципу.

Refurbish (Відновлення): відновлення старих або зношених продуктів до їхнього початкового стану, також часто проводять оновлення продуктів з метою підвищення їх продуктивності. Цей підхід поєднує повторне використання, модернізацію та ремонт, зменшуючи попит на нові предмети.

Remanufacture (Відновлення/Переобробка): повторна обробка та використання частини старого продукту в нових, аналогічних, продуктах. Ця практика подовжує термін служби складових виробів, зберігаючи матеріали та енергію. Наприклад, ремонт телефонів або планшетів шляхом заміни лише батареї або екрану.

Repurpose (Перепрофілювання/Переорієнтація): переорієнтація частини старого виробу у новому продукті з іншим призначенням. Цей принцип заохочує інноваційне мислення, щоб дати нове життя продуктам, які інакше можуть бути видаленими.

Recycle (Переробка): перетворення відходів на нові продукти сприяє збереженню ресурсів і зменшенню відходів. Належна практика переробки вимагає ефективного збору, сортування та обробки матеріалів.

Recover: вилучення цінних складових з відходів за допомогою таких процесів, як перетворення відходів в енергію та компостування, гарантує, що навіть матеріали з обмеженим потенціалом переробки можуть сприяти відновленню ресурсів.

Досягнення переходу до циркулярної моделі економіки вимагає внесення змін у конструкції виробів, бізнес-моделей, управління ланцюгом поставок, державної політики та управління відходами. Компанії – виробники втілюють принципи циркулярної економіки за допомогою наступних стратегій та інструментів.

1. Дизайн майбутнього - це виробництво товарів, в яких традиційні матеріали замінюються поновлюваними або переробленими. Продукцію розробляють таким чином, щоб її складові частини можна було легко замінити, поновити та використати повторно. Це оптимізує використання ресурсів і зменшує кількість відходів у виробничому процесі. Наприклад, компанія Adidas для виробництва ряду нових моделей взуття використовує відновлені матеріали. З іншої сторони використання 3D друку в процесі виготовлення

запчастин дозволяє економити значну кількість сировинного матеріалу. При розробці продукту намагаються враховувати наступні аспекти:

- використання простих технічних рішень для забезпечення довговічності та ремонтпридатності, а також легкої відновлювальної переробки;
- використання деталей і матеріалів, які легко відновлюються, та поширені на регіональному або внутрішньому ринку;
- використання побічних продуктів, які утворюються в інших процесах виробництва;
- розширене використання відновлюваних матеріалів;
- уникнення використання токсичних і рідкісних речовин;
- дотримання вимог до матеріалів та продукції національних стандартів.

2. Повторне використання у виробництві, коли вживані продукти або їх компоненти стають частиною нових товарів. Доцільно багатократно використовувати одні й ті ж самі матеріали, не відбираючи у природи нові ресурси, таким чином перейти від природних джерел ресурсів до техногенних, використовувати енергію від відновлюваних джерел та біорозкладну сировину. В ході виробничих процесів вода, хімічні реагенти і матеріали мають використовуватися повторно після відновлювального перероблення. Кожен продукт має використовуватися максимально довго. Так, компанія Canon приймає назад свою продукцію в кінці життєвого циклу і використовує ряд компонентів у нових пристроях без зниження функціональних характеристик матеріалів. Група Michelin щорічно повертає у виробничий процес 17 млн т використаних автомобільних шин. Це призводить до підвищення ефективності, зниження експлуатаційних витрат, більшої життєздатності та зменшення негативного впливу на довкілля.

3. Повторне використання у споживанні, коли за допомогою оптимізації обслуговування компанії можуть збільшити життєвий цикл продукту. Наприклад, маркетплейс eBay пропонує відновлені після ушкоджень або браку, але повністю функціональні девайси, на спеціальному сайті за зниженими цінами. Стратегія повторного використання також пропонує продавати і купувати вживані продукти. У Швеції працює супермаркет Retuna, асортимент якого, від меблів до книг, складається із секонд-хенд речей. В Україні також наявні кілька прикладів ефективного використання ресурсів у виробничому процесі. Так, компанія "Миронівський хлібопробукт" будує біогазові комплекси для переробки відходів птахофабрик й отримання енергії. А в мережі супермаркетів "Сільпо" встановлюють установки рекуперації тепла від холодильного обладнання для забезпечення потреби в гарячому водопостачанні.

4. Індустріальний симбіоз і переробка відходів виробництва можуть значно підвищити ефективність бізнесу. Прикладом симбіозу в концепції циркулярної економіки є проект в місті Калундборг (Данія), де кілька компаній-учасниць об'єдналися за принципом взаємодії, коли відходи виробництва одного бізнесу стають ресурсом для іншого. До складу екоіндустріального парку входять найбільша нафтопереробна компанія Данії, яка належить енергетичному гіганту Equinor, та фармацевтична компанія Novo Nordisk, яка утворює відходи етанолу. Учасники екоіндустріального парку використовують ці відходи для виробництва енергії комунальним підприємством з водо- і теплопостачання жителям міста. У той же час гіпс, який утворюється на електростанції в процесі очищення димових газів, використовується компанією Гургос для виготовлення гіпсокартону. В Україні концерн "Оболонь" стабільно реалізує агрокомпаніям побічні продукти пивного виробництва, які стають кормом для тварин.

5. Переробка після закінчення життєвого циклу продукту в нові матеріали. Належне сортування та переробка відходів таких матеріалів, як папір, скло, пластик і метали, сприяє значному збереженню ресурсів і зменшує обсяги захоронення на звалищах. Ця практика замикає петлю шляхом повторного введення відсортованих матеріалів у виробничий цикл. Наприклад, виробник спортивного взуття Nike майже 30 років тому запустив ініціативу Nike Grind. Близько 28 млн пар старих кросовок, зібрані по всьому світу, було використано як сировинний матеріал для виготовлення покриття для спортивних майданчиків.

Практична трансформація бізнесу на основі принципів циркулярної економіки розпочинається з наступних ініціатив:

- аналіз функцій продукту на предмет можливості заміни використовуваних матеріалів на відновлювані без втрати якості продукції;
- організація роботи логістики в двосторонньому режимі. Цінні матеріали можна повернути назад у виробництво після того, як клієнти відмовилися від подальшого використання продукту;
- взаємовигідна спільна робота з іншими компаніями над розробкою інноваційних рішень;
- пошук нових ринків вторинного використання за межами традиційного сектора діяльності, що дозволяє істотно збільшити базу клієнтів компанії і забезпечити зростання прибутку.

Лідерами у впровадженні принципів циркулярної економіки є виробники товарів масового споживання - продуктів харчування, парфумерії, засобів особистої гігієни тощо. Такі товари продаються швидко та за низькою ціною.

Впровадженню циркулярної економіки сприяє використання у виробничій діяльності ряду Європейських стандартів.

ISO 59004:2024-05 - Циркулярна економіка - Лексика, принципи та вказівки щодо впровадження - це міжнародний стандарт сімейства ISO 59000, який сприяє переходу до економіки замкнутого циклу та надає комплексні рекомендації для організацій таких робіт. Стандарт спрямований на вирішення таких екологічних проблем, як дефіцит ресурсів, зміна клімату та втрата біорізноманіття, наголошуючи на сталому управлінні ресурсами. Дотримуючись стандарту ISO 59004, організації можуть знайти більш стійкі рішення, покращити свої відносини із зацікавленими сторонами та підвищити свою стійкість до екологічних та економічних ризиків. Стандарт підтримує організації у здійсненні Порядку денного сталого розвитку ООН до 2030 року та забезпеченні сталого майбутнього.

ISO 59010:2024-05 - Циркулярна економіка - Керівництво щодо переходу бізнес-моделей і мереж цінностей - стандарт підтримує організації, які мають намір трансформувати свої бізнес-моделі з лінійної економічної моделі на циркулярну. ISO 59010 зосереджується на стратегіях управління для впровадження практики циркулярної економіки як на рівні компанії, так і при взаємодії між різними компаніями. Стандарт доповнює стандарт ISO 59004, надаючи детальні вказівки щодо оцінки поточних моделей створення вартості, відображення ланцюгів та мереж створення вартості, а також розробки стратегій циркулярної економіки.

ISO 59020:2024-05 - Циркулярна економіка - Вимірювання та оцінка циклічної ефективності - стандарт забезпечує чіткий, структурований метод для вимірювання та оцінки продуктивності циклічної економіки. Це допомагає організаціям визначити, наскільки ефективно вони мінімізують споживання ресурсів і оптимізують циркулярність матеріалів. Стандарт допомагає досягнути екологічної стійкості та підтримує Цілі сталого розвитку шляхом узгодження з Порядком денним ООН на період до 2030 року. Для компаній це надає спосіб кількісно оцінити досягнутий прогрес і продемонструвати свою прихильність екологічним практикам.

ISO/DIS 59040:2023 - Чернетка - Циркулярна економіка - Специфікація кругообігу продукту – посібник, який містить загальні методики підвищення точності та повноти інформації про циклічну економіку на основі використання таблиці циклічних даних продукту під час закупівлі або постачання продуктів. Методологія включає набір вимог, які має визначити сама організація, включаючи достовірне звітування та обмін інформацією про економіку замкнутого циклу. Документ надає рекомендації щодо визначення та обмінів

паспортом продукту циркулярної економіки, враховуючи тип, зміст і формат інформації, що має надаватися.

Директивою Європейського Парламенту та Європейської Ради 2008/98/ЄС встановлено основні правила поводження з відходами, що дозволяють зменшити захоронення відходів та забезпечити економію ресурсів завдяки повторному використанню та переробленню вторинної сировини. Концепція управління відходами включає:

- ієрархію відходів, яка є наріжним каменем більшості стратегій мінімізації відходів;

- розширену відповідальність виробника. Це стратегія розроблена для сприяння інтеграції всіх витрат, які пов'язані з продуктами впродовж їх життєвого циклу (включно з витратами на утилізацію в кінці життєвого циклу), у ринкову ціну продукту. Розширена відповідальність має на меті запровадити відповідальність виробника протягом усього життєвого циклу продуктів і упаковки, представлених на ринку. Це означає, що фірми, які виробляють, імпортує та/або продають продукцію, зобов'язані нести відповідальність за продукцію після закінчення терміну її використання. Виробник, який працює за принципами розширеної відповідальності, заохочує споживачів сортувати відходи, щоб полегшити процес відновлювальної переробки. У Європейському Союзі стратегія розширеної відповідальності виробника поширюється на переробку батарей, акумуляторів, транспортних засобів, шин, відпрацьованого мастила, паперу, будівельних відходів, а також упаковок для продукції.

- принцип "забруднювач платить" - згідно з цим принципом забруднююча сторона платить за шкоду, завдану навколишньому середовищу. При управлінні відходами, це стосується вимоги до виробника відходів платити за належне захоронення відходів.

Європейська ієрархічна структура управління відходами, закріплена в Законі України «Про управління відходами». Основні кроки в порядку їхньої пріоритетності та безпечності для довкілля, які відображені в ієрархії із запобігання утворенню відходів та управління ними, виглядають наступним чином:

- 1) запобігання утворенню відходів;
- 2) підготовка відходів до повторного використання;
- 3) рециклінг;
- 4) відновлення відходів (у тому числі виробництва енергії);
- 5) видалення відходів.



Рисунок 4 - П'ятиступенева ієрархія управління відходами

Аудит відходів є важливим попереднім кроком у розробці стратегії поводження з відходами та запобігання утворенню відходів. Аудит відходів це метод встановлення кількості та складу відходів, який має на меті зрозуміти процеси, які викликають утворення відходів, а також відстеження кількості та складу їх утворень. На основі цієї інформації організації можуть вживати заходів для зменшення утворення відходів і вдосконалення управління відповідно до ієрархії відходів. Аудит відходів враховує наступні фактори:

- види відходів. Залежно від мети оцінки, команда аудиторів може спеціально знаходити відходи, які придатні для повторного використання та переробки;
- джерела відходів;
- процеси, завдяки яким матеріали стають відходами, що відкриває можливості для запобігання, обробки та відновлення.

Згідно Директиви 2008/98/ЄС запобігання утворенню відходів означає заходи, які вжито до того, як речовина, матеріал або продукт стають відходами, і які наперед скорочують:

- кількість відходів, включаючи повторне використання продуктів або збільшення їх життєвого циклу;
- негативний вплив вироблених відходів на навколишнє середовище і людське здоров'я;
- вміст небезпечних складових в матеріалах і продуктах.

Циркулярна економіка передбачає створення довговічних продуктів. У випадках, якщо не вдається запобігти утворенню відходів, реалізуються заходи для їх повторного використання. Повторне використання (англ. Reuse) в Директиві 2008/98/ЄС визначено як «будь-яка операція, за допомогою якої

продукти або компоненти, що не стали відходами, знову використовуються для тієї ж самої мети, для якої вони були спочатку зроблені». Повторне використання деяких відходів стає можливим після їхнього ремонту чи зміни дизайну (наприклад, одяг). Ряд містечок в Європі відкривають спеціальні майстерні, куди можна принести непотрібні речі, з яких працівники цих майстерень можуть зробити нові продукти для подальшого продажу (наприклад, сумки та інший одяг із джинсів). Стимулювання таких заходів, як ремонт, реконструкція та дарування речей, дозволяє ефективніше використовувати ресурси. На практиці повторне використання охоплює все те, що домогосподарства можуть пожертвувати на користь бідніших верств населення, як запчастини до автомобілів, меблі, холодильники, телевізори, комп'ютери, одяг, кухонне начиння і кухонні електроприлади, інші предмети побуту, будівельні матеріали, садовий інвентар, прикраси, що вийшли з моди, книги тощо.

В багатьох європейських країнах, існує правило: у зламаної побутової техніки перед викиданням відрізають кабель. Побутову техніку, яка ще може послужити новому власнику, її виставляють на смітник з приклеєним стікером «справне». Звідти її можуть забрати люди з низьким рівнем доходу, яким не по кишені покупка нової побутової техніки. На вулицях міст можна зустріти великі зелені ящики «Армії порятунку» та інших благодійних організацій, куди можна покласти випраний одяг, взуття, іграшки та інші пожертвування для малозабезпечених громадян.

Сфера дії принципу повторного використання переважно служить пропаганді ощадливості у суспільстві і, в меншій мірі, вирішує серйозні економічні завдання. Успішними прикладами використання такої тактики у торгівельній мережі є багаторазове використання скляних пляшок, пластикових контейнерів і мішків, дерев'яних піддонів і картонних ящиків для транспортування та розміщення товарів.

Для збору речей придатних для повторного використання створюються спеціальні центри, де здійснюється оновлення (ремонт) і продаж цих за принципом «second hand's». Замість того, щоб просто викидати речі, їх переробка може подовжити термін їх служби та зменшити кількість утворених відходів. Компанія Fuji Xerox впровадила програму ремонту та відновлення зіпсованих деталей виробів, які раніше утилізувались, з їх подальшим продажем через мережу Інтернет. Таким чином було уникнуто процедури захоронення пошкоджених деталей, переважна більшість яких містить небезпечні для довкілля мікроелементи, а інша частина – складається з дорогих металів, природні запаси яких є досить обмеженими.

Для деяких продуктів принцип повторного використання на сьогодні працює достатньо ефективно. Наприклад, існує розвинутий міжнародний ринок вживаних автомобілів. Часто це стосується автозапчастин, меблів, побутової техніки, комп'ютерів, одягу тощо. Для збору усіх цих предметів створюють спеціальні центри, де їх оновлюють і дають нове життя.

Багаторазове використання продукту може досягатися шляхом переорієнтації споживання на інший продукт, який задовольняє ті самі потреби. Наприклад, багаторазова кавова чашка може замінити одноразовий кавовий стакан. Така заміна продукту вимагає хорошого розуміння потреб, які задовольняє продукт. Багаторазова чашка має вищу якість, з неї зручніше пити, вона має яскравий дизайн на вибір. Визначальну роль може відіграти дизайн, який допоможе переконати багатьох споживачів придбати чашку багаторазового використання з логотипом університету, компанії чи улюбленої спортивної команди.

Кращий дизайн продукту є потужним методом запобігання утворенню відходів. Добре сконструйований продукт матиме нижчі витрати на завершення терміну використання, може продаватися за нижчою ціною, що призведе до більшого успіху на ринку, ніж більш сучасні альтернативи. Метою дизайну продуктів має бути довговічність речей, а не їх безсмертя.

З метою мінімізації утворення відходів виробництва та відходів після закінчення термінів експлуатації дизайн виробу повинен базуватися на наступних підходах:

- доцільно використовувати матеріали без добавок, що можуть становити загрозу здоров'ю людей під час використання або рециклінгу речей;
- продукти, процеси та системи повинні бути розроблені таким чином, щоб максимізувати ефективність маси, енергії, простору та часу. Проект офісної будівлі має бути оптимізованим для зменшення використання матеріалів та енергії, мінімізації фізичного сліду та максимізації терміну служби. Полегшена конструкція автомобілів знижує потребу у виробництві металів, знижує витрати палива при експлуатації та утворюється менша кількість відходів після рециклінгової переробки;
- не раціонально застосовувати рішення із надлишковою потужністю чи можливостями (наприклад, «єдиний розмір для всіх»). Будівельна компанія має використовувати балки, які достатньо міцні для свого призначення, замість більш важких стандартних балок;
- різноманітність матеріалів, що використовують у багатокomпонентних продуктах, має бути зведена до мінімуму, щоб спростити розбирання та збереження вартості при проведенні рециклінгу. Пляшку та кришку упаковки для йогурту доцільно виготовляти з однакового пластику, щоб збільшити

ймовірність правильної рециклінгової переробки переробними підприємствами;

- при розробці продуктів, процесів і систем необхідно передбачати інтеграцію та взаємозв'язок з наявними потоками енергії та матеріалів. Деревину переробляють на паперовій фабриці, целюлоза використовується для виготовлення паперу, залишки лігніну спалюються для забезпечення енергією процесу виробництва целюлози;

- продукти повинні мати можливість розбирання та ремонту. Ремонт пилососа зі змінними деталями має проводитися шляхом заміни вентилятора, кнопки або трубки замість заміни всього виробу.

Під терміном перероблення (рециклінг) в Директиві 2008/98/ЄС розуміється будь-яка операція, при якій матеріал відходів переробляється в продукти, матеріали або субстанції незалежно від того, чи служить отриманий в результаті продукт своїм початковим або будь-яким іншим цілям. Необхідною передумовою рециклінгу є сортування відходів. Відбору матеріалів для рециклінгу сприяє розміщення на виробах або їх пакуванні екологічного маркування, що полегшує пошук джерел походження сировини.

Метою рециклінгу може бути виділення окремих елементів зі складних продуктів - наприклад, свинцю з автомобільних акумуляторів або золота з комп'ютерних плат. До найпоширеніших сучасних видів переробки відноситься відновлення таких матеріалів як скло, папір, пластмаси, дерево та метали з потоку відходів з метою їх включення у виробництво нових продуктів. Поширені приклади включають використання деревних відходів як деревної тріски при виробництві дерев'яно – стружкових плит для будівельної галузі. Рециклінг відходів сприяє створенню нових ринків праці та стимулювання зростання економіки.

Переваги вторинної переробки для навколишнього середовища залежать від того, якою мірою вона витісняє первинне матеріальне виробництво, тому слід враховувати наступні моменти:

- повторна переробка із замкнутим циклом, як правило, є більш вигідною, ніж переробка з відкритим циклом, оскільки вона замінює вихідну первинну сировину, що веде до утворення іншого типу матеріалу;

- вторинна сировина рідко може повністю замінити первинну сировину. Часто, щоб забезпечити достатню якість продукту, потрібно додати принаймні деяку кількість первинного (сировинного) матеріалу. Це означає, що фактичні переваги переробки дещо зменшуються;

- переробка може зменшити один вплив на навколишнє середовище, але збільшити інший. Іноді переробка економить енергію, але вимагає більших

витрат води чи хімікатів, ніж первинна обробка, або виконання більших транспортних операцій.

Мода та технології змінюються з часом, а це означає, що можуть знадобитися матеріали, які не можна виробити з утворених раніше відходів. Для виготовлення нових автомобілів, телефонів і комп'ютерів виробники часто використовують сучасні спеціально розроблені матеріали, для яких ще не створено технології ефективної переробки.

Четвертим ступенем в ієрархія управління відходами є відновлення, яке передбачає переробку відходів певним чином для отримання цінного результату. Додаток II Директиви ЄС містить перелік операцій з відновлення відходів - це, зокрема, використання відходів як палива або інші засоби вироблення енергії, регенерація розчинників, переробка металів та металевих сплавів, регенерація кислот чи основ, відновлення компонентів, що використовуються для зменшення забруднення, відновлення компонентів з автомобільних каталізаторів, повторна очистка олив тощо. В цілому відновлення відходів передбачає повторне використання, вилучення цінних компонентів, отримання енергії, отримання біогазу.

В Законі України «Про управління відходами» визначено перелік операцій з відновлення відходів:

R1 Використання переважно як палива чи в інший спосіб для виробництва енергії;

R2 Відновлення / регенерація розчинників;

R3 Рециклінг / відновлення органічних речовин, що не використовуються як розчинники, у тому числі компостування та інші процеси біологічної трансформації, а також підготовка до повторного використання, газифікація та піроліз, коли компоненти використовуються як хімікати, та відновлення органічних матеріалів у вигляді засипки;

R4 Рециклінг/відновлення металів та їх сполук (включаючи підготовку до повторного використання);

R5 Рециклінг / відновлення інших неорганічних матеріалів (включаючи підготовку до повторного використання, рециклінг неорганічних будівельних матеріалів, відновлення неорганічних матеріалів у вигляді зворотного заповнення та очищення ґрунту, що приводить до відновлення ґрунту);

R6 Регенерація кислот чи основ;

R7 Відновлення компонентів, що використовуються для зменшення забруднення;

R8 Відновлення компонентів із каталізаторів;

R9 Очищення нафтопродуктів чи інші види їх повторного використання;

R10 Оброблення ґрунту, що сприяє веденню сільського господарства чи поліпшує стан навколишнього природного середовища.

Навіть при інтенсивній переробці завжди залишаються відходи, які не мають матеріальної чи ринкової вартості та в деяких випадках класифікуються як небезпечні. Ці залишкові відходи з достатнім рівнем теплоти згорання можуть бути використані для відновлення енергії та замінити використання викопного палива. Термічна обробка, така як спалювання або спільна обробка, яка відповідає стандартам екологічних викидів, також може зіграти певну роль у знищенні токсичних органічних речовин і видаленні їх із кругового потоку матеріалу. Згідно документів ЄС цей крок характеризується терміном «відходи в енергію» (waste-to-energy). До таких технологій утилізації відноситься спалювання, газифікація, піроліз, анаеробне зброджування відходів тощо. Спалювання є раціональною технологією лише для відновлення невикористаних після проведення сортування горючих фракцій твердих побутових відходів. Спалювання не повинне стосуватися відходів, які придатні для економічно ефективного повторного використання та вторинної переробки. Використання відходів як палива може застосовуватися як додатковий метод управління лише до тих відходів, які не піддаються переробці і повторному використанню.

Деякі цінні матеріали, такі як метали, також можуть бути додатково відновлені із залишків шлаку та золи від спалювання; однак решту потрібно обробляти окремо та проводити захоронення на спеціально обладнаному полігоні.

Головною метою комплексної системи управління відходами є вихід на рівень нульового захоронення залишків процесів відновлення. Згідно статистичних даних по Європі у 2017 році в електроенергію було перероблено 28% всіх твердих побутових відходів (70 млн т) і 23% (58 млн т) було направлено на захоронення (табл.4). Європейські програми розвитку встановлюють довгострокову мету - до 2030 року знизити рівень захоронення відходів до 10%. На сьогодні наблизитися до нульового рівня захоронення відходів вдалося усього кільком європейським країнам - Німеччині, Швейцарії, Швеції. В цих країнах реалізовано комплексний підхід поводження з відходами: близько 50% відходів переробляється за рециклінговими технологіями і 50% - спрямовуються на переробку в енергію.

Таблиця 4

Структура поводження з відходами (%) у європейських країнах у 2015 році

Поводження з побутовими відходами	Україна, дані Мінрегіону України	Країни ЄС, дані Євростату	Швеція, дані Євростату	Польща, дані Євростату
Захоронення, видалення	94,1	25,3	0,8	44,3
Спалювання	2,7	26,6	51,2	13,2
Перероблення	2,8	28,6	48,0	42,5

Останнім кроком за пріоритетністю є захоронення відходів та спалювання без отримання енергії. У разі коли вичерпано всі можливості проведення операцій по вторинній переробці здійснюють видалення відходів – захоронення їх у спеціально обладнаних місцях або знищення на спеціальних установках для досягнення відповідності утворених залишків встановленим санітарним нормативам. Видалення передбачає безпечне захоронення відходів, які не мають практичної цінності. Видалення є найменш привабливим варіантом в ієрархії управління відходами і розглядається як перехідна (тимчасова) фаза поводження з твердими відходами. На певному етапі полігони твердих побутових відходів мають бути закриті, а навколишня екосистема відроджена.

У 2024 році обсяг утворених відходів у Кіровоградській області складав 421142,04 т, обсяг відроджених відходів 75884,997 т, обсяг термічно оброблених відходів 56696,128 т, обсяг видалених на кінець 2024 року відходів 90370,355 т.

Більше 25% обсягу побутових відходів припадає на упаковку. Основні функції упаковки - утримувати, переносити, захищати та зберігати товари. Без можливості утримувати продукти, особливо рідини (молоко, сік), продаж у торговій мережі є ускладненим. Упаковка також може бути корисною для збереження свіжості та захисту від забруднення, попередження підробки товару. Оскільки конкуренція за увагу споживачів на ринку роздрібної торгівлі зростає, упаковка стає інструментом продажу. У країнах Європейського Союзу політика по скороченню відходів спрямована, в першу чергу, проти використання пакувальних матеріалів, які складно переробляти при утилізації. Значна кількість пластикових упаковок, які використовуються сьогодні, екологічно шкідливі і складно піддаються утилізації. Наприклад, пакети, в яких продається фруктовий сік, складаються з шарів фольги, пластику і картону, що практично унеможлиблює їх вторинну переробку. Для реалізації таких заходів застосовують економічні інструменти стимулювання безвідходних технологій, встановлення обов'язкової плати споживачами за певний предмет чи елемент пакування, наприклад, пластикові пакети. У Європі збільшується кількість

магазинів, які продають товари у тару споживача, як продукти харчування, так і побутову хімію. З 2021 року у Німеччині заборонено ряд одноразових виробів із пластику (одноразовий посуд з пластику, контейнери зі спіненого полістиролу, ватні палички). Важливим заходом для запобігання утворенню відходів є проведення інформаційних кампаній.

Для підвищення ефективності збору упаковки країни ЄС впроваджують депозитну систему. Запровадження депозитної системи має вирішальне значення не лише в контексті циркулярної економіки, а й сировинної безпеки, скорочення імпорту та повторного використання сировини. На світовому ринку 38 із 45 існуючих депозитних систем, які зараз діють, збирають скляні пляшки. Депозитні системи Хорватії, Данії, Естонії, Фінляндії, Німеччини, Ісландії, Литви та Латвії у Європі охоплюють найширший діапазон матеріалів – пляшки з ПЕТ - поліетилену, металу, скла. При застосуванні депозитної системи люди здають пляшки до спеціальних автоматів – фандоматів (автоматів з прийому тари). Фандомати являють собою роботизовані агрегати, що обмінюють зворотну тару (пляшки та банки з алюмінію, поліетиленотерефталату та скла) на грошову винагороду, або на чеки, які можна використовувати в магазинах або для проїзду на транспорті.

При покупці у вартість напою у Німеччині закладається залогова сума за тару 25 євроцентів, а коли покупець повертає тару, то отримує чек, яким може розрахуватись у супермаркеті або просто отримати готівку в касі. Таким чином, людина платить тільки за напої, а за тару повертає свої гроші, не втративши додаткові кошти. Депозитна система дозволила збільшити рівень збору певних видів тари до 90%. Це дозволило отримати матеріал для відновлення значно кращої якості, у порівнянні з матеріалом окремого збору та сортування твердих побутових відходів.

Апарат зі зручним і зрозумілим інтерфейсом налаштовується на приймання зворотної тари певного типу та розміру - ці відомості розміщують на передній панелі. Всередині автомата є прес, який стискає металеві ємності, звільняючи простір для інших виробів. Деякі види пляшок (наприклад, винні) відразу подрібнюються та йдуть на переробку; деякі види (наприклад, пивні) миються та використовуються вдруге. Фандомат для скла сам дробить пляшку на дрібні осколки, щоб збільшити щільність вторинної сировини і в такий спосіб зібрати її побільше. Всередині автомата є прес, який стискає металеві або пластмасові ємності, звільняючи простір для інших виробів.

За розвитком циркулярної економіки в ЄС сьогодні стоїть такий потужний фінансовий інститут, як Європейський інвестиційний банк. За останні десять років його інвестиції в різні проекти циркулярної економіки склали 15 млрд

євро. В 2020 році тільки на раціональне управління твердими комунальними відходами було заплановано витратити до 40 млрд євро.



Рисунок 5 - Фандомат для збору тари

Переробка відходів в Німеччині - галузь з оборотом в 200 мільярдів євро. У ній зайняті 250 тисяч чоловік, а щорічний ріст досягає 14 відсотків (табл.5). Станом на 2023 рік управління відходами перетворилося на головний високопродуктивний економічний сектор Німеччини. Близько 11 000 компаній із загальом понад 280 000 співробітників генерують річний оборот приблизно 80 мільярдів євро. Інфраструктура управління включає 14 500 об'єктів, які забезпечують високі показники переробки побутових відходів (67%), виробничих і комерційних відходів (близько 70%), а також відходів будівництва та руйнування (майже 90%).

Запровадження циркулярної економіки має спиратися на основні ринкові закони – за відсутності попиту на перероблені відходи та продукти, вона втрачає економічну доцільність. Для виправдання інвестицій необхідно стимулювати ринковий попит, створювати нові ланцюги доданої вартості всередині країни. Це неминуче тягне за собою зміни системи господарських зв'язків та відносин всередині країни та за її межами.

Проведене у 2018 році дослідження методом економічного моделювання прогнозує збільшення робочих місць у результаті переходу до циркулярної економіки приблизно до 700 000 порівняно з базовим рівнем. За даними Євростату, у секторах циркулярної економіки спостерігається ще досить повільне зростання зайнятості (переробка, ремонт і повторне використання), з 3,33 млн. у 2011 році до 3,55 млн. у 2018 році (тобто збільшення на 220 000

робочих місць за сім років). Загалом робочі місця в циркулярній економіці становлять 1,7% від загальної кількості працевлаштованих в ЄС.

Таблиця 5

Вторинне використання сировини з побутових відходів у Німеччині

Матеріал	Роки				
	1991	2013	2014	2015	2016
Біла жерсть	34%	97%	96%	93%	93%
Алюміній	5%	91%	89%	88%	88%
Скло	54%	90%	91%	86%	86%
Папір	28%	81%	82%	81%	81%
Пластмаси	3%	56%	58%	52%	53%

Часто європейські бізнесмени, що реалізують проекти в напрямку циркулярної економіки, стикаються із політичними перепонами, які виникають внаслідок гальмування прийняття потрібних рішень з боку лобістських груп від «традиційних» секторів економіки, як правило, не зацікавлених у скороченні використання сировинних ресурсів.

1.6.Основні способи поводження з відходами

1.6.1. Видалення, складування і захоронення відходів

Перелік операцій з видалення відходів визначено в Додатку 1 до Закону України «Про управління відходами» від 20 червня 2022 року № 2320-IX, а саме:

- D1 Поховання в землі чи скидання на землю (наприклад на звалище тощо);
- D2 Обробка ґрунтом (наприклад біохімічний розклад рідких чи мулових відходів у ґрунті тощо);
- D3 Закачування на глибину (наприклад вприскування відходів відповідної консистенції у свердловини, соляні куполи чи природні резервуари тощо);
- D4 Скидання у поверхневі водойми (наприклад скидання рідких або мулових відходів у котловани, ставки чи відстійні басейни тощо);

D5 Скидання на спеціально обладнані звалища (наприклад скидання в окремі відсіки з прокладкою і поверхневим покриттям, які ізолюють їх один від одного і навколишнього середовища, тощо);

D6 Скидання у водойми, крім морів / океанів;

D7 Скидання у моря/океани, в тому числі поховання на морському дні

D12 Постійне зберігання (наприклад у спеціальних контейнерах у шахті.

Для кожного виробництва характерний свій вид промислових відходів.

Традиційно на Україні промислові відходи розміщують у відвалах, териконах, хвостосховищах, шламосховищах, ними засипаються балки, гірничі виробки чи відпрацьовані кар'єри. Пуста порода в териконах і відвалах за своєю масою та об'ємом в декілька разів перевищує обсяги добутих корисних копалин. Так, наприклад, у вугільній промисловості власне на вугілля припадає лише 20% від добутої гірської маси. В хімічній промисловості найбільша кількість твердих відходів припадає на виробництва мінеральних добрив та сульфатної кислоти. На підприємствах чорної металургії накопичується значна кількість шлаків, переробка і вторинне використання яких не перевищує 50%. Піддаючись інтенсивному фізико-хімічному впливу природних факторів (повітря, вода), промислові відходи стають джерелами комплексного забруднення навколишнього природного середовища.

На сьогоднішній день в Україні накопичено понад 25 млрд. тон твердих промислових відходів. На підприємствах України в довоєнний час щороку утворювалося до 1 млрд. твердих промислових відходів. Із них 100 млн. тон токсичних, а 2,5-3,5 млн. тонн високотоксичних, які відносяться до першого класу небезпеки. Кількість підприємств, на яких утворювалися токсичні відходи перевищувало 2500. Загальний обсяг накопичення токсичних відходів оцінюється в 4,5 млрд. тонн. Особливістю твердих промислових відходів є їх прив'язаність до місць утворення.

У залежності від стану твердих промислових відходів розрізняють гідравлічний і сухий способи складування.

Гідравлічний спосіб застосовують для відходів, що утворюються при мокрому способі збагачення: золи теплових електростанцій, що уловлюється мокрим способом; шлаків і інших промислових відходів, що знаходяться в насиченому водою стані. Цей спосіб полягає в транспортуванні в трубопроводах за допомогою насосів пульпи (суміші твердих часток і води) і зливання її в сховище. Такі сховища промислових відходів займають великі території (нерідко родючих земель сільськогосподарського призначення), відбувається розпилення підсохлих поверхонь відходів, спостерігається підтоплення прилягаючих територій і забруднення підземних вод.

Окрему групу твердих токсичних відходів становлять непридатні до використання та заборонені до застосування хімічні засоби захисту рослин. За даними офіційної статистики, кількість цих відходів, накопичених в Україні, становить близько 13500 тонн. Вони розміщуються по всій території України, нерідко знаходяться у непристосованих приміщеннях, а подекуди просто неба. Ефективне вирішення всього комплексу питань, пов'язаних з ліквідацією чи обмеженням негативного впливу твердих токсичних відходів на навколишнє природне середовище та здоров'я людини досягається на основі реалізації Закону України «Про управління відходами» та Закону України «Про загальнодержавну програму поводження з токсичними відходами». Цими Законами передбачається:

- послідовне скорочення обсягів накопичення твердих токсичних відходів шляхом утилізації, знешкодження та видалення;
- скорочення утворення твердих токсичних відходів шляхом реконструкції виробництва. Впровадження маловідходних технологій та процесів замкнутого циклу;
- очищення забруднених територій від твердих токсичних відходів;
- створення мережі спеціалізованих підприємств з переробки та видалення твердих токсичних відходів;
- здійснення утилізації / переробки та видалення переважної частини непридатних та заборонених до використання хімічних засобів захисту рослин;
- створення підприємств на базі типових модульних комплексів з переробки та видалення твердих промислових відходів;
- розроблення та впровадження технологічних рішень щодо утилізації та знешкодження відходів гальванічних виробництв;
- розроблення базових технологій, проектних рішень та устаткування у сфері поводження з твердими промисловими відходами;
- розроблення та впровадження технологічного обладнання по видаленню відходів лакофарбових матеріалів, гальванічних шлаків, рекуперації хрому в шкіряному виробництві;
- розроблення та впровадження установок для термохімічного знешкодження твердих промислових відходів.

В Україні склалася катастрофічна ситуація у сфері поводження з твердими побутовими відходами. Кількість зібраних твердих побутових відходів в Україні у 2016 - 2021 роках зростала у середньому на 2.2% щорічно та досягнула понад 12,6 млн тонн у 2021 році. За даними Міністерства розвитку громад та територій України, в середньому житель України генерує від 230 кг до 330 кг сміття в рік (фактичне значення у 2020 році становило 303 кг). Для порівняння: в розвинених європейських країнах, таких як Бельгія, Великобританія,

Німеччина, Данія, Італія, Нідерланди, Швеція, Швейцарія, Японія, цей показник досягає 300...400 кг, а в США перевищив 700 кг на одного жителя в рік. Структура твердих побутових відходів в Україні у довоєнному 2021 році складала: харчові відходи – 45%; папір і картон - 13%; вторинні полімери - 11%; скло – 10%; текстиль - 5%; будівельні відходи – 4%; метали – 2 %; інші відходи -10%.

Основним способом видалення відходів в Україні є їх захоронення. В Україні 92% твердих побутових відходів проходить захоронення на полігонах і звалищах, 8% – відновлюється, із яких 7% потрапляє на заготівельні пункти вторинної сировини, а 1% спалюється. На території України налічується близько 6 тис. сміттєзвалищ і санітарних полігонів твердих побутових відходів загальною площею майже 9 тис. га. За офіційною статистикою, кількість перевантажених сміттєзвалищ становить 230 од. (3.8%), а 824 од. (13.8%) не відповідають нормам санітарної безпеки. Потреба у будівництві нових полігонів складає 288 одиниць.

Впродовж останніх тридцяти років спроби регулювання у сфері управління відходами зберігали усталену систему, не створюючи передумов до її осучасненого розвитку. Численні плани щодо впровадження роздільного збору сміття, розвитку відновлення відходів у вторинну сировину, ліквідації незаконних звалищ залишалися переважно на папері або були реалізовані у формі одиничних проєктів. На противагу вітчизняним реаліям, світова практика свідчить про економічну та соціальну доцільність залучення відходів у господарський обіг, оскільки стає масштабною індустрією, де задіяні сотні тисяч працівників і формуються значні доходи.

Сучасна практика управління побутовими відходами в Україні орієнтована на їх вивезення та захоронення на санітарних полігонах та стихійних сміттєзвалищах, більшість з яких не відповідають вимогам екологічної безпеки. Полігон це місце захоронення відходів, яке призначене для їх розміщення на поверхні чи під поверхнею (підземне) землі на тривалий термін. Полігони твердих побутових відходів розміщуються в санкціонованих місцях і є інженерними спеціалізованими спорудами, які призначені для захоронення твердих побутових відходів. Їх облаштування гарантує задовільне санітарне та епідемічне благополуччя населення, екологічну безпеку навколишнього природного середовища, запобігає розвитку небезпечних геологічних процесів і явищ. Щодня у м. Кропивницький на сміттєвий полігон вивозять до 8 тис. т сміття. Полігон в деякому роді є «біохімічним реактором» - в його товщі відбувається утворення з твердих побутових відходів значної кількості токсичних і горючих газів, рідкого фільтрату, виплід мух, розвиток хвороботворних мікроорганізмів, привернення до цих територій дрібних

гризунів і птахів. Значну шкоду природі наносять викиди біогазу з нижніх шарів захоронених відходів, що містять 40 - 60% метану та 60 - 40% вуглекислого газу. При цьому парниковий ефект метану у 25 разів вищий, у порівнянні з вуглекислим газом. У зв'язку з виділенням метану та інших горючих газів звалища відходів представляють значну пожежну небезпеку. Щорічна емісія метану зі звалищ планети порівняна з потужністю таких поширених джерел метану, як болота, вугільні шахти тощо. Багато компонентів відходів містять пожежонебезпечні фракції й можуть самозайматися під впливом високих температур. З 6000 сміттєзвалищ і полігонів в Україні, лише 19 обладнані дегазаційними установками. У Кропивницькому з 2019 року на санітарному полігоні запрацювала дегазаційна біогазова установка. Завдяки дегазації полігону досягнуто зменшення викидів звалищного газу в атмосферу та виникнення пожеж.

Видалення твердих побутових відходів на полігони, розглядається як вимушене, тимчасове рішення проблеми, яке суперечить екологічним і ресурсним вимогам. Основна перевага технології захоронення відходів – простота, порівняно малі капітальні та експлуатаційні витрати, відносна безпека.

Санкціоновані звалища - дозволені місцевими органами влади території (існуючі майданчики) для розміщення промислових і побутових відходів. На відміну від полігонів для твердих побутових відходів санкціоновані звалища, не облаштовані відповідно до вимог санітарних норм і правил і використовуються з відхиленнями від вимог санітарно-епідеміологічного нагляду. Звалище – це місце зберігання відходів на невизначений термін у підготовлених місцях на поверхні землі з неконтрольованою формою захоронення. По суті, відходи просто переносяться з місця, де вони утворюються, в інше, малопридатне для захоронення місце. Звалище являє собою об'єкт розміщення відходів, на якому не здійснюються необхідні природоохоронні заходи і не вирішуються проблеми відвернення їх негативного впливу на навколишнє середовище.

Наразі в кожній області України прийнято регіональні програми (стратегії) поводження з твердими побутовими відходами, за якими планується закриття усіх звалищ і облаштування полігонів. У 2023 році на території Кіровоградській області утворилося юється понад 517 тис т твердих побутових відходів. Станом на 1 жовтня 2020 року на території Кіровоградщини діяло 402 сміттєзвалища. Загальна площа звалищ на території області складає 526,49 га.

Відповідно до Закону України «Про управління відходами» полігони поділяються на такі класи:

- 1) полігони для небезпечних відходів;

- 2) полігони для відходів, що не є небезпечними;
- 3) полігони для інертних відходів.

Правила технічної експлуатації полігонів, припинення експлуатації, рекультивації та догляду за полігонами після припинення їх експлуатації затверджуються центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони навколишнього природного середовища.

Місця для розміщення полігонів ретельно відбираються на основі досліджень, проведених інженерами та гідрогеологами. Враховується глибина природного глинистого шару, глибина залягання корінних порід, рівень ґрунтових вод, тощо. Відповідно до ДБН В.2.4-2-2005 Полігони твердих побутових відходів для розміщення полігонів вибирають:

- 1) землі несільськогосподарського призначення, непридатні для сільського господарства, погіршеної якості; землі, не зайняті лісами та іншими зеленими насадженнями, за межами територій водоохоронних зон, прибережних захисних смуг, територій та об'єктів природнозаповідного фонду, їх охоронних зон, тощо;

- 2) на ділянках, прилеглих до міських територій, якщо вони не включені в житлову забудову відповідно до генерального плану розвитку міста на найближчі 25 років, а також під перспективну забудову;

- 3) на ділянках, що характеризуються природною захищеністю підземних вод від забруднення;

- 4) за межами зон можливого впливу на водозабори, поверхневі води, заповідники, курорти тощо;

- 5) з урахуванням рози вітрів відносно житлової забудови, зон відпочинку й інших місць масового перебування населення за межами санітарно-захисної зони;

- 6) за межами міст;

- 7) на відстані, не менше:

- 15 км від аеропортів;
- 3 км від межі курортного міста, відкритих водоймищ господарського призначення, об'єктів, які використовуються з культурно-оздоровчою метою, заповідників, місць відпочинку перелітних птахів, морського узбережжя;
- 1 км від межі міст;
- 0,5 км від житлової та громадської забудови (санітарно-захисна зона);
- 0,2 км від сільськогосподарських угідь і від автомобільних та залізничних шляхів загальної мережі.
- 0,050 км від межі лісу і лісопосадок, не призначених для використання з метою рекреації.

Ґрунтові води на ділянці розміщення полігонів повинні знаходитися на глибині не менше 2 м від його основи. Захист ґрунту, підземних і поверхневих вод повинен бути досягнутий комбінацією геологічного бар'єра і екрана основи полігона.

Проектна місткість полігона твердих побутових відходів розраховується для обґрунтування розмірів ділянки складування твердих побутових відходів. Розмір земельної ділянки, що відводиться під складування твердих побутових відходів, визначається залежно від:

- планового строку експлуатації полігона твердих побутових відходів;
- чисельності населення району, що обслуговується, з урахуванням перспективи його зростання;
- норми накопичення твердих побутових відходів та їх щільності;
- обсягу всіх інших відходів, що складуються з твердими побутовими відходами (вуличне та будівельне сміття, деякі промислові відходи, які дозволено складувати разом з твердими побутовими відходами, тощо);
- геометричної форми ділянки та допустимої висоти складування відходів;
- методу, який приймається для ущільнення відходів при складуванні;
- напрямку подальшого використання земельної ділянки після закриття та рекультивації полігона твердих побутових відходів.

Витрати на будівництво сучасного полігону є досить високими. Фінансування проекту такого розміру вимагає можливості спрогнозувати кількість сміття, яке буде передано на захоронення. Планування розмірів полігону для певної громади зазвичай передбачає достатній простір для захоронення відходів впродовж 30 років. Нові нормативні акти щодо належної видалення відходів та використання інноваційних систем мінімізації потенціалу забруднення підземних вод внаслідок проникнення та міграції фільтрату призвели до суттєвого збільшення витрат на рекультивацію полігонів. Також продовжує зростати громадська протидія розміщенню сміттєзвалищ, що викликано небажаними побічними ефектами неконтрольованих переносників хвороб, забруднених підземних вод, неприємних запахів та зменшення ринкової вартості житлового сектору, який розташовується поблизу звалищ.

Існують варіанти розміщення полігонів за котлованною та висотною схемою. Основними елементами полігона твердих побутових відходів є: під'їзна дорога, ділянка складування відходів, господарська зона, інженерні споруди і комунікації.

Під'їзна дорога з'єднує автомобільну дорогу загального користування з ділянкою складування відходів. Під'їзну дорогу розраховують на двосторонній рух сміттєвозів. У вологу погоду дорогу очищають від бруду, а в суху не

допускають утворення пилу. Обов'язкова умова - наявність контрольно - пропускнуго пункту з автомобільними вагами для зважування відходів, що надходять на полігон, а також вишок і спеціальних приладів для радіометричного контролю.

Основною спорудою полігону твердих побутових відходів є ділянка складування. Вона займає до 85-95 % загальної площі полігона. Ґрунт, що виймається з котловану під час будівництва, зберігають у відвалах для використання при проведенні проміжної та остаточної ізоляції шарів відходів.

Полігони розміщують на ділянках, де основою є глини, важкі суглинки, інші водотривкі породи. Захист від забруднення ґрунтів і ґрунтових вод здійснюється шляхом створення спеціального протифільтраційного екрану з плівки з поліетилену високої щільності товщиною до 2 мм, яку укладають по всьому дну і по бортам полігону. Шви полімерної плівки утворюють шляхом теплового зварювання. На протифільтраційному екрані розміщують первинний шар ґрунту, щоб запобігти його пробиванню транспортними і ущільнюючими засобами.

Полімерні плівки, які розміщують на дні полігонів, мають тривалий гарантійний термін експлуатації (не менше 50 років) і забезпечують утримання більшої частини фільтрату. Однак, вони не забезпечують ідеального захисту. Жоден полігон не є достатньо герметичною спорудою, щоб попередити забруднення ґрунтових вод фільтратом. Сучасні звалища мають системи збору фільтрату та транспортування його до очисних споруд, де видаляються забруднюючі речовини та утворюється очищена вода. Матеріали, які використовують для улаштування шарів дренажу і дренажних труб, повинні бути хімічно і біологічно стійкими і підбиратися так, щоб хімічно-фізичні властивості фільтрату та механічна дія твердих побутових відходів не приводили б до відмови в роботі системи. Технічно система складається з 3-х шарів дренажу і труб (рис.6). У розрізі вона має наступний вигляд:

- перший нижній шар - глина;
- другий - пісок, де розміщена частина труб, захищених шаром щебеню;
- третій – поліетиленова плівка з полівінілхлориду і пісок із дренажними трубами.

Ділянку складування розбивають на черги експлуатації з урахуванням забезпечення приймання відходів на кожній черзі протягом 3-5 років. У складі першої черги виділяють пусковий комплекс на перші 1-2 роки.

Розбивка ділянки складування на черги виконується з урахуванням рельєфу місцевості та річної кількості твердих побутових відходів, що складуються. Складування відходів на першій, другій і, якщо дозволяє площа ділянки, на третій черзі ведеться на висоту у 2-3 яруси. Кожна наступна черга експлуатації

здійснюється шляхом збільшення рівня насипу твердих побутових відходів до проектної позначки з подальшим складуванням шарами висотою 2,0 - 2,5 м.

Територія полігону, у тому числі ділянка складування і господарська зона, має бути захищеними від затоплення зливовими та талими водами з розташованих вище земельних масивів (ділянок). Для відведення від котловану дощових та паводкових вод по межі ділянок полігону проектується водовідвідні канали. На відстані 1...2 м від водовідвідної каналу виконується огорожа полігону, біля якої на смузі шириною 5 - 8 м передбачається висаджування дерев, прокладання інженерних комунікацій (водопровід, каналізація), встановлення щогл електроосвітлення. По периметру ділянки полігону відсипаються відвали ґрунту для його послідовного використання на ізоляцію поверхні ущільнених шарів твердих побутових відходів.

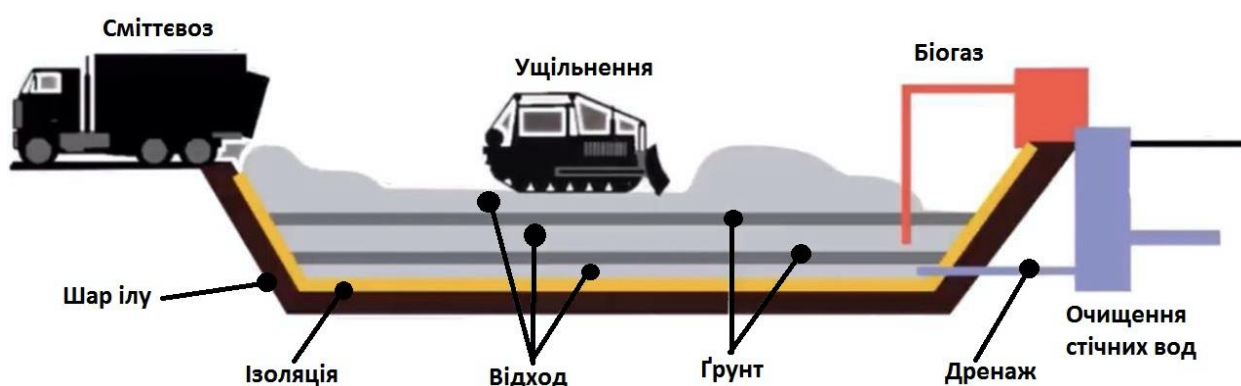


Рисунок 6 - Технологія полігонного складування відходів

На полігонах на глибині понад 1,5 ... 2,5 м накопичується фільтрат - отруйна рідина сіро-чорного кольору, що утворюється при захопленні розчинених або у стані суспензії твердих речовин і продуктів біологічного розкладу поверхневими водами, що потрапляють на територію звалища з атмосферними опадами. Рідини, що мігрують через відходи, розчиняють солі, збирають органічні складові та вимивають важкі метали. Кількість фільтрату, що утворюється у робочому тілі полігону, залежить від кількості річних атмосферних опадів в даному регіоні, їх випаровування та поглинання води робочим тілом полігону. Фільтрат містить хлориди, сульфати, органічні речовини, сполуки важких металів. Фільтрат надзвичайно небезпечний у санітарному відношенні - загальна кількість бактерій у ньому у 2 - 3 рази більша, ніж у стічних водах міської каналізації. Концентрація органічних речовин у фільтраті зі звалищ може перевищувати концентрацію цих речовин у необроблених стічних вод у 20-100 разів, що робить його потенційно потужним забруднювачем ґрунту та ґрунтових вод. У поверхневих водах навколо звалищ фіксується вміст міді у 2 - 12 разів вищий, у порівнянні з фоновим, цинку - у 2 - 14 разів, свинцю - у 4 - 36, вісмуту - у 180 разів, ртуті -

майже у 950 разів. Фільтрат і біогаз, що формуються в анаеробній зоні у товщі відходів, є основними агентами впливу полігонів на навколишнє середовище.

Освоєння території полігону відбувається поетапно. Площа ділянки складування полігона розбивається на робочі карти (зони). Карта має вигляд великого котловану або траншеї, дно якої має ухил в один бік. Як правило, карти роблять шириною до 5 метрів (траншеї близько 12 м), довжиною від 30 до 150 м. Така технологія дає можливість поетапно проводити природоохоронні дії, не чекаючи при цьому завершення терміну використання котловану.

Під розвантаження сміття на полігоні виділять певну карту, яку поступово заповнюють відходами. Сміттєвози вивантажують відходи на край карти. Розвантаження сміттєвозу здійснюється на краю укосу з відступом від неукріпленого краю на відстані не менше 10 метрів. Бульдозери зміщують сміття і укладають його у шари заввишки близько 0,5 м. Складування відходів здійснюється двома способами:

- насувом: коли вал однієї карти зміщується до попереднього. Сміттєвози розвантажуються на шарі відходів, з моменту пресування яких минуло від 3-х місяців;

- зіштовхуванням: або зверху донизу. Розвантаження транспорту здійснюється на ізолюваній поверхні карти, що утворилася за день до цього.

Після заповнення зони розвантаження відходи розрівнюють і ущільнюють: шаром до 0,5 м при ущільненні бульдозерами, шаром до 1,0 м при ущільненні котками-ущільнювачами. З метою досягнення необхідного ступеня ущільнення та створення рівної поверхні бульдозери і котки-ущільнювачі мають здійснювати 3 - 5 проїздів. Заповнення робочої карти триває до моменту, доки ущільнений шар відходів не досягне 2,0 - 2,5 м.

Усі шари (проміжні, остаточні) спресованих відходів укривають інертним ізолюючим шаром (ґрунт, глина, подрібнені будівельні відходи тощо) завтовшки не менше 20 см і повторно ущільнюють. Ущільнення дозволяє більшій кількості відходів бути розміщеними на полігоні, що є важливим фактором економії захоронення відходів. В ущільнених шарах відходів щури та інші переносники хвороб не виживають. У літні місяці, щоб уникнути загоряння, шари твердих побутових відходів за потреби зволожують.

Процедури закопування, ущільнення та накриття уповільнюють на звалищі розкладання як неорганічних, так і органічних відходів. Спостерігалось ряд випадків, коли газети з неушкодженим текстом знаходили на полігоні в шарі відходів після їх захоронення понад 20 років,

На територіях поблизу звалищ повсюдно спостерігаються проблеми зі здоров'ям населення – спостерігається підвищений рівень онкологічних

захворювань та вроджених аномалій у дітей. Встановлено тісну кореляцію між проживанням поблизу місць видалення відходів та вірогідністю захворювання на рак легень, мозку, шлунку і сечового міхура. У країнах з теплим кліматом звалища стають джерелом інфекційних захворювань, переносниками яких є членистоногі, переважно москіти. На сміттєзвалища України часто потрапляють відходи з небезпечними хімічними речовинами, що є неприпустимим з погляду екологічної безпеки. Однак, з урахуванням невисоких експлуатаційних затрат полігони є найбільш розповсюдженим в Україні методом видалення твердих побутових відходів. Полігонне захоронення дозволяє одночасно позбутися великої кількості твердих побутових чи промислових відходів. В той же час негативне ставлення населення і нові стандарти роблять відкриття полігонів із захоронення твердих побутових відходів все більш складною справою.

Недоліками полігонного захоронення є те, що захоронені відходи під шаром ґрунту розкладаються, отруюють його, тим самим на такій ділянці землі в подальшому неможливо проводити сільськогосподарську діяльність та здійснювати будівельні роботи. Для організації полігону потрібно вилучення з господарського обороту великих територій, які на десятиліття вперед стають непридатними для будь-якої іншої господарської діяльності. Крім цього, знижується цінність земель і взагалі майна, розташованого в безпосередній близькості від полігону, що завдає економічну шкоду власникам, в першу чергу жителям прилеглих територій.



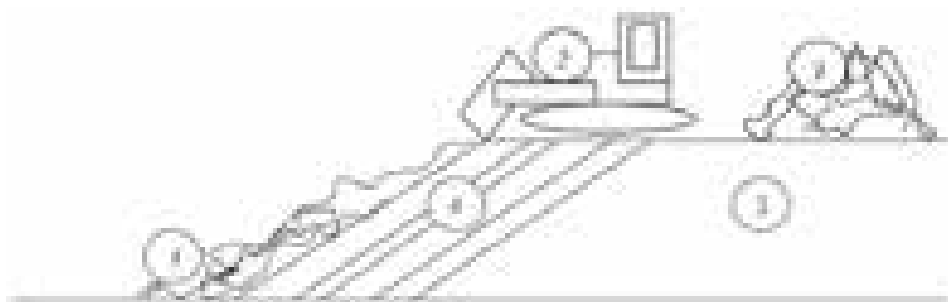
Рисунок 7- Підготовка ділянки сучасного полігону для захоронення відходів



Рисунок 8 - Зварювання швів дренажного полімерного екрану



а)



б)

Рисунок 9 - Укладання відходів на полігоні: а - методом «насування» (від низу до верху); б - методом «зіштовхування» (зверху вниз). 1 - майданчик розвантаження сміттєвозів; 2 - напрямок роботи бульдозерів; 3 - робоча карта; 4, 5 - закриті карти полігона

Коли закінчується запланований термін експлуатації полігону, вживають заходів щодо відновлення продуктивності земель, переданих під складування сміття, а також щодо оздоровлення довкілля. Щоб запобігти нанесенню шкоди навколишньому середовищу, після того, як весь простір полігону буде заповнено відходами, система захоронення після закриття повинна

підтримуватися і контролюватись впродовж 30 років згідно з встановленими вимогами. Такі заходи називають - рекультивація закритих полігонів.



Рисунок 10 - Ущільнення на полігоні шарів твердих побутових відходів

Таблиця 6

Час біодеградації відходів

Матеріал	Час біодеградації
Паперовий рушник, газета, яблуко	1 місяць
Картонний ящик	2 місяці
Шкірка апельсина	6 місяців
Бавовняна тканина Біорозкладаний підгузник Молочні коробки з пластиковим покриттям	1 рік
поліетиленові пакети	10 років
Шкіряне взуття Нейлонова тканина	20 років
Консервна банка Чашка з пінополістиролу	50 років
Скляні пляшки та банки	1 млн. років

По мірі розкладання відходів відбувається просідання та утворення провалів на поверхні звалища. Рекультивація включає підсіпання та ущільнення звалищного ґрунту та надання йому стійкого стану. Рекультивація

закритих для експлуатації ділянок захоронення відходів передбачає виконання наступних будівельних робіт:

1.Формування профілю насипного пагорба з похилими (максимальне закладення укосів 1:3) або терасованими схилами (за висоти насипу понад 12 м).

2.Влаштування шарів фінального перекриття насипу відходів, зокрема (знизу вгору):

- вирівнювального і газо-дренажного шару (доцільне використання піщано-гравійних сумішей і відсіву від переробки будівельних відходів);
- протифільтраційного глиняного або штучного екрану, але з урахуванням можливих осідань насипу відходів, які можуть призвести до пошкодження штучних плівкових покриттів;
- дренажного піщаного шару;
- ґрунтово-рослинного шару.

3) Будівництво мережі пасивних газо-дренажних свердловин.

4)Будівництво дренажного колектора вздовж підніжжя насипного пагорба для відведення поверхневих вод, що стікають зі схилів перекритого насипу відходів.

До технічного етапу рекультивації полігону твердих побутових відходів належать наступні заходи:

- стабілізація тіла полігона (завезення ґрунту для засипання провалів і тріщин, його планування і створення укосів із необхідним кутом нахилу тощо);
- спорудження системи дегазації для збору звалищного газу;
- створення системи збору та видалення фільтрату і поверхневого стоку.

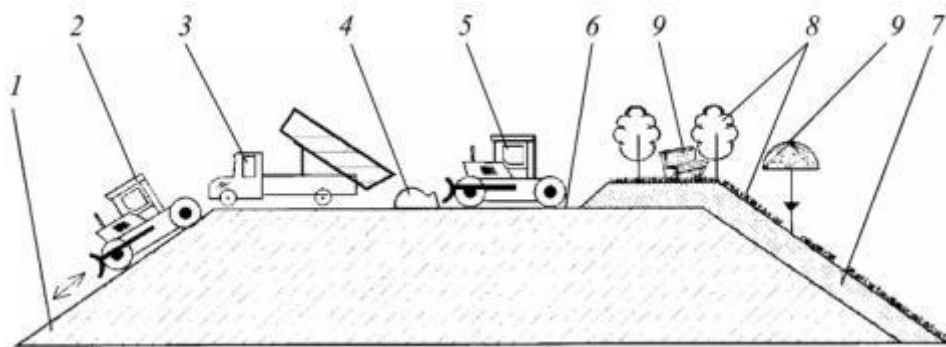


Рисунок 11 - Технологічна схема рекультивації закритих сміттєзвалищ без переробки звалищного ґрунту: 1 - укіс звалища, що висихає; 2, 5 - бульдозер; 3 - автотранспорт; 4 - насипний ґрунт; 6 - закрите сміттєзвалище; 7 - рекультиваційний шар закритого сміттєзвалища; 8 - біологічний етап рекультивації; 9 - рекреаційний, сільськогосподарський, лісгосподарський напрями рекультивації

Перед закриттям полігону останній шар відходів покривають захисно-вирівнювальним шаром ґрунту завтовшки не менше 600 мм. Поверх ґрунту як захисно-підстильний шар укладається геотекстильний матеріал. Далі розміщують гідроізоляційна геомембрана. Шви полотен полімерної геомембрани з'єднуються методом зварювання. Для забезпечення збереження геомембрани в процесі монтажу і підготовки основи під дренажний шар роблять піщану відсіпку товщиною не менше 200 мм. Поверх піщаного шару укладають дренажний геокомпозит, що забезпечує високу водопропускну здатність і ефективне відведення атмосферних опадів до водовідвідних траншей. Останнім влаштовується рекультиваційний шар родючого ґрунту. Його зміцнюють і використовують для посадки газонних трав, дерев і чагарників. Тривалість біологічного циклу рекультивації складає 4 роки. На відроджених ділянках влаштовують парки, зони відпочинку, спортивні майданчики, автостоянки, легкі споруди відкритого типу. Із 2013 р. на полігоні ТОВ «ІнЕкоТех України» проводиться вдалий експеримент із вирощування на поверхні заповненої частини полігона енергетичних рослин, коренева система яких активно адсорбує забруднюючі речовини, не пропускаючи їх у наземну частину. Наземна частина утворює за сезон 12...25 т біопалива з 1 га площі. Крім того, опале листя після перегнивання формує за 3–5 років шар родючого ґрунту.



Рисунок 12 - Руйнування бокових укосів полігону, який було рекультивовано з порушенням технології

Часто під час експлуатації полігонів не дотримуються заданих нормативних кутів укосів бортів полігона, що призводить до наступних негативних наслідків:

- на крутих укосах ускладнено проводити роботи з будівництва протифільтраційного фінального перекриття і, як наслідок, виконати рекультиваційні заходи (зокрема біологічний етап), оскільки на укосах із закладенням крутіше 1:3 не може працювати будівельна техніка;

- на крутих укосах полігонів можуть формуватися негативні інженерно-геологічні зсувні і обвальні процеси, а також утворення розмивів бортів дощовими потоками.

Останнім часом знаходить поширення нова концепція будівництва полігонів – напівааеробний полігон (метод Фукуока), при експлуатації якого зменшуються викиди метану в атмосферу. Така технологія обробки відходів, що знаходиться посередині між сміттєзвалищем і санітарним полігоном, пропонує доступний варіант модернізації існуючих сміттєзвалищ, таким чином «оновлюючи» їх (ЮНЕП 2019b; Програма ООН з населених пунктів). Для створення аеробного середовища проводиться встановлення додаткових перфорованих труб перед засипанням відходів. По цим трубам під шар засипаних у звалище відходів подається під тиском атмосферне повітря, що сприяє прискореному аеробному розкладанню органічної складової з утворенням вуглекислого газу. Це дозволяє прискорено стабілізувати відходи, запобігає анаеробному утворенню метану, що робить дану технологію безпечною щодо виникнення пожеж. Перетворення полігону на напівааеробний режим роботи дозволяє зменшити викиди звалищного газу на 40 %. Присутнє в аеробному середовищі закачане повітря, перетворює вуглець з органічних речовин на вуглекислий газ, нітрифікує азот, а сірку переводить в іонний стан, що зменшує утворення неприємного запаху та горючого звалищного газу. Аеробне середовище підвищує активність мікроорганізмів, які розкладають відходи, прискорюючи процес стабілізації. Технологія напівааеробних звалищ є ефективною для запобігання глобальному потеплінню, оскільки вплив метану на потепління значно перевищує вплив вуглекислого газу CO₂. В нижній частині звалища розміщується труби системи збору та видалення фільтрату. Зібраний фільтрат використовують для поверхневого зрошування шару відходів, що також забезпечує їх прискорене розкладання.

До особливостей напівааеробного полігону відноситься:

- утворення менш токсичного фільтрату та менше забруднення підземних вод фільтратом, у порівнянні з анаеробним санітарним полігоном;
- знижений рівень викидів парникових газів;
- полігон стабілізується швидше, ніж анаеробний тип – впродовж 1 року.

Захоронення залишається найдешевшим з усіх видів поводження з твердими побутовими відходами, що знижує стимули для суб'єктів господарювання і місцевих органів влади для відновлювального перероблення або спалювання відходів. Експлуатація сміттєспалювальних заводів у порівнянні з санітарними полігонами потребує значно більших капітальних і експлуатаційних витрат. Будівництво таких заводів вимагає значних інвестицій. Основна частина витрат іде на фільтри, які очищують

продукти згорання і роблять їх безпечними для довкілля. Накопичений досвід свідчить, що сумарні витрати на боротьбу з наслідками згубного впливу захоронень відходів на навколишнє середовище у багато разів перевищують витрати на будівництво сучасних заводів з переробки побутових відходів. До повних витрат на організацію полігонного розміщення відходів входять витрати на відчуження землі, будівництво полігону, втрати землі через неможливість альтернативного використання, зниження вартості прилеглих територій і нерухомості. Витрати на утримання полігону не закінчуються в момент, коли складування відходів завершено. Створення та утримання полігону передбачає рекультивацію земель після закриття та інші природоохоронні заходи. Водозбірні і водовідвідні системи виведеного з експлуатації полігону відходів повинні тривалий час підтримуватися у робочому стані.

З урахуванням наведених факторів використання звалищ виявляється далеко не найпростішим і найдешевшим способом позбуватися від відходів. Наприклад, у Німеччині вартість захоронення відходів приблизно дорівнює вартості їх спалювання і складають 110...130 євро/т. У Німеччині з 2005 року, а у Швейцарії та Австрії з 2008 року закриті всі сміттєзвалища для захоронення відходів.

Європейська Директива 2018/850 визначає наступні цілі:

- до 2035 року кількість побутових відходів, що відправляються для захоронення на полігони, має бути зменшена до 10 % (за вагою);

- до 2030 року відходи, придатні для вторинної переробки або використання інших матеріалів або енергії, не повинні підлягати захороненню на полігонах.

Мету зменшення кількості і потенціалу полігонів в Європі має досягатись за рахунок зменшення утворення відходів і збільшення обсягів повторного використання, перероблення і компостування. У європейських країнах захороненню підлягає менше 5% твердих побутових відходів, 35% – переробляється; 15% йде на компостування та отримання біогазу, а залишки твердих побутових відходів в обсязі до 50% поступає на спалювання. Проблема доцільності застосування перероблення відходів регулюється рівнем податків. Так, ставка податку на захоронення твердих побутових відходів в Україні становить 0,15 євро/тону, тоді як у Нідерландах – 107 євро/т, Бельгії – 82 євро/т, Фінляндії – 70 євро/т, Данії – 65 євро/т, Великобританії – 64 євро/т, Швеції – 49 євро/т, Польщі – 27 євро/т, Австрії – 26 євро/т, Франції – 20 євро/т.

У разі крайньої необхідності захоронення промислових відходів доцільно здійснювати підземним способом в гірничих виробках законсервованих шахт, спеціальних підземних спорудах і природних пустотах в скельних гірських

породах у разі відсутності припливу до них підземних і поверхневих вод. Виведені з експлуатації шахти мають мільйони кубометрів вільних підземних виробок техногенного походження. Розміщення твердих промислових відходів у підземних виробках дає подвійний ефект. По-перше, це дозволяє повернути в господарський оборот десятки тисяч гектарів землі і поліпшити екологічну обстановку промислових регіонів, по-друге, пом'якшити наслідки, пов'язані з руйнуванням виробок закритих шахт.

Значний досвід використання виробок для захоронення твердих промислових відходів накопичено в Німеччині. У 1991 р у федеральній землі Північний Рейн-Вестфалія у підземних виробках шахт було розміщено 10,2 млн т відходів, з яких 683,5 тис т - відходи гірничої промисловості. Досвід закладки відходів на шахтах концерну «Рурколе АГ» показує, що найбільш оптимальною є гідравлічне транспортування пульпи через існуючі виробки, або через спеціально пробурені з поверхні свердловини.

Країни, що мають вихід до моря, проводять цілеспрямоване скидання для захоронення у морях відходів (дампінг), а також знищення і затоплення суден, платформ тощо. Обсяг світових відходів, які скидають у морські глибини, досягає 10% від загальної кількості утворюємих відходів. Морське середовище використовується для захоронення ґрунтів, які видобуті при заглибленні акваторій портів і судноплавних каналів, осадів стічних вод, промислових відходів, будівельних і побутових відходів, низькоактивних радіоактивних відходів. Як правило, скидання ґрунту здійснюється поблизу берегів на невеликих глибинах (10...100 м), і, лише захоронення радіоактивних відходів, виконують в океанічних донних осадах на глибині понад 4000 м. Скидання відходів у прибережні води викликає збільшення мутності води, вивільнення у морську воду біогенних речовин, металів, нафтопродуктів та інших сполук, які містяться у затоплених відходах. Осівши на дні морів, відходи залишаються джерелом надходження у придонні шари води забруднюючих речовин, які шкідливо діють на донні організми. В подальшому забруднюючі речовини накопичуються в тканинах живих організмів, приводячи їх до деградації і загибелі, а також по харчовому ланцюгу попадають в організм людини. Значна частина скинутих у море твердих відходів з часом виноситься морськими течіями на берег.

В Японії існує практика використання відходів для вирішення територіальних проблем. Зокрема, з відходів створили насипний штучний острів з відходів площею в 436 гектарів під назвою Порт Айленд. На острові розташовано кілька готелів, парків, спортивно-розважальних зон - це штучно утворене місце чудово підходить для життя й відпочинку.

Основними проблемами у сфері поводження з твердими побутовими відходами в Україні є орієнтація на захоронення відходів на звалищах і полігонах, більшість з яких не відповідає вимогам екологічної безпеки; низький рівень утилізації відходів та впровадження інноваційних технологій; неефективність існуючих економічних інструментів у сфері поводження з відходами. В реаліях України полігонний метод захоронення відходів за затратами на створення та експлуатацію є більш ніж на 65% дешевшим у порівнянні з іншими способами поводження з відходами. Як наслідок, рівень переробки твердих побутових відходів в Україні критично низький. У 2017 році було перероблено та видалено лише 6,6% побутових відходів, з них 2,48% спалено, а 4,18% побутових відходів потрапило на заготівельні пункти вторсировини і сміттєпереробні заводи. Решту (близько 93,4%) було захоронено на полігонах та сміттєзвалищах, яких станом на 2017 рік в Україні налічувалось 5500 од. (8,5 тис га землі), з них 309 од. (5,7%) – перевантажені, а 1347 од. (25%) – не відповідали нормам екологічної безпеки. У захоронених невідсортованих відходах містяться харчові відходи, органічні залишки, макулатура, деревина, різноманітні метали, шкіра, гума, текстиль, скло, різні види пластмаси, побутові прилади, будівельні відходи, тощо. Ряд не відібраних складових відходів несуть особливу небезпеку: ртутні градусники, батарейки, лампи, медичні відходи, токсичні речовини, що містяться у фарбах, лаках, розчинниках, аерозолях, акумуляторах.

Вибухи та пожежі на старих звалищах і переповнених полігонах часто є наслідком накопичення метану у внутрішніх шарах полігону. Трагедія 30 травня 2016 року на Грибовицькому сміттєзвалищі біля міста Львів показала, до яких наслідків може призвести нехтування цивілізованими способами поводження з відходами. Під час гасіння пожежі, що виникла на цьому полігоні, частина сміттєзвалища обвалилася. Тоді загинули четверо осіб. Захоронення відходів на полігоні понад дозволені ліміти, відсутність перешарування інертним матеріалом, відсутність відбору біогазу, який утворювався внаслідок анаеробного розкладання, призвели до загоряння відходів.

. Основними напрямками вдосконалення та розвитку сфери поводження з твердими побутовими відходами в Україні є:

1. Удосконалення економічного механізму управління твердих побутових відходів. Реалізація даного напрямку передбачає впровадження принципу «забруднювач – сплачує», а також удосконалення діючої системи тарифів та екологічних податків. Реалізація зазначеного принципу передбачає впровадження розширеної відповідальності виробника.

Розміри тарифів на здійснення різних операцій поводження з твердими побутовими відходами мають покривати витрати (поточні та капітальні), мотивувати споживачів і виробників до скорочення обсягів утворення відходів та запровадження маловідходних технологій. Розмір екологічного податку за розміщення відходів на звалищах і полігонах повинен стимулювати переробку твердих побутових відходів замість їх захоронення. Цей податок має спрямовуватися на проведення модернізації діючих полігонів із метою підвищення рівня їх санітарно-екологічної безпеки.

2. Небезпечні відходи повинні видалятися із потоку твердих побутових відходів, які передаються на захоронення. Поводження з небезпечними відходами, включаючи їх транспортування і зберігання, здійснюється організаціями, що мають державну ліцензію на діяльність такого типу, робота яких оплачується виробником небезпечних відходів або державою. Для збирання небезпечних відходів необхідне розроблення спеціальних заходів, таких як організація постійно діючих пунктів зі збирання або проведення спеціальних днів збирання відходів.

Успішне впровадження будь-яких заходів у сфері поводження з твердими побутовими відходами потребує наявності повної, актуальної та достовірної інформації у органів влади, операторів та інвесторів. Надзвичайно важливим є інформування населення щодо екологічно безпечного поводження з твердими побутовими відходами із метою виховання ощадливого ставлення до ресурсів, підвищення обізнаності щодо впливу відходів на довкілля та здоров'я людини, формування нової моделі споживчої поведінки.

1.6.2. Переробка відходів в енергію

Термін "переробка відходів в енергію" означає сімейство технологій з відновлення відходів з метою отримання енергії у вигляді тепла, електрики або альтернативних видів палива, таких як біогаз. Поширення мають два типи процесів перетворення відходів органічного походження в енергію - біологічний та термічний.

До біологічних систем оброблення відходів відносяться біореактори та інші анаеробні регенеруючі установки, які використовуються для виробництва біогазу з підвищеним вмістом метану. Біогаз утворюється після того, як органічні матеріали розщеплюються бактеріями в безкисневому середовищі, цей процес називається анаеробним зброджуванням. Сировиною для виробництва біогазу можуть бути харчові відходи, відходи агропромислового виробництва, осади стічних вод на очисних спорудах тощо.

Основними видами термічної переробки відходів є спалювання, піроліз та плазмова газифікація. Піроліз, газифікація та спалювання є високотемпературними процесами, які використовуються для обробки відходів з високим вмістом органічних речовин. Горючі матеріали відходів згоряють, коли досягають необхідної температури займання та вступають контакт з киснем, піддаючись реакції окислення. Температура реакції окислення знаходиться в межах від 850 до 1450°C, а процес згоряння відбувається в газовій та твердій фазах з виділенням теплової енергії. Мінімальна теплотворна здатність відходів необхідна для забезпечення термічної ланцюгової реакції і горіння, що самостійно підтримується («автотермічного горіння»), тобто не потребує додавання інших видів палива. Ефективність установок одночасного вироблення теплової енергії (опалення та охолодження) може досягати 80%, тоді як максимальна ефективність вироблення електроенергії становить близько 20%.

Близько 25% від кількості твердих побутових відходів, що подаються на колосникову решітку печі, в підсумку утворюють шлаковий залишок після процесу спалювання, який збирається в бункерах під піччю. Інертні мінеральні речовини (кам'янисті матеріали, металеві включення тощо) в потоці твердих побутових відходів, є не горючими, і будуть просипатися крізь щілини колосникової решітки печі, і в кінці процесу спалювання утворюють шлак.

До 5 % від кількості твердих побутових відходів, що подаються до сміттєспалювальних печей після процесу спалювання перетворюється в летючу золу. Димові гази, а також частинки пилу, які не уловлюються фільтрами викидаються в атмосферу. Летюча зола - це дрібні частинки пилу в димових газах, які уловлюються електрофільтрами після того, як димові гази залишають котельну установку.

Крім того, у сміттєспалювальних установках утворюється велика кількість стічних вод від мокрих фільтруючих пристроїв для очистки димових газів, а також від охолоджуючої обробки золи-винесення,.

Термічна переробка передбачає перетворення відходів у газоподібні, рідкі та тверді продукти з одночасним або наступним виділенням теплової енергії. Термічна переробка твердих побутових відходів дозволяє реалізовувати наступні цілі: зменшення об'єму відходів та забезпечити відновлення енергії. Крім спалювання, існує ще кілька видів технології переробки відходів в енергію без спалювання, які зазвичай розрізняються за вимогами до присутності кисню. Газифікація, плазмова газифікація та піроліз і відносяться до конверсійних технологій. Вони передбачають перегрівання вихідної сировини (твердих побутових відходів чи сільськогосподарських відходів) у середовищі з контрольованим вмістом кисню. Основні відмінності між ними стосуються

джерела тепла, рівня кисню та температури, починаючи від 300°C для піролізу до 11 000°C для плазмової газифікації. У середовищах зі зниженим вмістом кисню утворення токсичних речовин (діоксинів і фуранів) із відходів може бути значно зменшено порівняно зі спалюванням. Утворений в процесі теплових реакцій синтез-газ придатний для спалювання в котельній системі для виробництва електроенергії.

1. Піроліз: термічна обробка відходів у безкисневій атмосфері. При піролізі проводиться нагрівання органічних відходів без доступу кисню. В процесі деструкції при нагріванні спочатку утворюється горюча рідина (піролізне масло), а потім горючий газ. Піролізне масло можна використовувати для спалювання або у якості сировини для реполімеризації. Піролізна переробка дає можливість екологічно безпечно і технічно просто переробляти органічні відходи без їх попередньої підготовки (сортування, сушіння). Метод є потенційно ефективним, але на практиці піролізні установки застосовують головним чином для переробки однорідних промислових відходів (наприклад, автомобільних шин), а для відновлення відділених при сортуванні органічних складових побутових відходів таку технологію використовують ще досить рідко.

2. Гідрогенізація: піроліз, який проводиться у середовищі з високим вмістом водню або монооксиду вуглецю.

3. Газифікація: часткове згоряння, при якому паливо спалюється з контрольованою обмеженою подачею повітря. Органічні сполуки перетворюються при температурах 700–1000°C на синтетичний газ, який складається з чадного газу, водню та вуглекислого газу. Синтетичний газ можна використовувати як паливо або як хімічну сировину.

4. Плазмова газифікація: проводиться при високотемпературній обробці для перетворення органічних речовин та осаду стічних вод в синтетичний газ і переплавлення неорганічного залишку в шлак. Джерелом тепла є плазмовий пальник. Установки плазмової газифікації забезпечують нейтралізацію токсичних відходів при температурах, що перевищують 5500°C. Плазмові установки дозволяють переробляти різноманітні токсичні відходи при їх мінімальній попередній підготовці і утворенні малотоксичних продуктів деструкції. Кінцеві органічні продукти процесу плазмової газифікації можуть використовуватися у якості горючих рідин. Неорганічні речовини зі складу відходів виводяться у вигляді інертного шлаку, який після охолодження перетворюється у безпечний нерозчинний у воді склоподібний матеріал, який можна застосовувати, наприклад, у якості наповнювача будівельних матеріалів. Технологія плазмової газифікації є малопоширеною технологією, більш складною та менш енергетично ефективною у порівнянні зі

спалюванням. В даний час декілька установок в Японії та США працюють як інтегрований елемент складнішої системи виключно для переробки окремих потоків відходів.

В процесі розробки та вдосконалення систем переробки відходів в енергію має враховуватися ієрархія відходів: першочергову увагу слід приділяти скороченню відходів шляхом запобігання їх утворення з подальшим переходом до повторного використання та вторинної переробки. Переробка відходів в енергію відноситься до категорії додаткових технологій отримання енергії з фракцій твердих побутових відходів, які не підлягають вторинній переробці, і тому не конкурують з заходами щодо скорочення відходів, повторного використання та рециклінгу матеріалів. Повторне використання та переробка відходів, навпаки, приносить користь всій економіці, створюючи принаймні в десять разів більше робочих місць, ніж сміттєспалювальні заводи. Основна мета термічної переробки твердих побутових відходів полягає в тому, щоб зменшити їх обсяг і масу, а також зробити відходи хімічно інертними. Головною метою спалювання відходів має бути охорона навколишнього середовища. Термічна переробка дозволяє максимально знешкодити тверді побутові відходи, зменшити в 4...10 разів обсяг складованого на полігоні матеріалу та використати енергетичний потенціал органічних відходів. В якості супутнього ефекту спалювання твердих побутових відходів досягається отримання енергії, а також незгорілих залишків мінералів і металів. При спалюванні хімічна енергія органічних компонентів перетворюється у теплову енергію, яка може бути спрямована споживачам у вигляді теплової або електричної енергії. Людство прийшло до розуміння, що побутові відходи не можуть розглядатися як альтернативне джерело енергії та не повинні спалюватись без попереднього сортування.

Спалювання твердих побутових відходів є контрольованим процесом видалення відходів на спеціально побудованому для цієї мети об'єкті. Технології переробки відходів в енергію мають відповідати високим стандартам чистоти викидів продуктів згорання. Тверді побутові відходи одночасно зі складовими органічного походження містять невелику частку негорючих мінералів. Одержувані при спалюванні залишки у вигляді шлаку та летючої золи становлять близько 25% від початкової кількості відходів. Шлак складається з дрібних частинок, що в процесі горіння опадають на дно сміттєспалювального пристрою, тоді як летюча зола складається з дрібних частинок, що містяться в газоподібних продуктах згорання, що відходять і підлягають видаленню шляхом очищення димових газів.

Установки по переробці відходів в енергію є за конструкцією технічно складними засобами генерації електричної та теплової енергії, що

потребують кваліфікованого штату та регулярного технічного обслуговування. Як правило, капітальні та експлуатаційні витрати установок переробки відходів в енергію високі і не можуть повністю фінансуватися тільки за рахунок продажу енергії за ринковими цінами. Відтак доходи від продажу енергії не покривають витрати на проведення переробки твердих побутових відходів в енергію.

Планування заходів по переробці відходів в енергію вимагає збору та аналізу даних про кількість і характеристики відходів, а також враховувати очікуємі в перспективі демографічні та соціальні зміни на території громад. Спалювання твердих побутових відходів вимагає пошуку можливих шляхів в організації транспортування і переробки відходів в енергію на основі міжмуніципального співробітництва з метою об'єднання фінансових ресурсів та досягнення відчутного економічного ефекту.

У Європі термін «відходи в енергію» відображає різні види технологій обробки відходів для отримання енергії у формі теплової, електричної чи альтернативного палива. Ряд складових побутових відходів є цінною сировиною для переробної галузі, яку можливо ефективно утилізувати (папір, картон, пластик). Спалювання цих цінних матеріалів з метою вироблення тепла та електроенергії стримує зусилля щодо збереження ресурсів. В ЄС отримання енергії від спалювання твердих побутових відходів вважається варіантом з найменшим рівнем підтримки. Отримання енергії з твердих побутових відходів Європейським Союзом згідно Директиви 2009/28/ЄС не підлягає стимулюванню (заохоченню) державою у вигляді «зелених» тарифів. Однак, останніми десятиліттями у світовому масштабі частка твердих побутових відходів, які спалюють з утилізацією теплоти, неухильно зростає.

Сміттєспалювання негативно впливає на зміну клімату. Під час спалювання відходів виділяється 1,355 кг вуглекислого газу на 1 мегаВт·год виробленої електроенергії. Для порівняння, на вугільних ТЕЦ утворюється 1,020 кг CO₂ на 1 МВт·год. Крім того тверді побутові відходи містять небезпечні компоненти (батареї, ртутьвмісні речовини), які необхідно безпечно утилізувати за спеціальною технологією. При спалюванні без попереднього сортування твердих побутових відходів утворюється велика кількість токсичних речовин, а також утворюються дисперсні випари, до складу яких входить ряд токсичних металів (ртуть, свинець, хром, кадмій тощо).

У статті 20 Закону України «Про охорону атмосферного повітря» зазначено, що не допускається спалювання промислових та побутових відходів, які є джерелами забруднення атмосферного повітря забруднюючими речовинами та речовинами з неприємним запахом або іншого шкідливого впливу на території населених пунктів, за винятком випадків, коли це здійснюється з

використанням спеціальних установок при додержанні вимог, встановлених законодавством про охорону атмосферного повітря.

Таблиця 7

Порівняння технологій переробки відходів в енергію

Тип технології	Спалювання з рекуперацією енергії	Газифікація	Піроліз
Опис технології	Пряме спалювання відходів в інтервалі 750 - 1100°C у присутності кисню	Часткове окислення відходів від 800 до 1200°C у присутності контрольованої кількості кисню	Термічна деградація відходів між 300 і 1300°C за відсутності кисню
Вхідні матеріали	Змішані тверді побутові відходи або паливо зі сміття	Підходить лише для відносно однорідних потоків відходів, таких як відходи деревини, сільськогосподарські відходи, осад стічних вод і пластикові відходи	Підходить лише для відносно однорідних потоків відходів, таких як відходи деревини, сільськогосподарські відходи, осад стічних вод і пластикові відходи
Зменшення об'єму	75–90%	75–90%	50–90%
Вимоги до контролю забруднення навколишнього середовища	Високі	Середні	Середні
Вартість за тону (у доларах США)	95–190 Для централізованих об'єктів середнього масштабу.	95–190 Для централізованих об'єктів середнього масштабу.	95–190 Для централізованих об'єктів середнього масштабу.
Масштаб переробного підприємства	Доступні від малих до великих масштабів	Більш доцільним є великий централізований завод.	Доступні від малих до великих масштабів.
Обсяг використання	Широко застосовується в Європі, Японії та США. Збільшення застосування в країнах, що розвиваються	Не має широкого застосування	Не має широкого поширення
Загальне застосування	Підходить для змішаних твердих побутових відходів	Потенціал технології газифікації деревини.	Відновлення автомобільних шин

1.6.3. Відновлення матеріалів з відходів

Ресурси багатьох матеріалів на Землі обмежені та не можуть бути відновлені у терміни, порівнянні з часом існування людської цивілізації. Проведення промислового відновлення відходів є перспективним шляхом подолання негативного впливу відходів на навколишнє середовище. Відновлення передбачає повторне використання вторинних матеріалів в новій якості, яка отримується в результаті спеціальної обробки. Ефективною операцією з відновлення є рециклінг, у результаті якої відходи переробляються у продукцію, матеріали або речовини для їх використання за первинною або іншою метою.

Вже в кінці XIX ст. в епоху ранньої індустріалізації, коли стало набирати оберти надвиробництво легкодоступних товарів, жителям мегаполісів накопичення відходів стало створювати значні незручності. Висока вартість ресурсів спонукала підприємців переходити до відновлення практично всієї придатної для переробки вторинної сировини. Відходи та вироби, що закінчили свій життєвий цикл, часто були дешевшим джерелом багатьох речовин і матеріалів, ніж отримані з природних джерел. Первинною ланкою управління відходами на ті часи став інститут лахмітників. За невелику плату вони збирали у населення папір, скло, бляшану і дерев'яну тару, ганчір'я, залишаючи прибиральникам для видалення лише непотріб.

В циркулярній економіці рециклінг матеріалів і відходів розглядається як основа промисловості майбутнього. Незважаючи на те, що повне суспільне розуміння ролі рециклінгу, а також його господарське застосування вимагають часу і грошей, це є невідворотною тенденцією розвитку цивілізації. Доцільність відновлення матеріалів з відходів підтверджується результатами оцінки частки енергоспоживання при виробництві 1 т вторинного матеріалу до рівня енергоспоживання на виробництво первинного матеріалу. Цей показник для алюмінію складає 5%, для полімерних матеріалів -10%, для міді – 15%, для свинцю 40%, для сталі - 45%, для паперу - 60%, для скла до 65%.

Найбільш ефективно рециклінг може здійснюватися на тих же підприємствах, на яких ця продукція була вироблена. В той же час рециклінг матеріалів часто проводиться на спеціально створюваних підприємствах з іншими, не характерними для даного матеріалу методами переробки, з метою використання за новим призначенням. В довоєнний період в Україні налічувалося 15 підприємств з переробки скла, 15 - з переробки паперу, 16 – з переробки металу, 19 – з переробки пластикових пляшок, 36 – з переробки вторинних полімерів. Їх потужності ніколи не були повністю завантажені. Для відновлення відсортовується лише близько 4,2% відходів. Для порівняння, в

Данії, країні з населенням 5,4 млн чоловік, діє понад 150 підприємств, які спеціалізуються на переробці різного типу відходів. Практика країн Євросоюзу свідчить, що більше половини з морфологічного складу відходів можна переробляти у вторинну сировину при організації роздільного збору відходів чи їх централізованому сортуванні.

Важливим економічним стимулом переробки відходів є та обставина, що відновлення виявляється найбільш дешевим способом боротьби з накопиченням відходів. У США, наприклад, захоронення або спалювання відходів з урахуванням дотримання всіх екологічних норм є у три рази дорожчим, ніж їх переробка у вторинну сировину. У суспільній свідомості поступово сформувалася думка про те, що захоронення відходів в землю або скидання їх в море - це неприпустиме перекладання проблем на плечі наступних поколінь.

Відновлення поділяють на три різновиди: первинне, вторинне та змішане. Під первинним відновленням (рекуперація) розуміють використання відходів у різних галузях народного господарства без попередньої глибокої фізико-хімічної переробки; під вторинною - використання продуктів спеціальної переробки відходів. Поверненні відходів в той же виробничий процес, з якого вони одержані можливе в тих випадках, коли за своїми властивостями мало відрізняються від властивостей первинної сировини (наприклад, повернення жерстяних банок - у виробництво сталі; макулатури - у виробництво паперу та картону тощо). Такі відходи повертають у виробничий процес без попередньої спеціальної підготовки, в більшості випадків необхідно проводити лише їх сортування та очищення від забруднень. При рециклінгу існує правило: змішані відходи - це сміття, а роздільно зібрані або розсортовані - це вторинні ресурси.

Процеси відновлення і рециклінгу переплітаються і взаємно доповнюються. Наприклад, непошкоджена скляна тара може повторно використовуватися після їх відповідної санітарної обробки, пошкоджена тара має проходити відновлення як склобій.

Як успішний приклад проведення рециклінгу є організація переробки відходів з поліетилену в Японії. На сьогодні в Японії близько 90% всіх пластикових пляшок переробляються у волокна для виготовлення нових тканин. Компанія «Негдю Санге» на початку 80-х років почала виробляти зі старих поліетиленових виробів поліефірні волокна. Японська фірма «Мідзуно» з вторинного поліефіру виробляє спортивний одяг, штучну шкіру для кросівок. Фірма «Гундзе» виробляє скатертини, кухонні рукавиці, підставки тощо. Компанія «Одзакі Седзі» з пряжі, що складається з 70% поліефіру і 30% вовни, виготовляє шкільну форму, на виготовлення одного комплекту якої

витрачається близько 15 пластикових пляшок. Корпорація «Лайон Офіс Профктс» із вторинних полімерів виробляє тканинні покриття і матеріал подушок для офісних стільців, полиці для папок і книг.

Рекуперація рідких відходів (стічних вод) проводиться шляхом їх очистки від забруднення з наступним поверненням у виробництво. Також можливе повернення очищеної води у природні водойми після її повної очистки. Газоподібні відходи повинні повністю очищатись, а вловлені продукти відновлюватися. Доцільно і технологічно можливо відбирати теплову енергію від продуктів згорання палива та використовувати її як вторинний енергетичний ресурс.

Відновлення та рециклінг відходів дозволяє вирішувати задачу мінімізації промислових та побутових відходів, а в окремих випадках – досягнути їх повного корисного використання, що, в свою чергу, дозволяє створювати маловідходні та безвідходні виробництва та знижувати рівень забруднення навколишнього середовища. В той же час, використання вторинних матеріалів може обмежуватися нестабільними і гіршими властивостями, порівняно з первинними матеріалами. У деяких випадках до готової продукції пред'являються особливі вимоги, які неможливо забезпечити при використанні вторинної сировини. Для деяких видів продукції використання вторинної сировини забороняється діючими санітарними нормами. Наприклад, у багатьох країнах діє заборона на використання вторинних полімерів для виробництва упаковки для харчових продуктів. Вторинні матеріали найчастіше використовують для виробництва предметів, вимоги до споживчих властивостей яких можуть бути нижчими, а в процесі експлуатації давати результат близький до аналогів, які вироблені з первинної сировини.

Для позначення матеріалу, з якого виготовлений предмет, і спрощення процедури сортування перед його відправкою на переробку для вторинного використання застосовують спеціальні знаки - коди переробки. Такі знаки зазвичай ставлять на батарейках, акумуляторах, виробих зі скла, металу, паперу, пластмаси. Ці знаки несуть інформацію для спрощення сортування відходів, а предмети, на яких це маркування відсутнє частіше відправляють як несортовані відходи на звалища. На різних упаковках можна побачити спеціальні символи рециклінгу, які дають інформацію про те, чи можна переробляти виріб чи ні, як видаляти виріб, якщо він містить токсичні матеріали (табл.8). Кожен символ відіграє певну роль у процесі переробки, допомагає як підприємствам, так і споживачам визначити, як викидати та повторно використовувати матеріали. Загальноприйняте зображення знака переробки - трикутник із трьох стрілок, що утворює петлю Мебіуса. Це свідчить

про те, що товари, на упаковках яких є такий значок, не потребують отримання додаткових документів, що підтверджують відповідність нормам безпеки.

Упаковка товарів також містять знаки, які свідчать, що продукція екологічно чиста та безпечна для навколишнього середовища та здоров'я споживачів.

Таблиця 8

Символи рециклінгу

Символ	Значення символу
	Петля Мебіуса вказує, що об'єкт може бути перероблений. Іноді цей символ використовується з показником відсотка в середині, щоб пояснити, наскільки відсотків упаковка складається з переробленого матеріалу.
	Знак «Der Grüne Punkt» або «Зелена крапка» був розроблений в Німеччині. У Німеччині «зелена крапка» дає інформацію про те, що дану упаковку можна повернути виробнику для вторинної переробки.
	Скло. Знак свідчить про необхідність викидати скляні пляшки і банки у призначені для утилізації скла контейнери
	Знак позначає, що даний виріб виготовлено з вдруге переробленого алюмінію.
	Символ позначає, що вказані відходи електричних елементів - від побутової техніки до мобільних телефонів та ІТ-обладнання - можуть бути перероблені.
	Відповідно до європейського стандарту EN 13432/14955 подібний логотип мають продукти, які сертифіковані для промислового компостування.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Дайте визначення поняттям «відходи виробництва» та «відходи споживання».
2. Як класифікуються відходи відповідно до небезпеки впливу на людину та навколишнє середовище.
3. Наведіть типовий морфологічний склад твердих побутових відходів.
4. Принцип систематизації відходів згідно з класифікатором відходів.
5. Згідно якого документа відбувається контроль за транскордонним перевезенням відходів?
6. Охарактеризуйте призначення полігонів, їх основні функції, правила облаштування полігонів.
7. Що розуміють під термінами «відновлення» і «рециклінг» відходів, у чому полягає їх різниця?
8. Охарактеризуйте ієрархію управління відходами.
9. Охарактеризуйте основні методи термічної переробки відходів.
10. В яких випадках може обмежуватися використання вторинних матеріалів?

2.Сміттєспалювання

Сфера застосування терміну «енергія з відходів» є широкою і охоплює низку технологій різного масштабу та складності. Розроблені технології можуть включати виробництво побутового газу в метантенках з органічних відходів, збір метану на звалищах, термічній обробці відходів на сміттєспалювальних заводах, спільній обробці відходів (RDF) на цементних заводах або газифікації.

Для зменшення обсягів захоронення відходів та їх використання з метою отримання корисної енергії першою широко реалізованою ідеєю цивілізації стало їх спалювання шляхом високотемпературного окислення. В умовах реалізації принципів лінійної економіки при розширенні потужностей зі збору та переробки відходів та впровадженням політики та програм запобігання утворенню відходів використання технологій сміттєспалювання забезпечує скорочення захоронення відходів на санітарні полігони або несанкціоновані звалища. Однак збільшення вмісту полімерної складової у морфологічному складі сучасних твердих побутових відходів перетворило сміттєспалювання в один з найбільш вартісних, екологічно брудних та токсично небезпечних для способів генерації енергії.

У випадку цільового отримання теплової енергії від спалювання, відповідно до Закону України «Про управління відходами», такий процес відноситься до відновлення відходів. Відновлення твердих побутових відходів на сміттєспалювальних заводах це технічно відпрацьований метод промислового відновлення твердих побутових відходів. Вогневий спосіб знешкодження і переробки відходів характеризується універсальністю, надійністю і ефективністю у порівнянні з іншими способами відновлення. Горючі відходи в цьому процесі можна розглядати як джерело енергії. Спалювання відходів - це багатоступінчастий технологічний процес видалення відходів, який дозволяє:

- значно скоротити об'єм відходів. Кількість твердого матеріалу, що залишається після згоряння, знаходиться в межах 15...20% від початкової маси відходів, що призводить до скорочення площ земельних ділянок, необхідних для їх зберігання;
- привести до повного знешкодження наявних у відходах мікроорганізмів;
- отримати теплову енергію від спалювання відходів;
- запобігти забрудненню ґрунтових вод фільтратами, які утворюються при захороненні на звалищах відходів;
- спалювання є швидким способом видалення відходів, їх великі обсяги можуть бути перероблені за відносно короткий час.

Сміттєспалювання може забезпечити зменшення викидів парникових газів, якщо його розглядати як альтернативу відкритому спалюванню без рекуперації теплової енергії, або захороненню на неконтрольованих звалищах. Так, спалювання дозволяє уникнути викидів метану, який утворюється в результаті анаеробного розкладання органічних відходів на звалищах. Спалювання 1 т твердих побутових відходів дозволяє уникнути викидів метану зі звалища, які еквівалентні 1010 кг вуглекислого газу.

Ряд типів сміттєспалювальних підприємств можна класифікувати за типом термічного процесу, що використовується для спалювання (масове спалювання, газифікація, плазмовий процес, піроліз тощо), конструкції печі чи реактора або типу відходів, які вони спалюють (промислові, медичні чи тверді побутові відходи).

2.1.Відновлення відходів шляхом сміттєспалювання

Сміттєспалювальні установки перетворюють горючі складові твердих побутових відходів у теплову енергію та продукти згорання – хімічно інертний шлак та золу. Спалювання є суперечливим методом видалення відходів через викиди з газоподібними продуктами згорання забруднюючих речовин. Перетворення відходів на енергію відноситься до лінійної моделі використання ресурсів, оскільки матеріали, які спалюються, ніколи не можуть бути відновлені та використані знову.

Сміттєспалювальні заводи, подібно до звалищ відходів, завжди негативно сприймаються населенням через небезпеку забруднення повітря токсичними газоподібними продуктами згорання, а також через проблеми з захороненням токсичної золи, що утворюється при спалюванні твердих побутових відходів. Особливе занепокоєння викликають викиди стійких органічних речовин, таких як канцерогенні діоксини, фурани, тощо.

Газоподібні продукти згорання на сміттєспалювальних заводах перед викиданням в атмосферу мають обов'язково проходити очищення. В країнах з розвиненим екологічним законодавством до половини капітальних витрат при будівництві сміттєспалювальних заводів витрачається на облаштування газоочисних систем. До 1/3 експлуатаційних затрат сміттєспалювальних заводів витрачається на захоронення золи, яка з екологічної точки зору є більш небезпечнішою речовиною, ніж тверді побутові відходи самі по собі. З урахуванням всіх статей затрат, екологічно чиста переробка відходів на сміттєспалювальних заводах є найдорожчим методом отримання енергії, експлуатація таких підприємств створює значне економічне навантаження для комунального господарства міст.

Першу сміттєспалювальну установку було введено у м. Ноттінгем (Англія) у 1874 році. Починаючи з початку двадцятого століття сміттєспалювальні заводи знайшли широке розповсюдження в таких розвинених країнах, як Японія та Сполучені Штати Америки, а також у європейських країнах, як частина системи управління відходами. Перші сміттєспалювальні заводи були громіздкими і малоефективними, їх основною задачею була знищення сміття, а не отримання енергії. Згодом були розроблено більш продуктивне сміттєспалювальне обладнання з потужними топками, які дозволяли спалювати за короткий час значну кількість сміття і регенерувати частину виробленої теплової енергії. Значні проблеми при відновленні та видаленні відходів спалюванням стали виявлятися по мірі розширення використання в побуті синтетичних полімерних матеріалів і гуми, при згоранні яких утворюються токсичні димові гази.

Інтенсивний розвиток застосування твердих побутових відходів у якості енергетичної сировини став відбуватися з середини 70-х років минулого століття, що було пов'язано з поглибленням світової енергетичної кризи і підвищенням цін на нафту. Поштовхом до використання такого варіанту відновлення став факт, що при спалюванні 1 т твердих побутових відходів можна отримати від 2 до 3 Гкал теплової енергії або виробити до 600 кВт·год електроенергії. В цей період були побудовані великі сміттєспалювальні заводи в таких містах, як Мадрид, Берлін, Лондон та в інших країнах з високою щільністю населення. Станом на 1992 рік в світі діяло близько 400 сміттєспалювальних заводів, на яких проводилося відновлення твердих побутових відходів з виробництвом тепла і електроенергії, а вже у 1996 році їх кількість досягла 2400.

В подальшому, по мірі підвищення вимог санітарних норм, кількість діючих сміттєспалювальних заводів стала поступово скорочуватися і у 2005 році їх загальна кількість у Європі знизилася до 367. Причиною такого скорочення стали недосконалість та недостатня надійність конструкцій топок, низька ефективність фільтрів для очищення димових газів, і, відповідно, формування у населення негативного ставлення до сміттєспалювальних заводів як забруднювачів навколишнього середовища. В першу чергу це було викликано різким збільшенням у складі відходів виробів з хлорвмісних полімерних матеріалів, які спалювалися.

У послідуєчі роки в багатьох країнах були введені надзвичайно жорсткі стандарти на викиди в атмосферу забруднюючих речовин, що призвело до подальшого закриття багатьох сміттєспалювальних заводів. Наприклад, у Великобританії з 780 заводів з відновлення спалюванням побутових відходів, що функціонували з початку 90-х років до 2001 року залишилося працювати

лише 12. Це призвело до різкого розширення захоронення твердих побутових відходів на полігонах, оскільки альтернативні рішення по щодо заміни відновлення шляхом сміттєспалювання були відсутні. Проектні організації почали зосереджуватись на удосконаленні обладнання та технологій екологічно прийнятеного сміттєспалювання. Удосконалення систем очищення продуктів згорання та використання ефективного енергогенеруючого обладнання поступово стало повертати увагу до сміттєспалювання відходів. Технології такого відновлення відходів з кожним роком ставали все менш забруднюючими. Це дозволило ряд країн Європи законодавчо ввести ускладнення та заборону на захоронення відходів на полігонах, оскільки аналіз показав, що такий шлях видалення відходів завдає значно більшої шкоди навколишньому середовищу, ніж удосконалені технології сміттєспалювання. З 1995 року спостерігається черговий цикл зростання спалювання твердих побутових відходів. Це збільшення в основному було викликано вимогами прийнятих директив ЄС щодо зменшення використання звалищ. При цьому мала місце тенденція до зростання потужності і продуктивності переробки твердих побутових відходів новими сміттєпереробними заводами.

На шість європейських країн (Німеччину, Францію, Нідерланди, Швецію, Італію та Великобританію) сьогодні припадає три чверті сміттєспалювальних потужностей ЄС. За даними Євростату, у 2018 році на сміттєспалювальних заводах в Європі з міських побутових відходів було вироблено близько 2,4% енергії (40,4 млн т нафтового еквіваленту). Генерація енергії шляхом спалювання відходів є ефективною лише за умови організації роздільного збору сміття. Якщо використовувати відходи без попереднього сортування, коефіцієнт корисної дії при їх спалюванні буде низьким та утворюватиметься значна кількість шлаку.

За даними Управління енергетичної інформації США, прогнозована капітальна вартість нових сміттєспалювальних установок вдвічі перевищує вартість вугільних електростанцій і на 60% вища, ніж вартість атомних енергетичних станцій. Витрати на експлуатацію та обслуговування сміттєспалювальних установок також значно вищі за вартість обслуговування вугільних теплових електростанцій і в чотири рази перевищують вартість обслуговування атомних електростанцій. Конфедерація європейських заводів, які переробляють відходи в енергію, визнала, що сміттєспалювання не має сенсу як основне джерело енергії (CEWER, 2020). Останнім сигналом цієї тенденції є Звіт ЄС про Таксономію, який виключає спалювання відходів зі списку технологій сталого бізнесу через його шкоду для циркулярної економіки та кліматичних цілей.

Екологічні експерти стверджують, що використання сміттєспалювання зменшує стимули до скорочення утворення відходів і руху до безвідходного та низьковуглецевого суспільства в рамках циркулярної економіки, оскільки органічна складова твердих побутових відходів знищується. Однак, такі складові відходів придатні для вторинної переробки або компостування і економічно більш доцільним є їх переробка на основі концепцій циркулярної економіки та створення зелених робочих місць. На сьогодні сміттєспалювання розглядається як малоефективний спосіб відновлення відходів в системі циркулярної економіки, воно не сприяє виробництву достатньої кількості енергії та характеризується низькою екологічністю. Проекти перетворення сміття в енергію на сьогодні визначають як додаткову технологію відновлення енергії з фракцій твердих побутових відходів, які не підлягають переробці, і тому не конкурують із заходами щодо зменшення відходів, повторного використання та переробки матеріалів. При забезпеченні високих стандартів викидів проведення в контрольованих умовах перетворення відходів в енергію є більш пріоритетним, ніж захоронення.

Техніко – економічні дослідження свідчать, що в сучасних умовах будівництво сміттєспалювальних заводів для виробництва теплової та електричної енергії має сенс при розташуванні підприємства поряд з великими містами з населенням понад 350 тис. чоловік. Сміттєспалювальним заводам для стабільної роботи потрібне постійне надходження значної кількості відсортованих відходів - до 100 000 т твердих побутових відходів на рік. Для мінімізації негативних екологічних впливів згідно з вимогами законодавства більшості європейських країн, сміттєспалювальні заводи мають розташовуватися поза межами населених пунктів, бути обладнаними сучасними ефективними системами очистки продуктів згорання та здійснювати постійний моніторинг викидів на вміст важких металів, діоксинів та фуранів.

Будівництво сміттєспалювальних заводів є досить вартісним, термін окупності понесених затрат складає від до 50 років. Прагнучи модернізувати системи управління відходами, муніципальні органи управління, які приймають рішення, часто стикаються з питанням, чи варто їм інвестувати в технології виробництва енергії з відходів. Інвестиції в будівництво великого сміттєпереробного заводу під м. Стокгольм склали близько 500 млн. євро, його щорічне обслуговування обходиться в 3...7 млн євро, термін окупності визначено у 40 років. Високі витрати на будівництво та експлуатацію сміттєспалювальних заводів, витрачання грошей платників податків на сміттєспалювальний завод означає, що значно менше коштів залишиться для

інвестування в більш доступні рішення щодо скорочення, перероблення та компостування відходів.

Для повернення здійснених інвестиційних витрат та для отримання прибутку сміттєспалювальні компанії повинні мати довгострокові контракти з муніципалітетами. В цих контрактах закріплюються зобов'язання муніципалітетів постачати на сміттєспалювальні заводи визначену кількість відходів. Однак, утворення твердих побутових відходів на території певних громад і їх постачання з часом може не відповідати закладеним прогнозам. Це призводить до неповного використання потужностей сміттєспалювальних заводів і перешкоджає зусиллям щодо повторного використання та переробки органічних складових твердих побутових відходів. Ряд країн з великою кількістю потужних сміттєспалювальних заводів стали імпортозалежними від надходження відходів.

Данія є однією з країн ЄС, яка утворює найбільше відходів на душу населення. Згідно з даними Євростату, у 2018 році у Данії було спалено 48,77% твердих побутових відходів (вироблено 814 кг/одиноцю населення, спалено 397 кг/одиноцю населення). Наявні 23 сміттєспалювальні заводи в Данії здатні спалювати 3,8 млн т відходів на рік. Данія відчуває дефіцит відходів, і їй важко без імпортних поставок забезпечити проектне завантаження своїх сміттєспалювальних заводів. Для більш повного завантаження власних сміттєспалювальних заводів у 2018 році Данія імпортувала майже 1 млн т відходів для спалювання, в основному з Великобританії та Німеччини. На сьогодні 20% виробництва тепла та 5% електроенергії Данії отримують за рахунок спалювання відходів. Прораховано, що таку кількість енергії можливо компенсувати при поєднаному використанні геотермальної енергії, енергії вітру та біогазу з окремо зібраних біологічних відходів. Доходи від відновлення відходів і продажу енергії часто є недостатніми для покриття повних інвестиційних і операційних витрат сміттєспалювальних заводів. Управління витратами включає стратегії технічного обслуговування, план поступового виведення заводу з експлуатації, моніторинг забруднення, вказівки щодо безпечної утилізації токсичних побічних продуктів, медичний моніторинг працівників підприємства та місцевої громади, а також заходи щодо попередження аварійних ситуацій. Експлуатаційні витрати в значній мірі залежать від терміну служби установки. У 2020 році уряд Данії прийняв рішення зменшити до 2030 року потужності сміттєспалювання на 30%, закривши сім державних сміттєспалювальних заводів, з метою розширення рециклінгової переробки відходів.

Сміттєспалювання, яке не поєднується з рекуперацією тепла в систему централізованого тепlopостачання, є надзвичайно збитковим.

Сміттєспалювальні заводи виробляють менше енергії, ніж її було затрачено на виробництво матеріалу відходу (пластик, папір), насамперед тому, що те, що спалюється, буде потрібно замінювати новими продуктами. Видобуток первинних матеріалів з надр, виробництво з сировини нових матеріалів для заміни спалених, супроводжується споживанням значної кількості енергії порівняно у порівнянні з повторним використанням або вторинним переробленням. Виникає жорстка конкуренція між спалюванням і матеріальною переробкою відходів. Органічні складові відходів придатні для вторинної переробки або компостування і економічно більш доцільним є їх переробка на основі концепцій циркулярної економіки та створення зелених робочих місць. Муніципальним компаніям з переробки відходів економічно більш вигідно здійснювати рециркуляцію, але, з іншого боку, вони можуть мати довгострокові контракти з енергетичними компаніями на постачання відходів на спалювання.

Слід відзначити, що доходи від продажу енергії не покривають витрати сміттєспалювальних заводів: капітальні і експлуатаційні витрати таких установок є високими і не можуть повністю фінансуватися тільки за рахунок продажу енергії за ринковими цінами. Сміттєспалювальне підприємство має отримувати додаткові кошти за відвернення захоронення відходів. При цьому доходи від продажу тепла і енергії є недостатніми для покриття всіх інвестиційних і капітальних витрат.

Досвід експлуатації сміттєспалювальних заводів в США показує, що вартість електроенергії, отриманої традиційними методами, складає 1...3 центи за 1 кВт·год, а вартість електроенергії при сміттєспалюванні зростає до 11 центів за 1 кВт·год. Тому можливість розв'язання екологічних проблем за рахунок зменшення кількості відходів, виступає на перший план при визначенні доцільності використання сміттєспалювання. Отримання теплової та електричної енергії має розглядатися лише як спосіб часткової компенсації витрат на відновлення відходів шляхом сміттєспалювання.

Технології термічної обробки можуть застосовуватися без необхідності використання додаткового палива (автотермічне спалювання) для виробництва електроенергії з висококалорійних складових твердих побутових відходів з питомою теплотою згорання понад 7 МДж на кг, а саме пластику, картону, паперу та текстилю, для виробництва електроенергії. У країнах, що розвиваються, питома теплота згорання несорттованих твердих побутових відходів часто є нижчою за цей поріг через високий рівень вологості органічної складової відходів та значний рівень інертних фракцій відходів, таких як пісок. Для порівняння питома теплота згорання 1 кг мазуту становить приблизно 40 МДж/кг. В процесі термічної обробки органічна складова твердих побутових

відходів знищується. Проекти перетворення сміття в енергію на сьогодні визначають як додаткову технологію відновлення енергії з фракцій твердих побутових відходів, для яких не розроблено технологій рециклінгової переробки. При забезпеченні високих вимог стандартів щодо складу викидів перетворення відходів в енергію є більш пріоритетним, ніж їх захоронення.

За період з 2016 року до середини 2019 року у світі в експлуатацію було введено 161 завод з вироблення енергії з відходів сумарною потужністю 60 млн т відходів на рік. 80% всіх нових потужностей було введено в Китаї, 12% в європейських країнах, і 8% - у всіх інших. Сучасні сміттєспалювальні підприємства поєднують спалювання твердих відходів з рекуперацією теплової енергії. У 27 країнах Європейського Союзу тверді побутові відходи, які підлягають обробленню шляхом спалювання, зросли з 15% у 1995 році до 27% у 2020 році. В Європі експлуатується понад 460 підприємств з виробництва енергії з відходів. Серед європейських виробників енергії з міських відходів лідирує Франція, де працює близько 130 сміттєспалювальних заводів, які щорічно виробляють 3,3 млрд кВт·год електроенергії і 9,5 млн Гкал теплової енергії. В Японії працює 1900 сміттєспалювальних заводів, в Італії - 94, Німеччині - 73, в Данії - 38, а в Швейцарії і Великобританії - по 30.

Поштовхом для розвитку у Швеції сміттєспалювання стала відсутність власних запасів нафти і газу. До 70-х років минулого століття шведська енергетична галузь, як і економіка в цілому, перебувала в залежності від імпорту вуглеводнів. Єдиним виходом з газової кабали для Швеції було визначено перехід до повсюдного використання альтернативних джерел енергії та суттєве скорочення імпорту дорогих нафти і газу. Якщо порівнювати з іншими джерелами альтернативної енергії (наприклад, вітрової та сонячної), то виробництво енергії за рахунок спалювання відходів є більш стабільним, тому що при налагодженій логістиці поставок відсутні коливання в постачанні сировини. Спалювання відходів забезпечує лише незначну частину загального енергопостачання Швеції; гідро- та атомна енергетика виробляє близько 83 % електроенергії Швеції, а вітрова енергетика забезпечує ще 7%. За рік з відходів у Швеції виробляється 17 ТВт·год енергії. Це складає близько 16% теплової енергії і 1,4%, від всього виробництва на території Швеції виробляється на сміттєспалювальних заводах. За останні 20 років шведам вдалося знизити кількість сміття, яке підлягає захороненню на звалищах, з 50% до 0,5%.

Побудова сучасного сміттєспалювального заводу вимагає інвестицій в сотні мільйонів Євро, а щорічне обслуговування обходиться в 3...7 млн Євро. При цьому вирішення екологічних проблем, з якими допомагає боротися переробка і вторинне використання складових побутових відходів, відбулося

як позитивний побічний ефект від розв'язання економічних проблем. Довга берегова лінія, наявність розвинутої хімічної промисловості і близькість до потенційних місць захоронення твердих продуктів згорання у норвезьких і данських водах є аргументами для впровадження сміттєспалювання у скандинавських країнах.

У 2018 році у Швеції було проведено спалювання понад 2,4 млн. т твердих побутових відходів та 3,5 млн. т. промислових відходів, що складає близько половини (49,5%) загальної кількості відходів, які утворюються у цій країні. Одночасно на шведські сміттєспалювальні заводи надійшло близько 1,5 млн тонн відходів з інших європейських країн, переважно з Норвегії, Великобританії і Ірландії. Таке ввезення відходів у Швецію здійснювалося як платна послуга. В середньому за відновлення 1 т твердих побутових відходів шведські сміттєспалювальні заводи отримують доплату у 70 євро. Враховуючи національні податкові законодавства, експортувати відходи в Швецію іноземним державам буває вигідніше, ніж захороняти його на санітарних полігонах у власній країні. Наприклад, у Великій Британії податок на захоронення відходів становить 100 євро за тонну. Найвищі податки в цій категорії у Нідерландах: тут вони доходять до 150 євро за тонну. Крім того, спалювання часто використовується для ефективного видалення небезпечних відходів, таких як хлоровані вуглеводні, олії, розчинники, медичні відходи та пестициди. В той же час значна частина відібраних при сортуванні у Швеції пластикових відходів відправляється на переробку до Німеччини, де створено сучасні спеціалізовані підприємства з проведення рециклінгу.

У Швеції більше половини всіх муніципалітетів здійснюють централізоване теплопостачання за рахунок підприємств з виробництва енергії з відходів. Переважна більшість сміттєспалювальних підприємств у Швеції знаходиться у державній власності. Багато в чому це пов'язано з тим, що інвестиції в переробку сміття є дуже довгостроковими.

У Норвегії, де збереження навколишнього середовища та сталий енергетичний розвиток знаходяться на передньому плані, використання сміття для виробництва енергії та створення екологічно чистої упаковки визнані ключовими напрямками для зменшення відходів і зменшення впливу на навколишнє середовище. Понад 80% побутових відходів використовуються для виробництва енергії шляхом спалювання та термічної обробки. За даними Норвезького енергетичного агентства, у 2022 році понад 60% електроенергії та тепла в цій країні було вироблено з відходів.

Технології перетворення відходів в енергію являють привабливий варіант вирішення не лише нагальних проблем з відновленням відходів, а й ряду інших проблем: дефіцит виробництва електроенергії, обмежений простір для

сміттєзвалищ і скорочення викидів парникових газів через неналежне захоронення відходів. Поширення спалювання відходів в Японії пов'язане з дефіцитом площ для розміщення санітарних полігонів. У Китаї 62% (146 млн. т) твердих побутових відходів у 2020 році було відправлено на сміттєспалювальні заводи, тоді як у 2004 році спалювалося лише 3% ТПВ (4,5 млн. т). В Індії також спостерігається лінійне збільшення потужностей зі спалювання муніципальних відходів, які виробляють енергію, з 53 МВт у 2009 році до 217 МВт у 2021 році.

Ряд новітніх сміттєспалювальних заводів з економічних міркувань, з урахуванням вимог логістики перевезень, розміщено в межах міст, в безпосередній близькості від житлових будинків. Більш того, завдяки дизайну і креативному оформленню, такі підприємства стають міськими пам'ятками і точками тяжіння туристів. Наприклад, у 2018 році у центральній частині міста Копенгаген було побудовано сміттєспалювальний завод потужністю 400 тис. т відходів на рік. На похилому даху заводу розміщено 500-метровий штучний гірськолижний схил, поверхню якого покрили переробленим пластиком, що дає можливість ковзати на ньому впродовж року (рис.13). Також тут зробили стіну для скелелазіння, доріжки для бігу, майданчик для фітнесу тощо.

Накопичений досвід показав, що спалювання твердих побутових відходів не може повністю розв'язати проблему електро- і теплопостачання населених пунктів:

- теплота згоряння міського сміття у кілька разів нижча, ніж кам'яного вугілля;
- загальна кількість тепла, яку можливо отримати, є у кілька разів меншою за потреби населеного пункту - джерела утворення цих відходів;
- собівартість теплової енергії, з урахуванням витрат на збір, транспортування та сортування відходів, а також на охорону навколишнього середовища, є вищою ніж при застосуванні у якості палива вугілля або природного газу.

Застосування спалювання вважається найбільш доцільним способом видалення:

- попередньо розсортованих твердих побутових відходів, до яких неможливо застосувати методи рециклінгу;
- промислових відходів, в тому числі токсичних і забруднених нафтою;
- медичних відходів, в тому числі інфікованих;
- біоорганічних відходів, в тому числі трупів інфікованих тварин.



Рисунок 13 - Сміттєспалювальний завод Amager Bakke, який поєднано з штучним лижним схилом у м. Копенгаген. Загальна потужність нового сміттєспалювального заводу становить 560 000 тонн відходів на рік, які переробляються двома печами, кожна з яких має потужність 30-35 тонн відходів на годину.

До альтернативних спалюванню технологій відносяться піроліз і газифікація. Впродовж останніх 40 років розробка «альтернативних технологій» термічної обробки відходів складалася з двох основних етапів. Перший крок з 1970 по 1980 років характеризувався високою мотивацією та потенціалом інновацій для розробки комплексної та ефективної технології переробки відходів із максимальним утворенням продуктів процесу та мінімальним негативним впливом на навколишнє середовище. На другому етапі в середині 1990-х домінували маркетингові стратегії. Газифікація та піроліз, згодом плазмовий піроліз, вважалися технічно та фінансово життєздатними альтернативами спалюванню відходів і були визначені як технології, що значно менше забруднюють навколишнє середовище, у порівнянні зі спалюванням. Піроліз

та газифікація - це розкладання органічних молекул зі складових відходів при температурі від 500 до 800°C у контрольованих умовах концентрації кисню, з утворенням піролізного синтетичного газу з теплотворною здатністю від 5 до 15 МДж/м³. Метою альтернативних технологій термічної обробки відходів є зменшення їх об'єму і небезпеки для навколишнього середовища, концентруючи або знищуючи потенційно шкідливі речовини. Цей процес також забезпечує відновлення енергії, мінерального та/або хімічного вмісту з твердих побутових відходів у формі продуктів рециклінгу, таких як синтетичний газ, нафта, сажа. На сьогодні лише кілька заводів в Японії і США працюють за такими складними і дорогавартістними технологіями як елементи системи видалення окремих токсичних складових твердих побутових відходів.

При проведенні сміттєспалювання домінуючою є технологія спалювання на колосникових решітках. Значно менше застосовуються технології піролізу та газифікації твердих побутових відходів, а також технології спалювання (в печах з киплячим шаром відновлюється лише 6% відходів, 3% припадає на піроліз).

Існуючі конструкції сучасного сміттєспалювального обладнання можуть бути систематизовані по виду спалюваних відходів, по продуктивності, за конструкцією колосникової решітки, за характером використання продуктів згорання, по типу застосовуваного допоміжного палива. Найбільш поширеною у світовій практиці традиційною технологією термічної переробки непідготовлених змішаних твердих побутових відходів є спалювання на рухомих поступально - перештовхувальних колосникових решітках.

Сміттєспалювальні заводи працюють за єдиним, універсальним алгоритмом. Автомобілі – сміттєвози, які транспортують тверді побутові відходи, заїжджають на територію сміттєспалювального заводу, де проходять обов'язковий радіаційний контроль, процедуру автоматизованого зважування та обліку, після чого відходи вивантажуються в приймальний бункер-накопичувач, який вміщує тридобовий запас сировини. Великогабаритні відходи перед завантаженням у бункер подрібнюють у дробарці. Для запобігання викиду неприємних запахів та від утворення вибухових метанових сумішей у приймальному відділенні підтримується певне розрідження повітря за рахунок забору з нього дуттьового повітря для підтримки процесу горіння твердих побутових відходів в котлоагрегатах. Бункер-накопичувач також має потужну систему відкачування повітря, яке подається для згорання в топочний агрегат. Сміття з приймального бункера подають до завантажувального жолобу живильника печі котлоагрегату. Приміщення бункера з відходами є повністю ізольованим від інших ділянок, конструкція системи захисту запобігає падінню працівників або транспортних засобів у приймальну воронку бункера.



Рисунок 14 - Надходження відходів на сміттєспалювальний завод

Грейферний кран подає сипучі та кускові відходи з бункера – накопичувача у прийомну воронку топкового пристрою. Грейфер (нім. Greifer - хватати), являє собою ківш з кількома поворотними щелепами (рис.8). Для кращого забору відходів щелепи грейфера забезпечені захватними зубами. Застосування грейфера дозволяє автоматизувати операції забирання і переміщення різних складових відходів. З прийомної воронки відходи періодично порціями подаються в топку котлоагрегату. Завантажувальна воронка відокремлює камеру згоряння від навколишнього середовища. При цьому утворюється своєрідний затвор з спресованих відходів, що перешкоджає некерованому надходженню повітря в топку. Для багатокomпонентних побутових відходів з високою вологістю найбільш доцільним є використання методу шарового спалювання. Головна особливість шарового спалювання - розподіл відходів у топці печі рівномірним шаром, на який подаються гарячі повітряні потоки, що забезпечує рівномірне прогорання.

Конструкція топки забезпечує повільний рух матеріалу від завантажувальної частини до розвантажувальної з заданою швидкістю. Колосникові решітки є основними елементами сміттєспалювальних вузлів. Колосникова решітка забезпечує ефективне спалювання за рахунок механічного переміщення підсушених розігрітих відходів, розрихлення відходів для їх кращого підсушування, аерації при горінні, рівномірного розподілу відходів по ширині полотна і забезпечення необхідної висоти шару, розподілу дуттьового повітря по зонах.



Рисунок 15 - Завантаження відходів у бункер – накопичувач



Рисунок 16 - Захват відходів грейферним краном перед завантаженням у топковий пристрій

Конструкція колосникової решітки забезпечує:

- транспортування спалюємих відходів вздовж зони згорання;
- рівномірне горіння по всій поверхні решітки;
- підведення знизу повітря для горіння відходів;
- підтримку і переміщення продуктів згорання відходів.

Колосникові решітки розміщуються в топці, яка є камерою згорання, куди подаються відходи і дутьєве повітря - окислювач органічних речовин. Стінки

топки покриваються теплоізолюючим шаром вогнетривкої цегли та екрановані випарними поверхнями - рядами труб, по яких циркулюють вода і пара. При обтіканні труб зовні розжареними продуктами згорання вода в трубах закипає і утворюється пар.

Ширина типових колосникових решіток, які використовуються на сміттєспалювальних заводах, складає 3 м. Колосникові решітки встановлюються з нахилом під кутом 26° до горизонтальної площини, при цьому колосники розташовуються каскадом на кшталт черепичного даху. У вертикальній площині між колосниками є щілини, через які поступає повітря. Подача атмосферного повітря через щілини знизу сприяє охолодженню колосникової решітки. Кожен другий колосник приводиться у зворотно-поступальний рух загальним механічним пристроєм управління. Амплітуда зворотно-поступального руху колосників решітки в напрямку знизу вгору становить близько 400 мм, а число циклів може регульовано встановлюватися від 0 до 60 за 1 год. Переміщення колосників суттєво інтенсифікує процес горіння у шарі відходів, які при кожному циклі повільно перемішуються і розрівнюються по поверхні. Одна камера з рухомими колосниковими ґратами здатна переробляти до 35 т відходів на годину. Метод шарового спалювання відходів має ряд переваг:

- забезпечується стабільність процесу горіння твердих побутових відходів;
- спалювання відходів з високою вологістю не вимагає попереднього підсушування;
- забезпечується спалювання твердих побутових відходів навіть без попереднього сортування і подрібнення.
- можливість організації комп'ютерного керування роботою механізмів топкового пристрою для забезпечення максимальної повноти згорання відходів.

Відходи завантажуються на ділянку верхнього колосника і за допомогою рухомих колосників вони переміщуються вниз. При кожному робочому ході колосників шар свіжозавантажених відходів розміщується над шаром палаючих відходів. У такий спосіб створюються вогнища нижнього запалювання, і шар, що надходить із прийомного бункера, перемішується, розпушується і розгорається.

Простір всередині топки поділяється на кілька зон, де послідовно протікають процеси спалювання відходів:

- сушіння і попередній нагрів складових відходів;
- підпалювання і згорання;
- видалення продуктів згорання.



Рисунок 17 - Вигляд колосникової решітки всередині топочного агрегату

На першому етапі в топочному агрегаті відбувається сушіння відходів за рахунок випаровування вологи. Температура компонентів завантажених відходів не буде перевищувати 100°C до того часу, доки вся волога не випарується.

По мірі прогріву відходів на другому етапі відбувається їх часткова газифікація - перетворення деяких горючих речовин в летючі компоненти. Утворені горючі гази потрапляють в зону займання і спалахують при 250°C . На перших двох етапах протікання фізико-хімічних змін відбувається за рахунок зовнішнього підведення до відходів потоку теплоти.

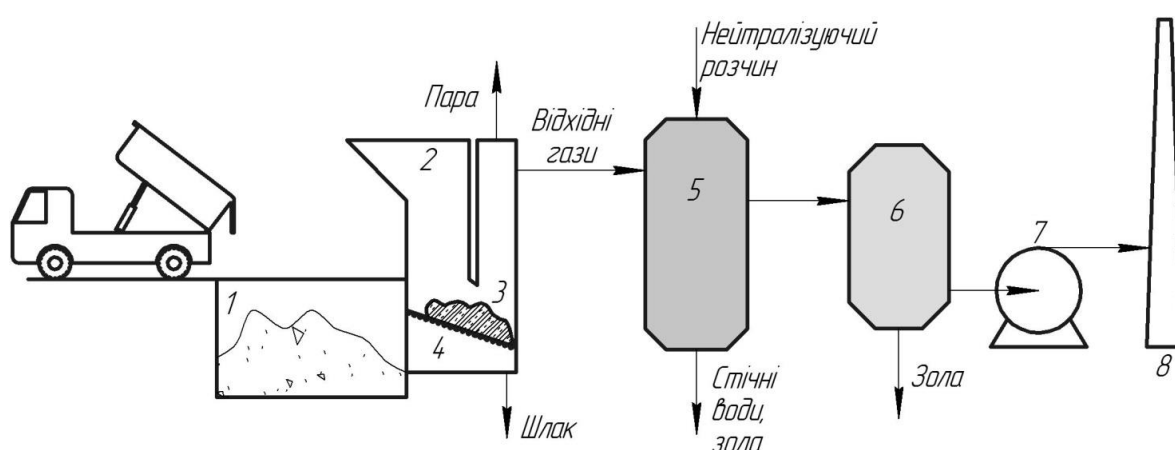


Рисунок 18 – Принципова схема сміттєспалювального заводу: 1 – приймальний бункер; 2 – спусковий жолоб; 3 – котел-утилізатор; 4 – колосникова решітка; 5 – скруббер для відмивки кислих газів; 6 – фільтр для видалення золи; 7 – димосмок; 8 – димова труба.

На третьому етапі органічні компоненти відходів починають самостійно горіти. При цьому має забезпечуватися підведення достатньої кількості повітря для досягнення повного згорання відходів. Важливо, щоб шар згораючих відходів був рівномірним і мав висоту 100...120 см. По мірі згорання висота шару відходів на колосниковій решітці зменшується і проводиться досипання відходів, щоб забезпечити рівномірну щільність і необхідну висоту шару відходів, призначених для спалювання. Атмосферне повітря надходить в зону горіння як з під колосникової решітки, яка транспортує згораючі відходи, так і у простір над решіткою для змішування кисню з газами, що утворюються при неповному згорянні. Завдяки наявності у нижньому шарі палаючих відходів підтримується стабільний термічний процес горіння. Вентилятор первинного повітря через зазори решітки забезпечує подачу повітря з зони приймального бункера для горіння шару відходів. Управління подачею повітря під решітку є регулюючим параметром для підтримки заданої робочої температури в камері згорання.

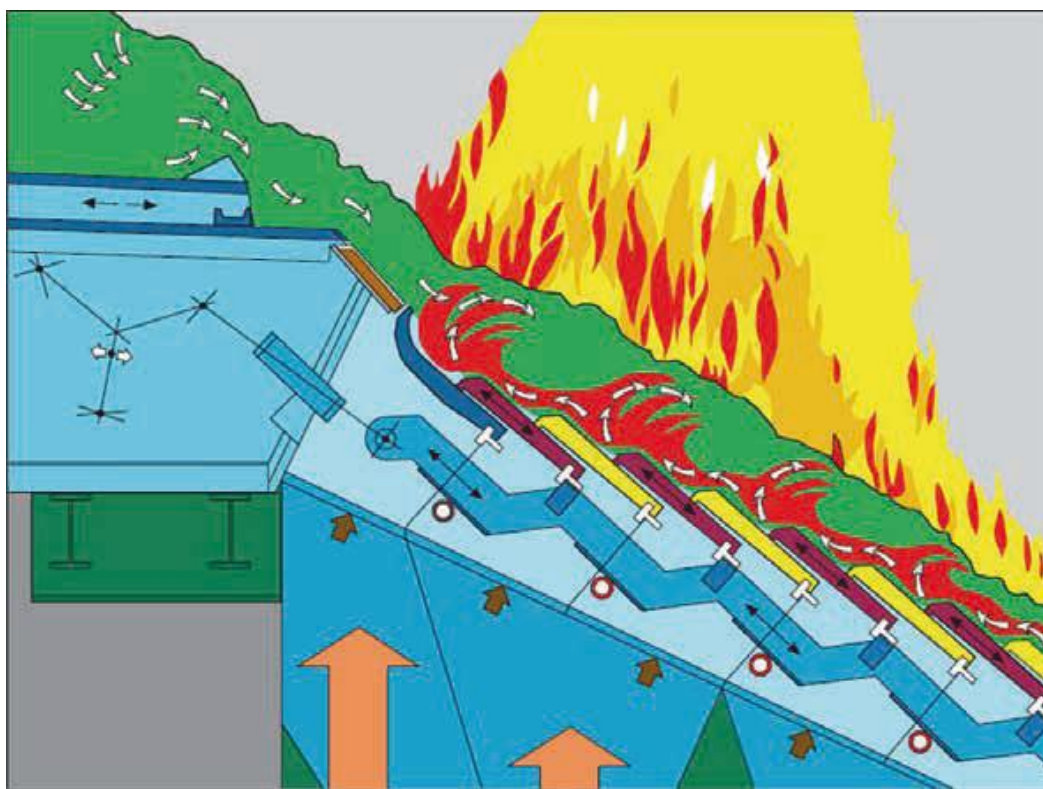


Рисунок 19 – Схема спалювання відходів на колосниковій решітці

При спалюванні відходів на колосниковій решітці досягаються температури 700...1000°C. Стабілізація горіння підтримується спалюванням додаткового палива для прогріву топки, займання відходів і, при необхідності, компенсації недостатньої теплотворної здатності відходів. Для цих цілей застосовують

подачу природного газу, що спрощує регулювання процесу горіння. В тепловому балансі сміттєспалювання доля тепла від подачі природного газу складає 4... 6 %. Для запалювання відходів біля колосників розміщують пускові пальники, які забезпечують розігрів топкового простору до 800°C. Для запуску процесу сміттєспалювання топочний агрегат попередньо розігрівають завантаженням для спалювання очищених деревних трісок, що допомагає швидко підняти температуру на колосниковій решітці до потрібного рівня. При відновленні вологих нерозсортованих відходів період їх повного згорання складає від 1 до 3-х годин. Прискорене підсушування відходів досягається за рахунок подачі підігрітого повітря.

Неоднорідність твердих побутових відходів може ускладнювати підтримку мінімальної необхідної температури в печі. На сучасних сміттєспалювальних установках використовується автоматична система регулювання процесу спалювання на основі інфрачервоної термографії, що забезпечує оптимальне протікання горіння навіть при помітних коливаннях складу відходів. Стан процесу горіння визначається шляхом вимірювання температури шару відходів за допомогою інфрачервоних датчиків, які встановлюються на стелі топки. Задану температуру підтримують за допомогою допоміжних пальників, які налаштовані на автоматичне вмикання подачі природного газу, коли температура в печі падає нижче заданої точки; поріг зазвичай встановлюється в межах 815...980°C.

Відповідно до Директива ЄС установки для спалювання відходів проектуються, оснащуються, споруджуються та експлуатуються таким чином, щоб температура газу, який утворюється в результаті спалювання відходів, піднімалася за найбільш несприятливих умов впродовж 2-х секунд до рівня 850°C. Досягнення заданого часу перебування продуктів згорання у високотемпературній зоні досягається шляхом проектування печі, яка затримує рух висхідного потоку газів, наприклад, шляхом встановлення додаткових виступаючих елементів на стінках печі. В сучасних сміттєспалювальних установках досягнення покращеної ефективності згорання та теплообміну здійснюється за допомогою арок і виступів, які є металевими конструкціями над зонами горіння. Такі конструктивні елементи розміщують, як правило, поблизу місця введення повітря, щоб порушити нормальний висхідний потік нагрітих газів, що випаровуються при спалюванні твердих побутових відходів.

Експлуатація установок зі спалювання відходів повинна відбуватися у такий спосіб, щоб досягнути рівня спалювання, за якого вміст залишків органічного вуглецю в шлаку та зольних залишках не перевищував 3%.



Рисунок 20 - Труби, які екранують стінки парогенератора та забезпечують відбір теплової енергії від продуктів згорання

З метою зниження кількості шкідливих викидів на сучасних сміттєспалювальних установках створюють умови для досягнення в топці температури від 850 до 1450°C. У разі спалювання небезпечних відходів із вмістом понад 1% хлормістких органічних речовин, температура має становити не менше 1100°C. Однак, при підвищенні температури в печі вище 1000°C відбувається плавлення шлаку і виникають ускладнення через зашлаковування колосникових решіток.

Згорання відходів завершується після проходження 2/3 довжини колошникової решітки, а на останній ділянці відбувається завершення процесу спалювання, утворення шлаку та його поступове охолодження свіжими порціями повітря, що подається в топку.

На кінетику процесу горіння побутових відходів значний вплив робить їх баластна негорюча складова частина (консервні банки, металеві деталі різних побутових предметів, скло, кераміка тощо). Наявність мінеральних речовин у складі визначає плавкі характеристики утворюємого шлаку. Розжарені шлакові включення через пази просипаються в бункер, а потім у гасильну ванну із водою, в якій охолоджується до 80 - 90°C. Шлак збирається в камері гасіння під колосниковою решіткою і видаляється шкребками в гасильну ванну. Витрати води для гасіння шлаку складають 3,5...6,0 м³ на 1 т шлаку. З гасильної ванни шлак переміщується штовхачем в жолоб. Конструкція жолоба

дозволяє ущільнювати матеріал, що видаляється, а також стікати надмірній вологі. Охолоджений шлак подрібнюється на молотковій дробарці і по системі стрічкових транспортерів проходить під магнітним сепаратором, який зі шлаку видаляє феромагнітні металеві включення. Для відділення від шлаку електропровідних немагнітних металів, особливо алюмінію та міді, можуть використовуватися вихрострумові сепаратори. Відділені металеві включення пакуються і реалізуються як вторинна сировина. Звільнений від металу шлак надходить стрічкою транспортера в шлаковий відсік бункера-накопичувача.

Топка котлоагрегату конструктивно виконується одним блоком з котлом-утилізатором, до поверхні нагрівання якого надходять топкові продукти згорання, який використовує теплову енергію димових газів для нагріву мережної води, або отримання перегрітої (насиченої) пари (рис.12). У газоходах котлоагрегату послідовно розміщуються:

- пароперегрівач - елемент парового котла, що підвищує температуру пари понад температуру насичення;
- економайзер - теплообмінник для попереднього підігріву живильної води за рахунок відбору тепла від відхідних газів.

Котел - утилізатор забезпечує відбір тепла та зниження температури відхідних газів перед їх надходженням на очищення. Це виконується одним із способів: підмішуванням холодного повітря, уприскуванням води, теплообміном з отриманням гарячого повітря, води або пари.

Утворену теплову енергію від згорання відходів використовують для виробництва пари, що подається для виробництва електроенергії, централізованого опалення або постачання пари для виробничих потреб переробної промисловості. Котловий агрегат виробляє пару під тиском 3 МПа і температурою 300°C, яка може використовуватися для опалення прилеглих районів, виробництва електроенергії або для технологічних потреб. Когенерація теплової енергії для опалення та виробництва електричної енергії забезпечує досягнення ККД до 80%, виробництво електроенергії має максимальну ефективність не вище 20%. Паропроодуктивність парогенераторів сміттєспалювальних установок, в наслідок відносно низької теплотворної здатності відходів, у 3-4 рази нижча порівняно з енергетичними установками, що працюють на викопному паливі.

Продукти згорання надходять на сухе знепилювання з температурою не вище 300...350 °C. Утворені при горінні димові газид проходить очищення через систему фільтрів, після чого видаляються за допомогою димосмоку у димову трубу. З метою запобігання забрудненню навколишнього середовища димові газид проходить очищення, яке поєднує використання сухих, мокрих і електростатичних фільтрів.

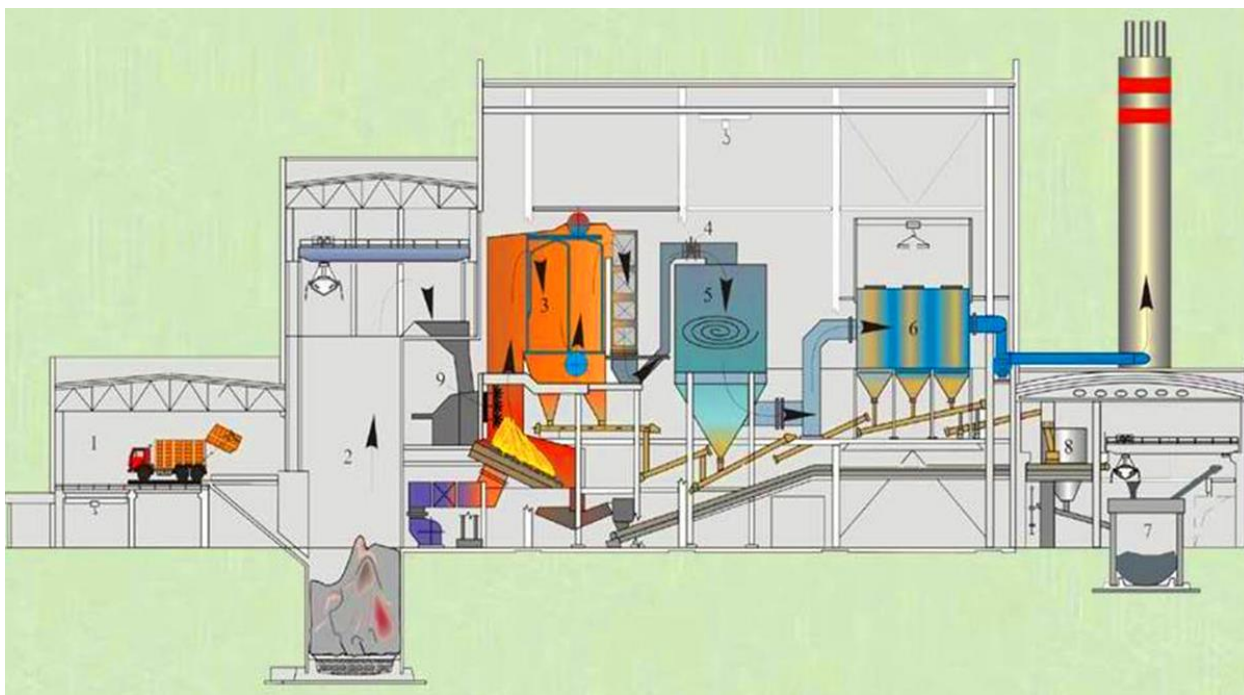


Рисунок 21 – Будова сміттєспалювального заводу: 1 - зона розвантаження; 2 - бункер для зберігання відходів; 3 - котлоагрегат; 4, 5, 6 – відділення очищення димових газів; 7, 8 - відділення обробки шлаку; 9 – завантаження твердих побутових відходів у топку

При спалюванні твердих побутових відходів утворюється наступні типи відходів:

- грубодисперсний шлак, що накопичується під колосниковими решітками;
- тонкодисперсна летка зола (зола винесення), яка вловлюється на спеціальних рукавних і електрофільтрах;
- під час спалювання 1 т твердих побутових відходів утворюється від 4 до 8 тис. м³ димових газів, що містять оксиди азоту й сірки, хлороводень, хлорбензоли й важкі метали, сполуки групи діоксинів.

Шлак - це залишки, які утворюються після згоряння на колосниковій решітці твердих побутових відходів і складаються з незгорілих горючих компонентів (сажі), склобою, фрагментів кераміки, мінеральних включень (кварц, кальцит, вапно, польові шпати), металів. Шлаки мають вигляд сипучої речовини чорного кольору, до складу якої входять токсичні хімічні з'єднання та важкі метали (Zn, Pb, Cu, Ni, Cr, Cd). Сажа – це продукт неповного згоряння, який складається з незгорілого вуглецю у вигляді дрібних частинок або у вигляді відкладень на неорганічних частинках.

Летюча зола є дрібнодисперсною твердою речовиною, яка відбирається від димових газів і збирається в бункерах під очисним обладнанням. Зола

являє собою суміш дрібних частинок з леткими металами та сполуками металів, органічними хімікатами та кислотами, конденсованими на поверхні частинок. Вона також може містити залишки реагентів очищення, таких як вапно чи активоване вугілля, разом із конденсованими або абсорбованими забрудненнями.

Усі залишки, що утворюються в результаті спалювання небезпечних відходів, за винятком відходів феромагнітних металів, вважаються небезпечними відходами. Токсичність золи виносу більша, ніж шлаку, оскільки фільтри й скрубери відділяють токсичні речовини і концентрують їх у золі виносу. Шлак від спалювання твердих побутових становить 80...90 мас.%, а летка зола винесення складає до 10% від загальної маси шлако - золових відходів.

Свіжий шлак від спалювання твердих побутових відходів мокрого вивантаження складається з вологих частинок розміром від 0,1 до 100 мм. Такий шлак мокрого вивантаження має нестабільний фазовий склад та високу схильність до вимивання забруднюючих речовин у навколишнє середовище. Свіжоутворений шлак через неоднорідний склад та вміст небезпечних компонентів і низьку реакційну здатність, малопридатний для використання у якості мінерального ресурсу для виробництва будівельних матеріалів. Складові фази свіжого мокрого шлаку зазвичай знаходиться в метастабільному стані. Процес зміни фазового складу починається одразу після гасіння гарячого шлаку та продовжується весь період, доки шлак залишається вологим. При значенні рН вище 12 свинець, цинк і мідь є основними важкими металами, які вимиваються зі свіжого шлаку. Свіжий шлак від спалювання твердих побутових відходів зазвичай обробляють для зменшення вимивання іонів важких металів у навколишнє середовище.

Операції обробки свіжого шлаку включають зменшення розміру частинок, вилучення металу, стабілізацію, очищення та класифікацію. Подрібнення шлаку спрямоване на звільнення компонентів, які з'єднуються в процесі спалювання. З подрібненого шлаку електромагнітним сепаратором видаляються феромагнітні чорні метали. Відібрані сепаратором металеві залишки пакетуються і реалізується як вторинна сировина. Для розділення електропровідних немагнітних металів, особливо алюмінію та міді, використовують вихрострумові сепаратори.

Свіжий шлак від спалювання твердих побутових відходів стабілізується вивітрюванням (старіння). Вивітрювання тривалістю від одного до трьох місяців є економним способом стабілізації свіжого шлаку. Під час вивітрювання свіжий шлак укладається в купу висотою 5–10 м і витримується на відкритому повітрі протягом місяців під дією вітру та дощу. Свіжий шлак від

спалювання твердих побутових відходів реагує з киснем, вуглекислим газом і водою, присутніми в навколишньому середовищі. Основною метою стабілізації свіжого шлаку від спалювання твердих побутових відходів є зниження ризику вимивання важких металів. Свіжа зола від спалювання твердих побутових відходів зазвичай має рН в межах 12,2...12,6. Зменшення рН у золі від високолужного (≥ 12) до близького до нейтрального ($\approx 8...8,5$) може запобігти повторному розчиненню гідроксидів металів, що є однією з основних причин вимивання важких металів із свіжої золи від спалювання твердих побутових відходів. Після першого місяця вивітрювання рН падає до 10. Вивітрювання впродовж півтора року дозволяє досягнути зниження рН до рівня 8...8,5. Вивітрена зола містить широкий спектр мінералів, які включають діоксид кремнію (SiO_2), оксиди заліза (FeOx), силікати, карбонати, сульфати, хлориди, фосфати, оксиди кольорових металів, гідроксиди, сульфіді та інші мінерали. Карбонатом, який найчастіше виявляють у вивітреній золі, є кальцит CaCO_3 . На названі компоненти припадає понад 60% загальної ваги вивітреної золи. Очищення за допомогою промивання водою дозволяє видалити дрібні забруднення, які прикріплені до грубих частинок шлаку від спалювання твердих побутових відходів.

Шлаки відносять до відходів четвертого класу небезпечності. Вони переважно підлягають захороненню на полігонах. Розширюється застосуванням шлаку від спалювання твердих побутових відходів у якості заповнювачів при будівництві доріг і насипів. Відомі спроби додавати шлаки від сміттєспалювання в дорожні покриття, бетонні блоки («шлакобетон»), виготовляти з них скловату для теплоізоляції. Екологічна безпечність таких матеріалів до теперішнього часу залишається дискусійним питанням. Ряд дослідників вважає, що токсичні речовини зі шлаків можуть вимиватися (особливо кислотними дощами) чи вивітрюватися, створюючи стійке джерело забруднення.

Токсичність золи виносу є вищою, ніж нелеткого шлакового залишку, оскільки фільтри й скрубери вловлюють токсини у відходах і концентрують їх у золі виносу. До третини експлуатаційних витрат сміттєспалювальних заводів витрачається на захоронення золи, що утворюється при спалюванні відходів. Переробка леткої золи з метою детоксикації може здійснюватись двома шляхами: вилучення вмісту важких металів зі складу золи (вилуговування) або стабілізації катіонів важких металів в складі золи для зменшення їх вилуговування і розчинення в ґрунті.

Для захоронення на полігоні, летюча зола упаковується на сміттєспалювальному заводі в великі поліетиленові мішки (біг-бени), які

розміщують на окремих секціях санітарних полігонів. Для стабілізації зберігання пустоти між мішками засипають піском.

При неналежному поводженні токсичні викиди, зола виносу та нелеткий залишок можуть розноситися вітром на великі відстані, забруднювати ґрунт та воду, потрапляти в організми людей після накопичення в тканинах рослин і тварин через відповідні харчові ланцюги.

Щорічно в Німеччині з фільтрувальних установок сміттєспалювальних заводів вилучають близько 350 тис. т отруйного пилю, розчиняють його в сольових розчинах та з дотриманням суворих заходів безпеки транспортують їх для захоронення в шахтних виробках у Тюрингії.

У 2015 році Швеція складувала понад 500 000 т токсичної золи виносу зі сміттєспалювальних заводів на невеликому острові Лангойя неподалік від м. Осло. Цей полігон для небезпечних відходів є єдиним в Скандинавії об'єктом, який може офіційно приймати летку золу. Компанія, яка керує операцією видалення на цьому острові, забезпечила безпечне зберігання золи виносу. Компанія додає золу винесення до цементного розчину, який потім закачує його в невикористовуваний вапняковий кар'єр, у якому утворюються шари затверділого бетону вже впродовж десяти років.

З 2020 року Швеція почала відправляти токсичну летку золу для складування у вироблених соляних шахтах Німеччини, де зола виносу змішується з солоною водою та осідає у вигляді нейтралізованої маси.

Для очищення леткої золи від токсичних сполук розроблено ряд технологій. Вилучення важких металів із золи - виносу здійснюють шляхом термічної деструкції діоксинів при 500°C при низькому вмісті кисню. В розчинах HCl при зменшенні розмірів частинок зольного залишку і pH 3...4 відбувається кислотна екстракція катіонів Cd, Zn та Cu. Плавлення зольного залишку в електричній дуговій печі при 800...1000°C в присутності сполуки сірки NaSO₄ і SiO₂ забезпечує утворення обсклованого шламу, що задовільняє сучасним вимогам безпеки при захороненні.

Найбільш екологічною технологією, яка застосовується на сучасних сміттєспалювальних заводах, є плазмова обробки шлакових відходів з під колосникових решіток та золи виносу. Під дією високих температур плазмового струменя (до 30000°C) зола та шлак сплавляються і перетворюється в слюдоподібну речовину. Перероблена таким чином зола екологічно безпечна і може безпечно використовуватися в будівництві у якості наповнювача.

Сучасні установки зі спалювання сміття повністю автоматизовані і вимагають мінімальної участі обслуговуючого персоналу. Сміттєспалювальні заводи займають порівняно невеликі площі (від 2 до 5 га). Суттєве підвищення

економічної ефективності роботи сміттєспалювальних заводів досягається при застосуванні системи когенерації - процесу спільного вироблення електричної і теплової енергії. На першому етапі отримана при спалюванні відходів тепла енергія утилізується шляхом виробництва пару для парової турбіни, яка обертає вал електричного генератора, що виробляє електроенергію. На другому етапі теплота пару, який відбирається на виході з парової турбіни, забезпечує опалення та підігрів води у комунальній сфері. При цьому коефіцієнт корисної дії сміттєспалювального заводу зростає з 10% до 30%. Відмова від використання теплової енергії від спалювання твердих побутових відходів для опалення дозволяє більш ефективно виробляти електроенергію та розміщувати сміттєспалювальні заводи на більшій відстані від населених пунктів. Системи перетворення відходів в енергію є більш затратним у створенні та експлуатації, ніж прості сміттєспалювальні установки, через потребу в спеціальному обладнанні, висококваліфікованому технічному персоналі та допоміжних паливних системах.

Прикладом реалізації сучасних досягнень у галузі відновлення відходів є сміттєспалювальний завод ITPOK Poznań у м. Познань (Польща), який був введений в експлуатацію у 2016 році (рис.14). На сміттєспалювальному заводі встановлене технологічне обладнання фірми Hitachi Zosen Inova (Швейцарія). Завод розміщується на площі 12 тис. м². Потужність заводу з двома котлоагрегатами складає 210 тис. т спалюваних відходів на рік. Завод виробляє у середньому 130 000 МВт·год електроенергії та 300000 ГДж тепла на рік. Близько 15% виробленої електроенергії використовується для заводських потреб, а решта передається в мережу. Всього на даному підприємстві працює 52 особи. При операційний персонал для обслуговування заводу складає лише 5 осіб на зміну. Загальна вартість будівництва заводу склала 220 млн. євро. Висока вартість створення такого підприємства у пов'язана зі складністю застосованої 4-ступеневої системи очистки газів, завдяки чому концентрація забруднюючих речовин у викидах в рази нижче встановлених санітарних норм. На димових трубах заводу встановлені вимірювальні станції з датчиками. Дані в онлайн - режимі передаються до природоохоронних органів, що дозволяє дистанційно контролювати рівень забруднення викидів.

Утворена зола спрямовується на захоронення у відпрацьовані соляні шахти. Шлак з сміттєспалювального заводу після стабілізаційної обробки підприємство реалізує для будівництва доріг. Вартість спалювання відходів для громади на цьому заводі складається з кількох компонентів - фіксована оплата на повернення кредитних коштів та сплату процентів, фіксована

оплата на покриття операційних витрат операторів та оплати за видалення шлаку та золи.



Рисунок 22 - Сміттєспалювальний завод ITPOK Poznań у м. Познань

Перевіреним варіантом видалення полімерних матеріалів та гуми, які було відсортовано з твердих побутових відходів, є їх спалювання у цементних печах з робочою температурою близько 1500°C . Спільна обробка в цементних печах таких відходів має ту перевагу, що реакції спікання клінкеру при 1450°C дозволяють повністю включити утворення золи та токсичних органічних сполук. Пряме заміщення первинного палива полімерними відходами в процесі виробництва цементу є більш ефективним варіантом відновлення енергії, ніж інші технології спалювання.

На цементному заводі в м. Миколаєв (Львівська обл.) передбачено використання "альтернативних палив" на двох печах із п'яти. На одній передбачено спалювати подрібнену суміш із відходів пластмаси, текстилю й паперу, на другій - шини. Згідно проектних розрахунків, продуктивність відновлення щорічно складатиме близько 12 тис. т. Це дозволить частково вирішити проблему переповнення сміттєзвалищ в регіоні та зменшити витрати природного газу в технологічному процесі, але вимагає проведення реконструкції спалюючих пристроїв цементних печей.

Медицинні відходи лікарень, які проводили лікування пацієнтів, заражених коронавірусною інфекцією COVID-19 в провінції Хубей (Центральний Китай), в рамках зусиль щодо стримування поширення цієї хвороби спалювали в цементних печах. Зібрані у герметичних мішках з лікарень м. Ухань, медичні відходи були продезінфіковані та подрібнені перед тим, як потрапити у цементну піч. Подрібнені відходи розігрівалися до газоподібного стану в

обертовій цементній печі при температурі близько 1400°C. Висока температура, активне лужне середовище і вихровий характер горіння дозволили запобігти утворенню діоксинів впродовж всього процесу утилізації медичних відходів.

Альтернативою традиційному спалюванню твердих побутових відходів за еколого-економічними параметрами є спалювання в киплячому шарі. Таку технологію спалювання здійснюють за рахунок створення двофазної псевдогомогенної системи «тверді частки - газ» шляхом перетворення шару відходів на псевдорідину під дією динамічного напору висхідного потоку газу, достатнього для підтримки твердих частинок у зваженому стані. Шар нагадує киплячу рідину, поведінка якої підпорядковується законам гідростатики. Створення турбулентного руху подрібнених твердих побутових відходів в камері спалювання забезпечується потоком підігрітого первинного повітря. Після розігрівання піску за допомогою газового пальника до 750...800°C починають подачу в киплячий шар відходів, де останні змішуються з піском і в процесі руху розігріваються. В результаті високої теплопровідності піску відходи починають інтенсивно горіти у всьому обсязі киплячого шару. Тепло, що виділяється при цьому, забезпечує підтримку піску в розжареному стані, що дозволяє після розігрівання працювати без підведення додаткового палива для забезпечення стабільного режиму горіння. Роль теплоносія в системах киплячого шару зазвичай виконує тонкозернистий пісок, частинки якого створюють більшу в порівнянні з традиційним спалюванням колосниковим поверхню нагріву. Щоб досягти повного згоряння летких компонентів, в зону високої турбулізації подають вторинне повітря, яке інтенсивно перемішується з горючими газами і сприяє їх повному допалюванню у розташованому вище реакційному просторі, в якому підтримується температура 850°C (час перебування газів у цій зоні становить 5 с).

Для спалювання твердих побутових відходів в стаціонарному киплячому шарі печі оснащують топкою, відділеною знизу газорозподільною решіткою, конструкція якої зазвичай передбачає можливість видалення шлаку. Замість колосників у печі знаходяться розподільні решітки з форсунками. До них під високим тиском подають дуттєве повітря, яке попередньо нагрівають до 300...350°C. Над форсунками є шар піску чи іншого подрібненого інертного матеріалу, який займає 1/3 обсягу простору печі. Дуттєве повітря, що надходить з форсунок, перемішується з частинками піску і переводить їх стан киплячого шару. Відсортовані та подрібнені фракції твердих побутових відходів завантажують у передню частину печі. Матеріал постійно циркулює у системі «піч - циклон»; по всій висоті печі підтримується рівномірна

температура 830-920°C. Шлак разом з частиною піску вивантажують знизу і піддають просіюванню з метою регенерації піску.

Продуктивність печей для спалювання твердих побутових відходів в киплячому шарі становить від 3 до 25 т/год.

Гази, що відходять, з печі направляють у циклон, де осаджують шлак. Час перебування газів, що відходять, у печі становить близько 4 с. Піч характеризується зниженим виходом шлаку і летючої золи і є екологічно найбільш чистим агрегатом з термічного обладнання даного профілю.

Апарати киплячого шару є достатньо надійними, оскільки не мають частин або механізмів, що рухаються. У зв'язку з нижчою на 50-100°C температурою спалювання твердих побутових відходів в киплячому шарі в порівнянні з шаровим спалюванням на колосникових решітках помітно знижується можливість утворення оксидів азоту за рахунок окислення азоту повітря, в результаті чого знижуються викиди NOx з газами, що відходять. Крім того, при спалюванні в киплячому шарі значно легше зв'язати кислі сполуки сірки та хлору шляхом добавки до топкового простору порошків сполук кальцію.

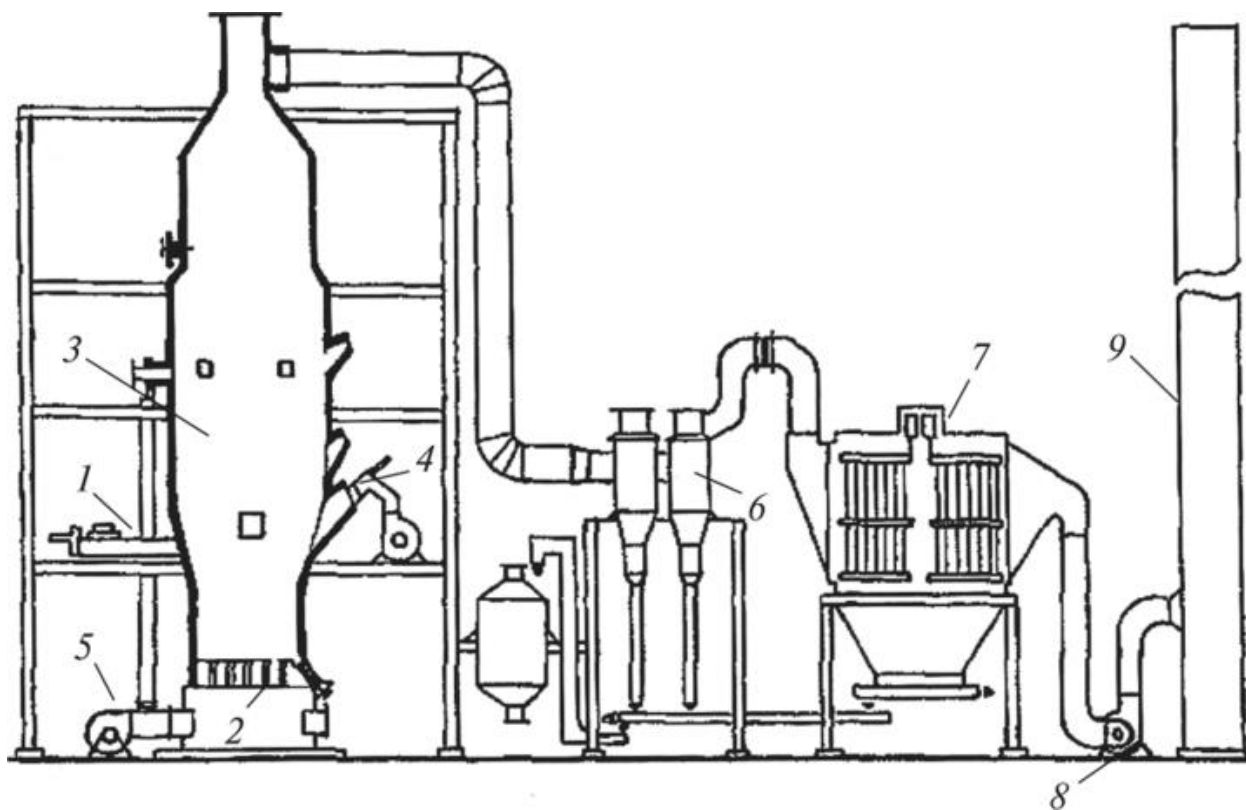


Рисунок 23 - Спалювання відходів у стаціонарному киплячому шарі:

1 - живильник відходів; 2 - решітка з отворами; 3 - камера спалювання; 4 - пальник; 5 - дутьовий вентилятор; 6 - циклон; 7 – електростатичний фільтр; 8 - димосос; 9 - труба

До середини 1990-х років цей метод набув незначного поширення (наприклад, в Японії частка спалювання в киплячому стані складало близько 25% твердих побутових відходів, що піддаються термічній переробці). Спалювання у киплячому шарі було розроблено, зокрема, для того, щоб частково виключити або мінімізувати дорогі процеси очищення з метою скорочення викидів шкідливих речовин, наприклад із використанням скрубєрів.

Необхідність забезпечення режиму псевдозрідження оброблюваного матеріалу накладає обмеження на гранулометричний і морфологічний склад оброблюємих відходів, а також на теплотворну здатність, у зв'язку з чим у ряді випадків процес спалювання в киплячому шарі виявляється більш дорогим, ніж шарове спалювання.

До переваг технології спалювання твердих побутових відходів в печах із киплячим шаром відноситься:

- порівняно чисті викиди димових газів і шлаку за рахунок вищої повноти спалювання твердих побутових відходів (практично відсутні хімічний та фізичний недопали), що забезпечує позитивний екологічний ефект;
- повне використання потенційної енергії твердих побутових відходів.

Спалювання у печах з киплячим шаром застосовується особливо для термічної обробки горючих відходів, які непридатні для інших видів обробки (наприклад, відходи розміром менше 30 мм, мул очисних споруд). Спосіб спалювання твердих побутових відходів у порівнянні з шаровим спалюванням на колосникових решітках характеризується вищими енерговитратами та витратами на закупівлю інертного матеріалу. Крім цього, до фракційного складу твердих побутових відходів висуваються жорсткі вимоги, що вимагає застосування процеси їх глибокого сортування.

2.3.Очищення димових газів сміттєспалювальних заводів

Системи очищення димових газів для сміттєспалювальних установок призначені для видалення двох класів забруднюючих речовин: твердих часток і кислотних газів. Димові гази сміттєспалювальних установок відрізняються від димових газів енергетичних установок підвищеним вмістом водяного пару (від 10 до 20 %), що обумовлено значною вологістю побутових відходів.

Закис азоту N_2O характеризується потужним парниковим ефектом. Кислотні гази - це складові димових газів, які при поєднанні з водяною парою утворюють кислоти. Кислі гази включають NO_x , SO_x , HCl , бромистий водень, фтористий водень і йодистий водень. HCl і SO_2 часто присутні в неконтрольованих потоках димових газів у значних концентраціях. Соляна HCl , сірчана H_2SO_4 та

плавикова HF кислоти, які утворюються при спалюванні відходів, ініціюють корозійні процеси на металевих низькотемпературних поверхнях. Тому ефективно використання димових газів від сміттєспалювального котлоагрегату для підігріву повітря за допомогою конвективних повітропідігрівників має ускладнення.

Легкоплавкі важкі метали мідь, кадмій та ртуть, які входять до складу побутових відходів, в процесі спалювання у пароподібному стані входять до складу димових газів, де абсорбуються на поверхні частинок золи виносу. Ці хімічні елементи мають здатність накопичуватися в живих організмах і можуть приводити до змін в роботі імунної та репродуктивної систем, порушення гормонального обміну. Вони слабо розщеплюються і накопичуються як у організмі людини, і у біосфері планети, включаючи повітря, воду, їжу.

До складу димових газів також входять ароматичні вуглеводні та їх хлоровані похідні, феноли та хлорфеноли, бром- та азот- заміщені речовини, поліхлордібензофурани, поліхлор-дібензодіоксини. Останні формують групу діоксинів - високотоксичних з'єднань, які мають потужну мутагенну, імунодепресантну, канцерогенну та ембріотоксичну дію. Діоксини (поліхлоровані дибензо-п-діоксини, або ПХДД) і фурани (поліхлоровані дибензофурани, або ПХДФ) - це дві групи хімічних речовин зі схожою хімічною структурою, кожна з яких відрізняється кількістю і положенням атомів хлору, приєднаних до діоксинового або фуранового лацюга. Існує 75 різних діоксинів і 135 різних фуранів. Кількість і розташування їхніх атомів хлору також визначає їхні фізичні, хімічні та токсикологічні властивості. Діоксини є кристалічними сполуками з температурою плавлення в інтервалі 200...400°C, які добре розчиняються в органічних розчинниках, жирах, гумінових кислотах. Діоксини характеризуються низькою розчинністю у воді, низькою об'ємною масою, а також низькою летючістю, вони легко абсорбуються на поверхні твердих частинок і дуже повільно розкладаються. Внаслідок цих характеристик діоксини містяться переважно в ґрунті, мулі та відкладеннях. Найважливішим шляхом потрапляння діоксинів в організм людини є споживання їжі, на яке припадає понад 90% загального впливу, з яких з яких на продукти рибного та іншого тваринного походження припадає близько 80%. Також вони потрапляють в організм людини через їжу, вдихання та проникнення через шкіру. Діоксини, потрапляючи в живі організми по харчовому ланцюжку, з плином часу накопичуються в м'ясних і рибних продуктах, у молоці, а звідти переходять до жирових тканин людини. Наявність діоксинів в живих організмах веде до порушень метаболічних процесів та роботи генетичного апарату. Діоксини, переходячи в воду і ґрунт, утворюють комплекси з органічними речовинами. Маючи високі адгезійні властивості,

вони концентруються на поверхні частинок ґрунту, мулових осадів у водоймах, переносяться з пилом у повітрі. В країнах ЄС встановлена гранично-допустима концентрація діоксинів в атмосферному повітрі для на рівні $0,1 \text{ нг/м}^3$, що свідчить про їх надзвичайно велику токсичність і складність точного визначення концентрації на такому рівні. Період розкладу діоксинів у ґрунті та воді складає від 10 до 20 років.

У всьому світі сміттєспалювальні заводи є одним із головних джерел викидів діоксинів і фуранів (Стокгольмська конвенція 2017 р.). Результати числених наукових досліджень свідчать, що ґрунти і рослинність на околицях сміттєспалювальних заводів накопичують діоксини і важкі метали у кількостях, що значно перевищують фонові рівні. Новітні дослідження свідчать, що громадяни європейських країн, що живуть по сусідству із сміттєспалювальними заводами, знаходиться в зоні ризику навіть у випадку надсучасних установок та жорсткої системи контролю та штрафів за забруднення довкілля. Однак кількісно на сміттєспалювальних заводах утворюється значно менше діоксинів, ніж при неконтрольованих пожежах на звалищах.

Інтенсивне утворення діоксинів відбувається за присутності у твердих побутових відходах хлор-, бром- та фтор - вміщуючих органічних сполук, наприклад, полівінілхлориду. Кількість діоксинів, які утворюються в процесі спалювання твердих побутових відходів, залежить від температури спалювання, а також від присутності у складі відходів з'єднань міді, які виконують роль каталізаторів у процесах синтезу діоксинів. До продуктів неповного згорання відходів входять токсичні оксиди азоту та чадний газ.

Для утворення діоксинів необхідне поєднання трьох умов: наявність органічного вуглецю, наявність хлорорганічних сполук і нагрівання до температури вище 450°C . При нагріванні хлор-і бромвмісних органічних речовин діоксини утворюються в інтервалі температур $500\text{-}1200^\circ\text{C}$, причому максимум їхнього утворення припадає на $600\text{-}800^\circ\text{C}$. Із загальної кількості хлору, що є у твердих побутових відходах, близько 50% міститься у пластмасових виробах, до 25% у целюлозно-паперовій продукції, а також у гумі.

При спалюванні одного кілограма відходів, що містять хлорвмісний пластик, виділяється близько 40 мкг діоксинів. Діоксини характеризуються високою термостійкістю. Головним недоліком більшості застарілих сміттєспалювальних заводів є невеликий відрізок часу, який відводиться для спалювання побутових відходів. При спалюванні твердих побутових відходів з температурою в зоні горіння нижчою 800°C імовірність утворення високотоксичних газів зростає. Реакція розкладання діоксинів має відбуватися

швидше, ніж їх утворення при високих температурах. Температура газоподібних продуктів згорання відходів має досягати 850°C з мінімальним часом утримання при цій температурі 2 секунди (Директива Європейської комісії, 2018). При повільному охолодженні в продуктах допалювання за температури 275...450°C диоксини утворюються знову. Щоб уникнути збереження діоксинів і фуранів, димові гази необхідно прискорено охолоджувати.

Встановлено два основних механізми утворення діоксинів і фуранів при термічній переробці твердих побутових відходів:

- первинне утворення в процесі спалювання відходів при температурі 300 - 600°C;

- вторинне утворення при температурі 250 - 450°C на стадії охолодження димових газів, що містять HCl, сполуки міді та частки золи, на поверхні яких відбулася реакція гетерогенного оксихлорування вуглецьвміщуючих складових.

Європейська директива від 4.12.2000 р. №2000/76/ЄС вимагає проведення обов'язкового допалювання утворених продуктів згорання відходів. Для руйнування молекул диоксинів застосовують додаткове допалювання продуктів згорання в спеціальній високотемпературній камері. Утворені димові гази для руйнування діоксинових молекул повинні не менше 2 секунд знаходитися у перегрітому стані при температурі вище 1100°C і швидко охолоджуватись. З іншої сторони, ці умови сприяють небажаному утворенню оксидів азоту NOx. Щоб мінімізувати утворення NOx, піч повинна працювати в досить вузьких діапазонах температур і при надлишку кисню (9-12%) з турбулентними умовами змішування продуктів згорання. Найвищі викиди діоксинів та фуранів відбуваються в період перехідних етапів, коли сміттєспалювальні установки розпалюються чи вимикаються і відбувається нестабільне горіння.

Легкоплавкі важкі метали мідь, кадмій та ртуть, які входять до складу побутових відходів, в процесі спалювання у пароподібному стані входять до складу димових газів, де абсорбуються на поверхні зольних частинок. Ці хімічні елементи також мають здатність до накопичення в живих організмах і можуть приводити до змін роботи імунної та репродуктивної систем, порушення гормонального обміну.

Реалізація сучасних технологічних процесів спалювання відходів та очищення димових газів дозволяє на 90% скоротити викиди діоксинів. Біомоніторинг - це систематичне вимірювання речовин у довкіллі для оцінки їх потенційного небезпечного впливу. Біомоніторинг вимірює присутність

хімічних речовин у живих організмах та продуктах живих організмів, таких як вівці, вовна, дощові черв'яки, яйця домашніх курей, хвоя, грудне молоко

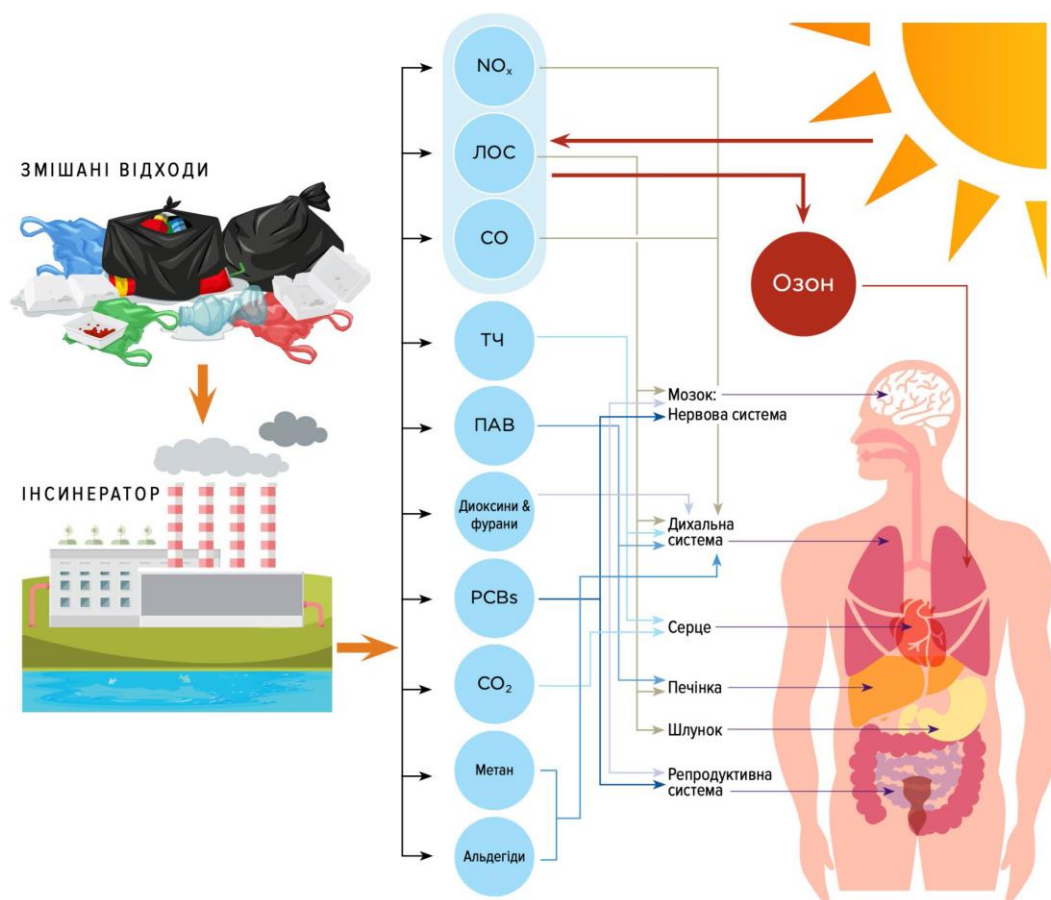


Рисунок 24 - Токсичний вплив продуктів сміттєспалювання на організм людини

Куряче яйце є ідеальним біомаркером, оскільки воно знаходиться всередині природної харчової системи. Курка на вільному виході має постійний контакт із довкіллям, їсть комах, равликів, дощових черв'яків, збирає насіння, траву, тощо. Якщо довкілля забруднене діоксинами, то курка їх поглине при харчуванні. Курині яйця виступає точним індикатором накопичення діоксинів у довкіллі. У 2013 році були виявлені високі концентрації діоксинів і фуранів в яйцях курей, які утримувалися біля сміттєспалювального заводу Reststoff Energie Centrale, незважаючи на те, що завод оснащений передовими технологіями контролю викидів і суворими обмеженнями викидів. Пізніше було виявлено, що наднормативні викиди діоксину утворюються на перехідних етапах роботи підприємства, наприклад, під час запуску та очищення. Під час операцій холодного запуску (тобто повільного підвищення температури в печі від кімнатної температури до температури горіння) діоксини можуть утворюватися шляхом синтезу в інтервалі температурному інтервалі від 250°C до 450°C, коли присутня достатня кількість неорганічного хлориду.

Таблиця 10

Забруднювачі, які утворюються при сміттєспалюванні, та їх вплив на здоров'я людини

Речовина – забруднювач	Джерела утворення	Властивості забруднювача	Вплив на здоров'я
Діоксини та фурани	Спалювання пластику, деревини, вугілля та нафти	Високотоксичні, потужні канцерогени.	Смертність, пов'язана з раком; неврологічні пошкодження; дефекти росту; пошкодження ДНК; порушення роботи репродуктивної та імунної систем
Оксиди азоту NO _x	Харчові відходи; утворюється внаслідок реакції відходів, що містять азот, з киснем у повітрі	Головне джерело смогу, імлі, кислотних дощів і твердих частинок; під дією сонячного світла утворює озон через реакції з іншими забруднювачами	Зростання кількості респіраторних захворювань; проблеми з диханням, головні болі, хронічне зниження легеневої функції, подразнення очей, втрата апетиту
Оксид і диоксид сірки	Шини та гіпсокартон; є результатом спалювання матеріалів, що містять сірку	Отруйні гази з різким запахом; основний чинник кислотних дощів	Можуть пошкодити легеневу тканину; подразнюють шкіру, очі, ніс, горло та легені
Ртуть	Відходи, що містять ртуть, електроніка, батарейки тощо	Здатен до біонакопичення, особливо в морському харчовому ланцюгу	Пошкодження нервової, травної та імунної систем, а також мозку, легень, нирок, шкіри та очей; вплив може призвести до неврологічних і поведінкових розладів
Свинець	Відходи, що містять свинець; фарба, іграшки, меблі, кераміка тощо.	Впливає практично на всі системи органів у людей і тварин. Немає безпечного рівня впливу свинцю	Вплив на серцево-судинну систему; зниження функції нирок; репродуктивні проблеми; нейротоксин; особливо небезпечний для дітей і вагітних жінок
Синтетичні фторорганічні сполуки	Водовідштовхувальні тканини, антипригарні вироби (наприклад, тефлон), поліролі, віск, фарби, засоби для чищення тощо	Дуже стійкі в довкіллі та організмі людини	Зростання рівня холестерину; вплив на вагу новонароджених; пошкодження імунної системи, порушення у функціонуванні гормонів щитовидної залози

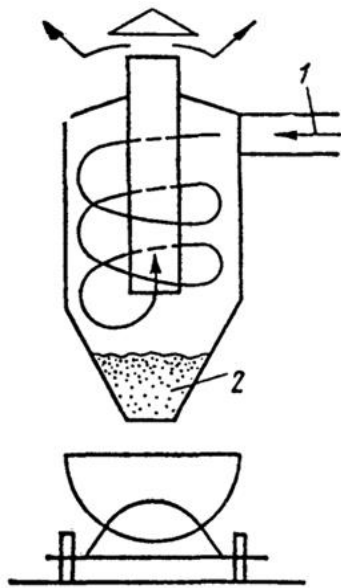
Стандартна температура горіння на сучасному сміттєспалювальному заводі в Упсалі (Швеція) складає 1200 °С. В таких умовах, у поєднанні з якісним фільтруванням викидів, шкідливі речовини в атмосферу практично не потрапляють. При падінні температури продуктів згорання протягом 2 секунд нижче 850 °С - система безпеки топки автоматично призупиняє спалювання відходів.

З метою обмеження обсягу забруднення повітря, в державах ЄС визначено вимоги щодо забезпечення сміттєспалювальних підприємств відповідними газоочисними системами. Вартість очисних пристроїв складає 30...50% від вартості сміттєспалювальної установки і є найдорожчою частиною сміттєспалювальних заводів. Вони включають до свого складу: електростатичний та багатокасетний матерчаті фільтри, циклони, розприскувач води, скрубери для поглинання кислотних газоподібних речовин, реактор з очищенням активованим вугіллям.

Для попереднього сухого знепилювання продуктів згорання застосовують вихрові елементи, який утворені одним або кількома циклонами. Циклони належать до пиловловлювачів інерційного типу і призначені для вловлення пилу крупністю понад 10 мкм. Потік запилених продуктів згорання газу вводиться по дотичній у верхню частину апарату через вхідний патрубок і рухається по гвинтовій лінії зверху вниз (рис.25а). Частинки пилу під дією відцентрових сил притискаються до внутрішніх стінок циклона і під дією газового потоку та сили ваги рухаються по спіралі вниз, де розвантажуються через спеціальну насадку у конічній частині циклону в бункер для збору пилу. Очищене від пилу повітря видаляється через осьовий патрубок у верхній частині циклона. Частки пилу під дією вихрового потоку контактують зі стінками корпусу, рухаються до вихідного отвору корпусу та виводяться з циклону в нижній частині. До переваг циклонів відноситься простота конструкцію і порівняно не висока вартість.

Для очищення димових газів від золи виносу з розмірами часток до 0,1 мкм використовують електростатичні фільтри, які забезпечують ступінь очищення до 96...98%. Електростатичне очищення димових газів засноване на притягуванні до електродів протилежно заряджених частинок (рис.26). Процес електроосадження проводиться у наступній послідовності:

- електростатичне зарядження часток, завислих у димових газах;
- рух заряджених часток до електродів;
- осадження часток на електродах;
- видалення осаджених часток з поверхні електроду.



а)



б)

Рисунок 25 - Конструкція циклона (а) та зовнішній вигляд циклонної установки (б): 1 - запилені продукти згорання; 2 - зібраний пил

До електродів, закріплених на ізоляторах підводиться постійний електричний струм напругою 30...60 кВ. Коронний розряд, який створюється постійним струмом високої напруги у просторі біля негативно зарядженого електрода (на рисунку ця група електродів виділена синім кольором), іонізує частинки пилу, що знаходяться в димових газах. Це змушує їх рухатися до позитивно заряджених електродів (виділені червоним кольором) та осаджуватися на них. При контакті з осаджувальними електродами, частинки пилу віддають йому свій заряд і осипаються з електрода під дією власної ваги або після проведення вібраційного струшування. Ефективність сепарації визначається напруженістю електричного поля та діелектричними властивостями часток пилу. Оскільки електростатичні фільтри не мають рухомих деталей, вони характеризуються високою надійністю у роботі. Однак, при високій електропровідності частинок пилу фільтрація димових газів електростатичним способом ускладнюється.

До переваг електростатичних фільтрів відноситься:

- високий ступінь очищення, що досягає 99 %;
- невисокий газодинамічний опір апарату;
- низькі енергетичні витрати на вловлювання часток з димових газів;
- можливість очистки димових газів з температурою до 500 °С;
- можливість роботи в умовах впливу різних агресивних середовищ;
- висока продуктивність очищення.

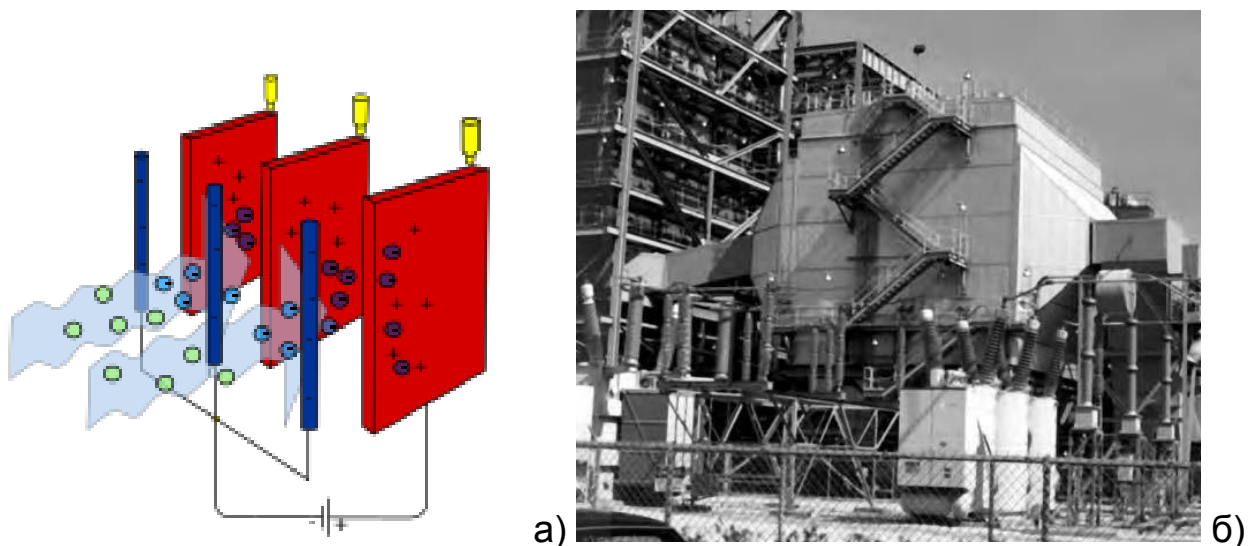


Рисунок 26 - Схема електростатичного фільтру а) та зовнішній вигляд б) установки очищення димових газів

Сучасні системи очищення димових газів від печей для спалювання твердих побутових відходів додатково обладнуються тканинними рукавними фільтруючими пиловловлювачами, принцип дії яких ґрунтується на відділенні дисперсних дрібних часток золи винесення (рис.27). Осадження часток пилу на волокнах на внутрішній поверхні тканинного фільтру відбувається при їх зіткненні з елементами фільтруючого шару при русі часток у потоці газу. З поверхні тканинних фільтрів осілі частки пилу періодично струшують за допомогою спеціальних механізмів. В якості фільтруючого матеріалу в таких пиловловлювачах переважно застосовують склотканини, які є стійкими до дії високих температур ($200\ldots300^{\circ}\text{C}$) і агресивних компонентів продуктів згорання.

Абсорбери розпилювальної сушарки та системи вдування сухого порошку вапна використовуються для зв'язування і видалення кислотних складових димових газів - HCl і SO_2 . Подача в газохід перед останнім тканинним фільтром сухого порошку активованого вугілля забезпечує більш повне видалення слідів діоксину, фурану та ртуті.

Значне поширення на сміттєспалювальних підприємствах знайшли скрубери (англ. *scrubber*, від англ. *scrub* - «шкребити», «чистити») - пиловловлювачі мокрого очищення продуктів згорання від дрібнодисперсного хімічно активного пилу з розміром часток $0,3\ldots1,0$ мкм (рис.28). Робота скруберів заснована на зрошуванні продуктів згорання рідкими хімічними реагентами. Продукти згорання промиваються водою або іншим робочим розчином, при цьому в процесі змішування і взаємодії відбувається їх очищення.

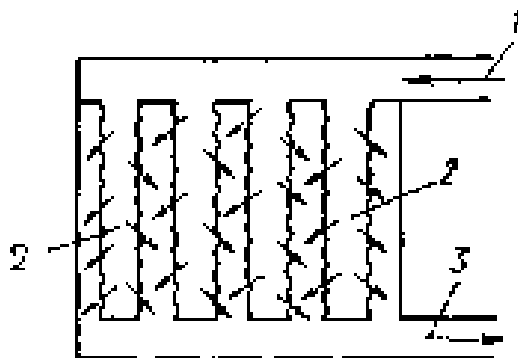
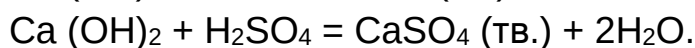
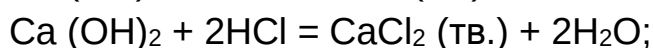
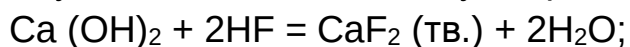


Рисунок 27 - Схема тканинного рукавного фільтра: 1 – подача забруднених продуктів згорання; 2-рукава з фільтруючої тканини; 3-вихід очищених продуктів згорання

В пиловловлювачах мокрого очищення, одночасно з пиловловлюванням, проходять процеси тепло- й масообміну. Пропускання димових газів через системи мокрого очищення забезпечують їх прискорене охолодження за рахунок випаровування води. Пиловловлювачі мокрого очищення працюють за принципом осідання частинок пилу на поверхні крапель промиваючої рідини. Для нейтралізації кислих димових газів в скруберах проводиться обробка такими реагентами, як розчини гашеного вапна, бікарбонату натрію або гідроксиду натрію. Важливою умовою якісного очищення продуктів згорання у мокрих пиловловлювачах є змочуваність частинок пилу рідиною. Стічні води від скрубєрів у реакторі нейтралізують вапном, обробляють коагулянтном у вигляді хлориду заліза (III) та сульфідом натрію для ефективного зв'язування важких металів.

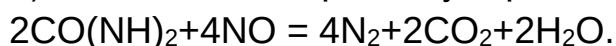
Системи очищення димових газів в скруберах включають:

1) подача вапнякового молока. При цьому відбуватимуться реакції зв'язування токсичних газів у тверді нерозчинні солі:



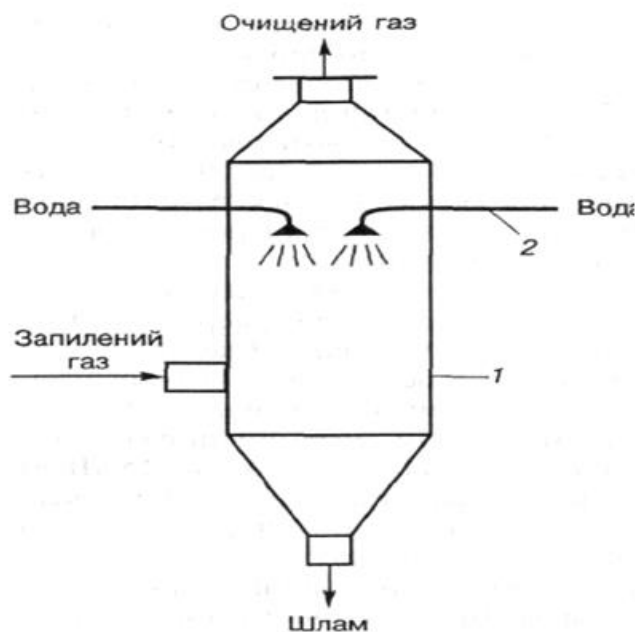
У ролі каталізатора цих реакцій і адсорбента токсичних речовин (СО, діоксинів, фуранів) виступають добавки активованого вугілля.

2) подача 40 %-го розчину карбаміду для зниження вмісту монооксиду азоту:



На стадії очистки димових газів формується рідкий соляний розчин, в якому зв'язується значна частина шкідливих речовин, що містяться у відходах (в основному важкі метали). Стічні води після скрубєрів проходять нейтралізацію, осадження і випаровування на станціях очистки води з утворенням осаду солей. Відділений шлам відправляють на подальше

відновлення чи захоронення. З'єднання сірки, які утворюються на стадії очищення продуктів згорання, можуть використовуватися як сировина для виробництва гіпсу.



а)



б)

Рисунок 28 - Конструкція форсункового скрубера б) та зовнішній вигляд скруберної установки для очищення продуктів згорання б): 1-корпус скрубера; 2- форсунки

До головних переваг апаратів мокрої очистки газів у скруберах відноситься:

- простота конструкції і відносно невелика вартість;
- менші габарити у порівнянні з тканинними фільтрами та електростатичними фільтрами;
- можливість використання для очистки розжарених та вологих газів;
- надійність та довготривале використання, що обумовлені відсутністю рухомих вузлів.

До недоліків застосування мокрої скруберної очистки відносять:

- відходи, які утворені при очищенні продуктів згорання, знаходяться у рідкому стані, і необхідно застосування додаткових пристроїв для очищення стічних вод;
- відділена зола знаходиться у вигляді шламу, що вимагає застосування додаткових операцій просушування.

На сучасних сміттєспалювальних заводах знаходить поширення система очистки продуктів згорання шляхом сухої очистки у скруберах. Типовими нейтралізуючими агентами є порошки негашеного вапна CaO або гашеного вапна Ca(OH)_2 , які розпорошуються у потоці гарячих продуктів згорання.

2.4.Сміттєспалювальний завод «Енергія» (м.Київ)

У 80-х роках минулого століття на Україні експлуатувалося 4 сміттєспалювальні заводи першого покоління (Київ, Харків, Сімферополь та Дніпропетровськ). Складність експлуатації даних заводів полягала в тому, що багаторічний зарубіжний досвід, вимагав значних коректив в українських умовах. Українські тверді побутові відходи через відсутність сортування за багатьма показниками істотно відрізнялися від тих, які збиралися у більшості розвинутих країн світу. Ці заводи були обладнані недосконалими системами газоочистки і їх конструкція не дозволяла ефективно використовувати вироблене тепло. Близькість житлових помешкань до сміттєспалювальних заводів, недостатньо ефективні системи очищення димових газів та відсутність попереднього сортування сміття викликало забруднення повітря високотоксичними і канцерогенними речовинами, що супроводжувалося підвищеним рівнем онкологічних захворювань у населення. Мешканці з прилеглих до сміттєспалювальних заводів територій скаржилися на розповсюдження неприємних запахів, кіптяви та диму. Проблеми виникали також з утилізацією та захороненням золи і шлаків сміттєспалювального виробництва. В даний час всі ці заводи повністю морально застаріли, а їх робота не відповідає сучасним вимогам по екологічним показникам.

На сьогодні в Україні постійно працює лише київський сміттєспалювальний завод «Енергія». Будівництво цього заводу було розпочато у 1983 році, а у грудні 1987 року на ньому було розпочато спалювання твердих побутових відходів. Найближчі споруди від цього підприємства розташовані на відстані за 800 метрів. Завод «Енергія» працює в цілодобовому режимі. Загальна площа території заводу з урахуванням під'їзних доріг становить 7,75 га. Відстань до найближчої житлової забудови – 1200 м. Максимальна проектна потужність заводу становить 350,0 тис. т на рік, яка розрахована для умови спалювання відходів з калорійністю 10000 кДж/кг. Фактична потужність заводу становить 240 тис. т твердих побутових відходів на рік. Кожної доби завод приймає і спалює 700...800 тон не сортованих твердих побутових відходів. В головному корпусі заводу встановлено 4 сміттєспалювальні котлоагрегати виробництва ЧКД ДУКЛА (Чехія). Для стабілізації процесу спалювання відходів передбачена система пальників природного газу.

На сьогодні завод спалює до 25 % несортованих твердих побутових відходів, що утворюються в м. Києві. Завдяки роботі цього заводу, частина житлового масиву Позняки забезпечується опаленням та гарячою водою (6-7 тис. Гкал тепла), виробленими з альтернативного джерела енергії.



Рисунок 29 - Сміттєспалювальний завод «Енергія», м. Київ.

На сміттєспалювальному заводі «Енергія» проводиться вхідний радіаційний контроль поступаючих відходів і, у разі виявлення радіаційних відходів, лунає сирена. Розвантаження автомобілів – смітєвозів проводиться в присутності приймальників відходів, які не допускають попадання на спалювання неприйнятних видів відходів, наприклад, автошин, будівельних відходів, відходів з матеріалів, що містять хлор. З поступаючих твердих побутових відходів магнітними сепараторами вилучається металобрухт, а решта спалюється за рахунок додавання природного газу за температури понад 800°C. Дрібні токсичні предмети (батарейки чи термометри) не відсортовуються і можуть безперешкодно потрапляти в топку котлоагрегата.

На даний час на заводі «Енергія» застосовується лише один ступінь очистки димових газів за допомогою встановлених електрофільтрів, після цього через димову трубу висотою 120 м вони викидаються у повітря. Зібрана зола винесення змішується з водою та шлаком і вивозиться на сміттєзвалище.

Сміттєспалювальний завод «Енергія» за рік викидає в атмосферу більше 4 тис. т. шкідливих речовин. Загалом, ця кількість викидів значно менша, ніж у типової теплової електростанції, яка працює в Україні. З 1 т твердих побутових відходів утворюється 350 кг шлаку (четверта категорія токсичності - малотоксична речовина) і 40 кг золи винесення (друга категорія токсичності - високотоксична речовина). Спеціальних заходів для ізоляції цих речовин від інших відходів та від навколишнього середовища не застосовується.

У майбутньому на сміттєспалювальному заводі «Енергія» планується встановлення більш ефективної системи очищення димових газів, що, за розрахунками, дозволить підприємству відповідати за показниками атмосферних викидів європейським нормам. Проектом також передбачається встановлення турбіни потужністю до 4 МВт, що дозволить генерувати 14 млн. кВт·год електроенергії.



Рисунок 30 - Загальний вигляд заводу «Енергія» з боку проспекту Бажана. На передньому плані – озеро Вирлиця

Плани будівництва нових сміттєспалювальних заводів в Україні викликають запеклі протести громадськості. Спорудження таких заводів повинне було розпочатися ще в 2009 році, коли шведська компанія «Екоенерджі» увійшла на український ринок для будівництва підприємств, що виробляють енергію з твердих побутових відходів. Місцеві мешканці були впевнені, що спалювання сміття стане сильним забруднювачем навколишнього середовища, та почали організовувати масові протестні акції. Таку небезпеку пов'язували з тим, що проекти не передбачали проведення попереднього сортування твердих побутових відходів. Зважаючи на протести населення, будівництво сміттєспалювальних заводів на Україні, яке раніше здавалося перспективним напрямком, було відкладено.

2.5. Поводження з медичними відходами

Медичні відходи є видом небезпечних відходів і включають відходи від проведення лікування захворювань людей і тварин. Цей тип відходів зазвичай складається з ліків, гострих предметів, бинтів, хімічних речовин, фармацевтичних препаратів, рідин організму та частин тіла (від ампутацій та операцій). Специфічні медичні та ветеринарні відходи (відходи інфекційних відділень, анатомічні та патологічні відходи, фармацевтичні препарати з закінченим терміном використання, радіоактивні матеріали, гострі предмети) є можливими чинниками забруднення навколишнього середовища і поширення інфекційних захворювань серед населення. У міжнародній практиці медичні відходи лікарень, поліклінік та інших медичних закладів виділені в окрему групу і за Базельською конвенцією (1998 р.) визначаються як небезпечні. Всесвітня організація охорони здоров'я рекомендує створення спеціальної системи їх збирання та перероблення.

До небезпечних медичних відходів відносяться: використані перев'язувальні матеріали, одноразові шприци і системи, рукавички, халати, рентгенівські плівки, інфіковані відходи харчоблоків, заражена кров, шматки шкіри, видалені органи, прострочені, фальсифіковані і конфісковані лікарські препарати тощо, що утворюються у лікарнях, диспансерах, ветлікарнях, аптеках, оздоровчих і санітарно-профілактичних установах, судово-медичних лабораторіях, на станціях швидкої допомоги і переливання крові, медичних навчальних закладах тощо.

Медичні відходи можуть бути інфекційними переносниками бактерій та потенційно шкідливих мікроорганізмів, мати токсичні або радіоактивні властивості. При відсутності належного поводження медичні відходи стають поширювачами захворювань. Відповідно, медичні відходи потребують спеціальної обробки для знищення або нейтралізації мікроорганізмів, наприклад, шляхом спалювання або високотемпературної обробки.

Відповідно до наказу №325 Міністерства охорони здоров'я України «Про затвердження Державної санітарно-протиепідемічних правил і стандартів в галузі охорони здоров'я, поводження з відходами» від 8.06.2015 р. (у редакції наказу Міністерства охорони здоров'я України від 06 вересня 2022 року № 1602) медичні відходи поділяються на наступні чотири категорії:

- категорія А - епідеміологічно безпечні медичні відходи;
- категорія В - епідеміологічно небезпечні медичні відходи;
- категорія С - токсично небезпечні медичні відходи;
- категорія D - радіологічно небезпечні медичні відходи.

До відходів категорії А належать: харчові відходи; відходи, що не мали контакту з біологічними рідинами; первинна упаковка лікарських засобів; побутові відходи (тверді, великогабаритні, ремонтні) всіх відділень медичного закладу, які не мали контакту з біологічними рідинами; великогабаритні побутові відходи, що мали контакт з біологічними рідинами, після проведених очищення і дезінфекції шляхом протирання поверхонь.

До відходів категорії В належать забруднені або потенційно забруднені інфекційними агентами відходи. Категорія В - це найбільша група медичних відходів, до яких відносяться будь-які відходи, які мали контакт із біологічними рідинами. До цієї категорії включають відходи, які залишаються під час та після догляду за пацієнтами з COVID-19. Відходи категорії В поділяють на небезпечно гострі та інші. Небезпечно гострі - це голки, пір'я, леза, засоби індивідуального захисту, медичні вироби або розхідні матеріали забруднені кров'ю та іншими біологічними рідинами.

До відходів категорії С, що можуть становити загрозу хімічного характеру, належать: лікарські, діагностичні, дезінфекційні засоби; елементи живлення, предмети, що містять ртуть, прилади і обладнання, що містять важкі метали; відходи, що утворилися в результаті експлуатації обладнання, транспорту, систем освітлення тощо. Відходи категорії С збирають у марковані ємкості з кришками, які щільно прилягають, та зберігають у спеціально виділених приміщеннях. Медичні відходи категорії С передають до спеціалізованих підприємств, що мають ліцензію на здійснення операцій у сфері поводження з небезпечними відходами.

Близько 80 % загального потоку медичних відходів мають мінімальний ризик, який можна порівняти з ризиками, пов'язаними з твердими побутовими відходами. Ця група відходів здебільшого походить від виконання адміністративних і господарських функцій в закладах охорони здоров'я.

Частина загального потоку медичних відходів (приблизно 15 %) за характеристиками відноситься до групи небезпечних. До них відносяться:

1. Інфекційні відходи, які є частиною відходів догляду і можуть містити збудники у вигляді бактерій, вірусів та інших мікроорганізмів в концентрації, достатній щоб викликати захворювання у іншої людини. Неправильне поводження з інфекційними відходами створює загрозу інфікування та передачі таких захворювань, як гепатит і синдром набутого імунodefіциту (СНІД). Інфекційні відходи можуть містити:

- культури та збудники інфекцій з лабораторних досліджень;
- відходи операцій і розтинів хворих на інфекційні захворювання (наприклад, тканини та матеріали, які контактували з кров'ю чи іншими рідинами організму.)

- відходи інфікованих пацієнтів в ізоляторах (наприклад, екскременти, пов'язки з інфікованих або хірургічних ран, одяг, сильно забруднений людською кров'ю або іншими рідинами організму);
- відходи, які контактували з інфікованими пацієнтами, які проходять діаліз (наприклад, обладнання для діалізу, таке як трубки, фільтри, одноразові рушники, халати, фартухи, рукавички та лабораторні халати);
- інструменти чи матеріали, які контактували з інфікованими людьми або тваринами;
- гострі предмети, які могли використовуватися для лікування інфікованих осіб.

У разі неправильного поводження з інфекційними медичними відходами може відбуватися передача захворювань працівникам, які фізично мають справу з матеріалом.

2. Патологічні відходи: патологічні відходи складаються з тканин, органів, частин тіла, людських плодів, трупів тварин, крові та рідин.

3. Гострі предмети, які можуть завдати порізів або проколів шкіри людині, яка торкається або контактує з цим предметом. Це може включати голки, голки для підшкірних ін'єкцій, скальпелі та інші леза, набори для інфузій, пилки, бите скло та цвяхи.

4. Прострочені, невикористані, розлиті та забруднені фармацевтичні продукти, ліки, вакцини, які більше не потрібні та потребують належного видалення. Ця категорія також включає предмети, які використовуються під час роботи з фармацевтичними препаратами, такі як пляшки та коробки із залишками, рукавички, маски, сполучні трубки та флакони з ліками.

2. Генотоксичні відходи, які можуть мати мутагенні, тератогенні або канцерогенні властивості. Прикладом цього типу відходів є цитотоксичні препарати, які мають здатність вбивати або зупиняти ріст живих клітин і часто використовуються в хіміотерапії раку.

3. Хімічні відходи, які можуть складатися з викинутих твердих, рідких або газоподібних хімікатів, які використовуються для діагностики, для прибирання та дезінфекції. До хімічних речовин, які зазвичай використовуються в медичних установах, відносяться формальдегід, фотохімічні речовини, розчинники та інші хімікати.

4. Відходи з високим вмістом важких металів: ці матеріали можуть бути надзвичайно токсичними, як у випадку з відходами з високим вмістом ртуті.

5. Контейнери під тиском для зберігання газів (циліндри, картриджі, аерозольні балончики). Ці контейнери можуть вибухнути, якщо на них діє полум'я або відбувається розгерметизація під час поводження.

6. Радіоактивні відходи.

Небезпечні речовини, що містяться у медичних відходах, негативно впливають на довкілля та здоров'я людей, оскільки:

- накопичуються у ґрунті, водних об'єктах у великих концентраціях, що призводить до порушення природної екосистеми;
- навіть у низьких концентраціях вони створюють стійкий негативний вплив на навколишнє середовище (особливо на водну фауну);
- призводять до поширення тяжких інфекційних захворювань (СНІД, вірусний гепатит, менінгіт, черевний тиф, сказ тощо);
- у контакті з іншими фармацевтичними відходами та речовинами, що переважно є біологічно активними синтетичними сполуками, потенційно створюють синергетичний та кумулятивний ефект;
- потрапляння у навколишнє середовище фармацевтичних відходів з фізіологічно активною дією (цитотоксичні препарати, антибіотики, препарати з гормональною, психотропною й наркотичною дією тощо) негативно впливає на живі організми та може призвести до непередбачуваних наслідків;
- медичні відходи можуть містити вінілхлорид і хлорорганічні хімічні з'єднання, а просте низькотемпературне спалювання може призвести до утворення значної кількості хлористого водню та діоксину.
- очисні споруди України, що були переважно побудовані у 60-х роках ХХ ст., не пристосовані до очистки стічних вод від медичних відходів у рідкому стані.

В Україні щорічно утворюється до 400 тис. т медичних відходів, з них близько 120 тис. т - небезпечні. Більша частина відходів, що утворюються в лікувально-профілактичних закладах (60...85 %) від загальної маси не несуть загрози для навколишнього середовища і можуть бути віднесені до побутових. Однак, через особливості властивостей, медичні відходи доцільно обробляти окремо від побутових, комерційних і промислових відходів. У разі неправильного поводження з інфекційними медичними відходами може відбуватися передача захворювань працівникам, які фізично мають справу з матеріалом.

Система поводження з відходами в медичних закладах складається з наступних етапів:

- 1) сортування відходів;
- 2) нейтралізація або дезактивація відходів;
- 3) збирання відходів;
- 4) маркування відходів;
- 5) перенесення відходів у місця тимчасового зберігання в межах закладу;
- 6) оброблення або знешкодження відходів;
- 7) транспортування відходів до об'єктів поводження з відходами, окрім відходів категорії D, поводження з якими регулюється законодавством України щодо поводження з радіоактивними відходами і нормами радіаційної безпеки.

Медичні відходи по мірі утворення завантажуються у відповідні контейнери, які розміщуються по території закладу охорони здоров'я.

Всі відходи, які становлять небезпеку, перед утилізацією або переробкою підлягають обов'язковому знешкодженню. Для цього можуть використовуватися наступні методи:

- термічна обробка;
- стерилізація водяною парою;
- дезінфекція в автоклаві;
- хімічна детоксикація;
- мікрохвильова обробка.

Термічні процеси використовують тепло для знезараження або знищення медичних відходів, оскільки більшість мікроорганізмів гинуть при температурах від 49 до 91°C (табл.11). Для інактивації спор бактерій потрібна обробка при температурі не нижче 121°C. Застосовують дві категорії теплової обробки – технології з високим нагріванням і з низьким нагріванням.

Основними способами знезараження (дезінфекції) відходів категорії В безпосередньо у відділеннях медичного закладу виступають фізичні методи обробки водяним паром під тиском та підвищеною температурою в автоклавах. Принцип дії автоклава заснований на зростанні температури кипіння води при підвищенні тиску. Дезінфекція відходів в автоклавах проводиться впродовж 60 хвилин при температурі стерилізації не менше 132°C. З цією метою також застосовують високотемпературну обробку та обробку засобами радіаційного та електромагнітного опромінення.

Таблиця 11

Вплив температури на загибель патогенних мікроорганізмів

Збудники захворювань	Умови виживання у ґрунті	Умови загибелі	
	термін, діб	t, °C	час, хвилин
Туберкульозу	150...80	55...65	5...60
Тифу	4...115	55...60	5...30
Дизентерії	10...40	55	60
Холери	1	50	80...60

Хімічний метод знезараження шляхом обробки розчинами дезінфекційних засобів з бактерицидною і фунгіцидною дією дозволений для знезараження рідких відходів категорії В (крові, випорожнень, плевральної і спинномозкової рідини) в разі відсутності очисних споруд в закладі перед зливом в загальну каналізаційну мережу. До поширених дезінфікуючих хімічних речовин

відносяться сполуки хлору, фенольні сполуки, йод, спирт, гексахлорофен, суміші формальдегіду та спирту. Хімічна дезінфекція використовується для знищення мікроорганізмів на медичному обладнанні, а також на підлозі та стінах у закладах охорони здоров'я. Хімічний метод є небезпечним для медичних працівників, затратний, має низьку ефективність дезінфекції. Проте саме його використовують більшість закладів охорони здоров'я України.

Механічні технології змінюють фізичну форму або характеристики медичних відходів. Вони полягають у подрібненні відходів на більш дрібні частини для більш ефективного видалення. Менші частини забезпечують більший поверхневий доступ дезінфікуючих засобів до інфекованих поверхонь.

Теплові системи працюють при температурах, достатніх для хімічних і фізичних змін, що призводять до повного знищення медичних відходів. Ці системи використовують горіння, піроліз та/або дію високотемпературної плазми для дезактивації та знищення відходів при температурах від 600°C до 5500°C. Спалювання є основним способом високотемпературної теплової обробки медичних відходів. Воно проводиться в контрольованих умовах для перетворення відходів, що містять інфекційні та патологічні матеріали, на інертні мінеральні залишки та димові гази.



Рисунок 31 - Поводження з медичними відходами категорії «В»

Теплові системи з високим нагріванням працюють при температурах, достатніх для хімічних і фізичних змін, що призводять до повного знищення медичних відходів. Ці системи використовують горіння, піроліз та/або дію високотемпературної плазми для дезактивації та знищення відходів при температурах від 600°C до 5500°C. Спалювання є основним способом

високотемпературної теплової обробки медичних відходів. Воно проводиться в контрольованих умовах для перетворення відходів, що містять інфекційні та патологічні матеріали, на інертні мінеральні залишки та димові гази.

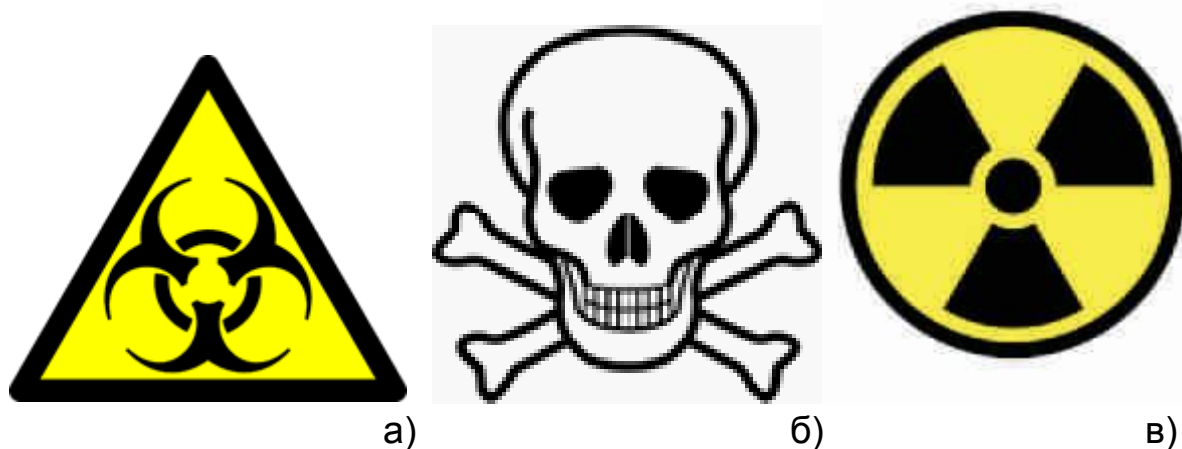


Рисунок 32 - Маркування, яке наноситься на контейнери з медичними відходами категорії В (а); маркування, яке наноситься на контейнери з медичними відходами категорії С (б), радіоактивні відходи (в)

Найбільш поширеним устаткуванням для видалення медичних відходів при підвищеній температурі є інсинератори. Інсинератор (від лат. *Incineratio* – спалювання, перетворення у попіл) - це порівняно невелика установка для високотемпературного контрольованого спалювання різних типів відходів з подальшим очищенням газоподібних продуктів згорання. В залежності від конструкції продуктивність інсинераторів по спалюванню складає від 25 до 450 кг за годину. Для спалювання відходів в інсинераторах у якості палива використовують дизельне паливо, а також мазут, природний та зріджений газ. Витрати дизельного палива при роботі інсинератора складають від 12 до 25 літрів за годину. Дія високих температур забезпечує повне знезараження і знищення патогенних мікроорганізмів, а утворений зольний залишок відноситься до 4 класу небезпеки.

Інсинератор являє собою сталеву камеру, що має внутрішній теплоізоляційний шар з вогнетривких матеріалів. В основі конструкції більшості інсинераторів закладено двокамерну схему високотемпературної деструкції відходів: у першій камері відходи піддаються спалюванню при температурі 900°C, у другій - відбувається допалювання утворених газоподібних продуктів згорання при температурі 1100...1200°C. Високі температури в робочій зоні інсинераторів отримують за рахунок згорання відходів у факелі висококалорійного палива. Кількість золи, яка утворюється в інсинераторах, залежно від складу відходів становить 5...10% від

завантаженої маси. Зольний залишок може бути використаний у якості наповнювача до будівельних розчинів.

В залежності від конструкції періодичне завантаження відходів в інсинератор може проводитися як вручну, так і з використанням механізованих пристроїв. Конструкція інсинераторів включає штовхачі-ворушители зі зворотно-поступальним рухом, які призначені для забезпечення періодичного розпушування спалюваних відходів у топці. Інсинератори забезпечують повне руйнування бактеріального забруднення, зменшення обсягу медичних відходів на 98% і ваги на 90%.

У сучасних інсинераторах додаткове паливо використовується лише під час запуску та зупинки системи спалювання. Для нормальної роботи теплотворна здатність відходів, що завантажуються в установки для спалювання, повинна бути достатньою для підтримки горіння без допомоги додаткового палива. В інсинераторах передбачена багатоступеневе очищення димових газів, яке зменшує негативний вплив на навколишнє середовище та відповідність викидів Європейським екологічним Стандартам (ЄС 76/2000).

Інсинератори переважно обладнуються 3-х ступінчастою системою газоочистки. Продукти згоряння з камери допалювання інсинератора послідовно проходять через (рис.33):

- теплообмінник, який знижує температуру продуктів згорання до 200°C;
- циклон, що видаляє з димових газів понад 90% твердих частинок;
- скруббер, призначений для "мокрого" очищення продуктів згоряння;
- адсорбер, призначений для кінцевої очистки димових газів, наприклад, від парів важких металів.

Адсорбер (від лат. *ad* - на, при і *sorbeo* - поглинаю) – це пристрій в якому відбувається при проходженні через шар адсорбенту процес поглинання одного або декількох компонентів із димових газів (рис.34). Роль адсорбентів виконують тверді пористі речовини з великою питомою поверхнею. Активоване вугілля має велике співвідношення площі поверхні до об'єму та є надзвичайно ефективним для адсорбції широкого спектру органічних вуглецевих сполук у паровій фазі, а також деяких інших парів (наприклад, ртуті). За допомогою активованого вугілля ефективно видаляється з потоку димових газів хлорид кадмію.

Особливістю адсорберів є необхідність проведення періодичної регенерації і повного перезавантаження адсорбенту. По мірі роботи пристрою відбувається заповнення мікропор адсорбента забруднювачем, що веде до поступового зниження ефективності захоплення шкідливих компонентів газової фази. Очищені продукти згоряння з хімічним складом, який відповідає

встановленим санітарно-гігієнічним нормам, через димову трубу відводяться в атмосферу.

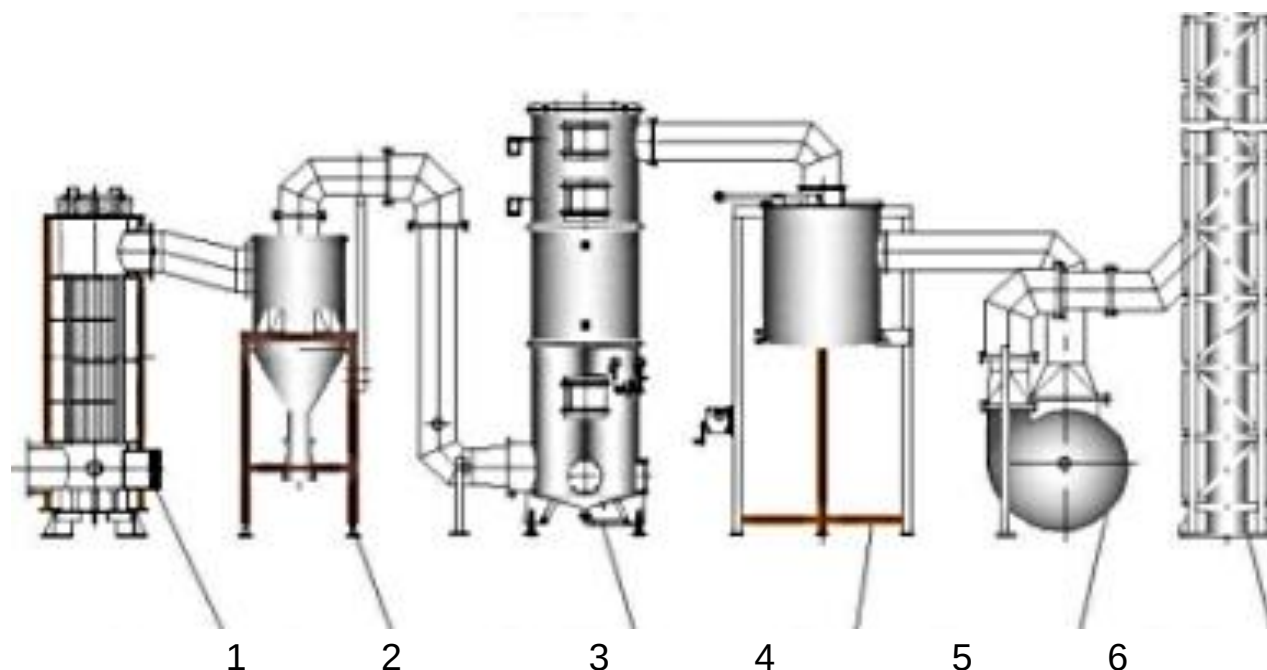


Рисунок 33 - Технологічна схема очищення продуктів згорання інсинератора моделі ИН-50: 1-теплообмінник; 2-циклон; 3-скруббер; 4-адсорбер; 5-димосмок; 6-димовая труба

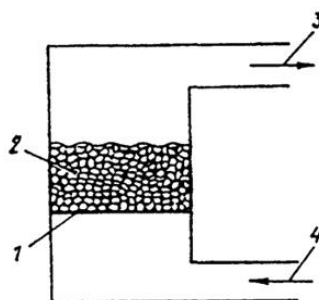


Рисунок 34 - Будова адсорбера: 1 - сітка; 2 - адсорбент; 3-очищені продукти згорання; 4-забруднені продукти згорання

Інсинератори, крім знищення медичних відходів, також можуть використовуватися для термічного знешкодження наступних видів відходів:

- забруднені нафтопродуктами ґрунти;
- високотоксичні відходи, що містять хімічні з'єднання з галогенами;
- непридатні пестициди, гербіциди;
- залишки від сортування твердих побутових відходів, зіпсовані продукти харчування;

- біоорганічні відходи (трупи бродячих тварин, птахів, свиней, корів, відходи служб судово-медичної експертизи);
- мулові осади стічних вод;
- відходи м'ясо- і птахокомбінатів;
- відходи з морських та повітряних суден;
- специфічні відходи (секретна документація, зношені паперові гроші).

Інсинератори виготовляються як в стаціонарному (рис.35), так і в контейнерному виконанні, які розміщені та здатні працювати в стандартних «морських» контейнерах (рис.36). При необхідності такі інсинератори переводяться в "похідний" неробочий режим і переміщуються на нове місце за допомогою контейнеровоза. Мобільні інсинератори здатні працювати на мобільній платформі - автомобіль, ж/д платформа, баржа і т.д.

Відповідно до Державних будівельних норм, розміщення інсинераторів забороняється у житловій зоні. Місця їх розміщення повинні знаходитися на відстані не ближче ніж за 3 км від помешкання людей.

Техніко – економічні показники спалювання як форми обробки медичних відходів мають наступні переваги:

- може видаляти різноманітні медичні відходи;
- оброблені відходи неможливо розпізнати – відбувається перетворення у попіл;
- відходи повністю стерилізовані;
- сучасні інсинератори прості в управлінні, для контролю процесу знешкодження сміття не потрібно спеціального навчання персоналу.



Рисунок 35 - Зовнішній вигляд стаціонарного інсинератора



Рисунок 36 - Зовнішній вигляд мобільного інсинератора

До недоліків спалювання медичних відходів відноситься:

- сміттєспалювальні установки перетворюють біологічну проблему екологічного забруднення навколишнього середовища на потенційну проблему забруднення повітря;
- у складі продуктів згорання в атмосферу викидаються діоксини, фурани, кислотні гази та важкі метали;
- зольні залишки містять важкі метали;
- існує ряд інфікованих медичних негорючих відходів, які не піддаються спалюванню.

Прикладом високотемпературної утилізації небезпечних відходів шляхом спалювання є підприємство «Тарком Екосервіс», яке розташоване в м. Обухів Київської обл. Тут утилізують відходи I-IV класів небезпеки термічним методом при температурі понад 1300°C з допалюванням утворених газів та послідовним їх ступеневим хімічним очищенням. Вироблена під час утилізації тепла енергія використовується для опалення розміщених поруч теплиць.

У м. Кропивницький в обласній лікарні за необхідності медичні відходи можуть спалювати у газовій печі. За один цикл спалюється до 30 кг медичних відходів. В печі утилізують передані у пакетах біологічні відходи з паталогоанатомічного відділення і операційних, а також пластикові відходи і одноразові халати з інфекційних відділень.

2.6.Плазмовий метод відновлення та видалення відходів

Спалювання медичних і хімічних відходів на повітрі та в інсинераторах викликає виникнення ряду небезпечних екологічних наслідків. В процесі експлуатації інсинератори, в певній мірі, є джерелами екологічно небезпечних забруднень довкілля фуранами та діоксинами. Такі речовини, як отрутохімікати та пестициди створюють значну загрозу для навколишнього середовища та населення і це створює потребу у розробці ефективних технологій їх видалення.

Зменшення рівня забруднень продуктами згорання при спалюванні медичних відходів та токсичних речовин досягається при використанні плазмових технологій з розігрівом до температур понад 10000°C. Сучасні плазмові технології є екологічно прийнятними промисловими технологіями, за допомогою яких на мілісекундних інтервалах часу можна створити і підтримувати високі температури, забезпечувати високу хімічну реактивність та щільність енергії для швидкісної термічної обробки, відновлення чи видалення медичних відходів.

Плазма - термічна технологія базується на розщепленні органічних складових відходів шляхом газифікації у факелі плазми, яка створюється у високотемпературній зоні електричної дуги. Між катодом, виконаним з тугоплавкого матеріалу, і інтенсивно охолоджуємим анодом, горить електрична дуга. При взаємодії дуги з робочим газом відбувається його інтенсивний розігрів. У порівнянні з методами спалювання медичних відходів в інсинераторах при плазмодуговому спалюванні температура в реагентній зоні рактора може стабільно підтримуватися на рівні 1200 - 3000°C. При таких температурах токсичні складові відходів розкладаються до іонного стану. Іонізовані заряджені частинки плазми здатні вступати в реакції рекомбінації з відірваними електронами і в цьому процесі виділяти значну енергію у формі ультрафіолетового випромінювання. За таких значень температури в реагентній зоні плазмового струменю відсутні умови для протікання реакцій утворення високотоксичних діоксинів, полігалогенованих біфенілів та фуранів, що містять галогени. Відповідно, при застосуванні плазмодугової технології для утилізації медичних відходів кількість утворених токсичних діоксинів і фуранів значно нижча за допустимі концентрації викидів і не вимагає обов'язкового сортування небезпечних відходів.

У якості плазмоутворюючого газу найбільш часто використовується водяна пара. Висока температура сприяє значному прискоренню хімічних реакцій газифікації і дозволяє сплавити разом неорганічні складові завантажених відходів. Плазма - термічний метод знешкодження відходів, незважаючи на

його високу енергоємність (500...700 кВт·год на т відходів) та складність, дозволяє знешкоджувати особливо токсичні та медичні відходи з продуктивністю 0,1...1,0 т/год. При проведенні плазмо - хімічної обробки медичні вуглевмісні відходи газифікуються, утворені газоаерозольні суміші піддаються прискореному охолодженню і очищенню. Продуктом роботи плазмодугової установки є синтез - газ у вигляді суміші окису вуглецю та водню. Ступінь розкладання відходів в зоні дії плазми складає 99,9 %.

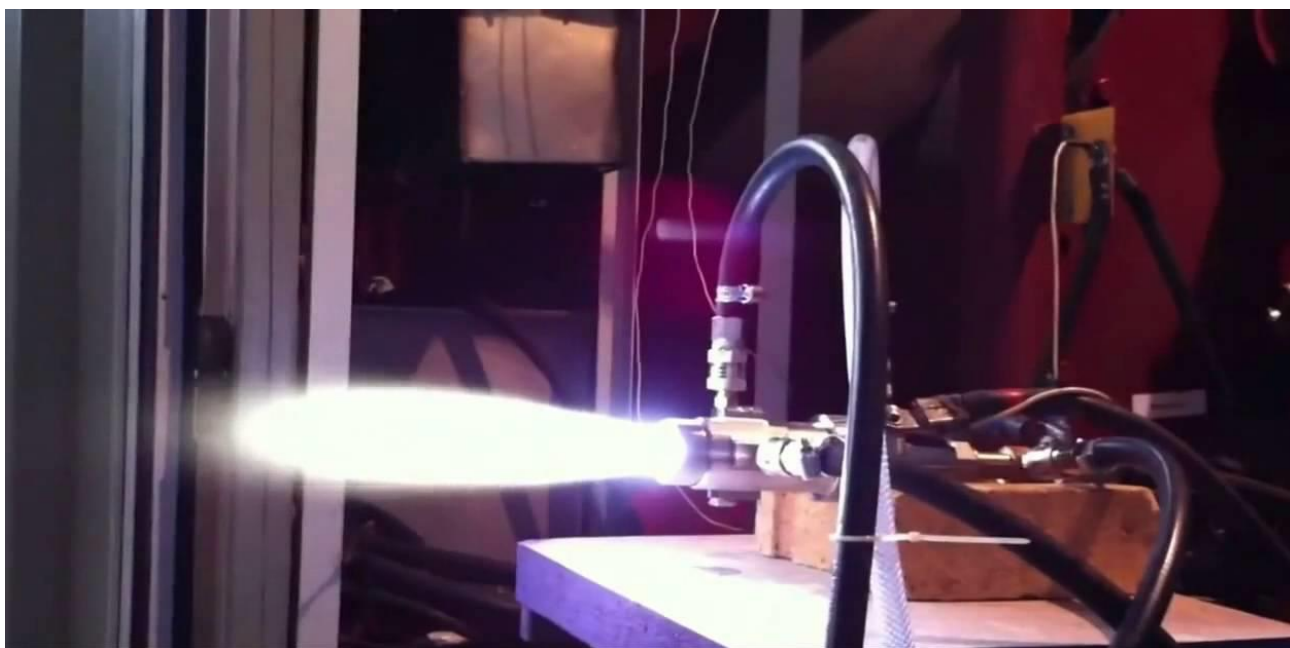


Рисунок 37 – Паровий плазмотрон для газифікації відходів

Особливо інтенсивно екологічно небезпечні продукти термічної обробки утворюються при температурах близько 300°C. Для блокування повторного утворення токсичних продуктів після обробки плазмою хлорвмісних полімерів проводиться швидке охолодження утвореного синтез - газу. Для зв'язування хлору в стійкі хімічні сполуки, продукти плазмової обробки після охолодження пропускають через вапняний розчин (вапняне молоко) або через розчин соди. Очищений синтез - газ можна використовувати у якості палива для виробництва теплової чи електричної енергії. Теплотворна здатність синтез-газу, отриманого із відходів плазмо-термічним методом, сягає 10...13 МДж/м³.

Неорганічні матеріали не піддаються розкладанню під дією високих температур, розплавляються і періодично зливаються з плазмового реактора і після затвердіння приймають форму хімічно стійкого склоподібного шлаку. Утворений шлак, основу якого складають металосилікати, може використовуватись як наповнювач при облаштуванні доріг або при виконанні інших будівельних робіт. При захороненні такого шлаку забруднення

прилеглих територій та ґрунтових вод шкідливими речовинами не відбувається (рис.38).



Рисунок 38 - Шлак, який утворився з твердих побутових відходів, після обробки плазмовим методом

Плазмовий процес дозволяє нейтралізувати практично всі категорії лікарняних відходів: бавовняні вироби, різні пластмаси, целюлозно - полімерні пов'язки, полівінілхлоридні пакети для крові, рукавички та катетери з поліуретану чи з силіконової гуми, поліетиленові та поліметилметакрилатні матеріали, стекла тощо. Потужне ультрафіолетове випромінювання від плазмового факелу значно прискорює деструкцію відходів, що є особливо дієвим в процесах деструкції органічних хлоридів, та забезпечує знищення патогенних мікроорганізмів в інфікованих біомедичних відходах та патологічні відходи. Важливою особливістю плазмової обробки, у порівнянні з традиційним спалюванням медичних відходів, є те, що попереднє сортування хлорованих відходів стає непотрібним.

На початку 1990-х років у світі було розроблено технологію плазмового піролізу, яка забезпечує комплексне рішення для безпечного масового знищення пластику, медичних та тверді міські відходи тощо. Плазмова обробка характеризується малою інерційністю процесу і, як наслідок, досягається більш висока ступінь безпеки, оскільки процес можна швидко зупинити і перезапустити.

Перед початком плазмової переробки побутові відходи попередньо сортуються та подрібнюються, після чого завантажуються у приймальний бункер. Звідти сировина за допомогою шнекового завантажувального пристрою надходить безпосередньо в реактор (рис.39). В реактор, який за конструкцією являє собою шахтну піч, вмонтовано кілька плазмотронів з регульованою потужністю для створення високих температур. Енергія

електричної дуги плазмотрона перетворює газ на плазму з високою теплопровідністю та теплоємністю. Проходячи через плазму, органічні сполуки розпадаються на вуглекислий газ, водяну пару, азот, водень, монооксид вуглецю та водяну пару. Газова суміш, що утворилася, надходить у верхню частину реактора, де віддає своє тепло твердим відходам. Завантажені відходи рухаються донизу, по черзі проходячи етапи сушіння, піролізу та термодеструкції. Внутрішнє вогнетривке покриття реактора дозволяє витримувати високі температури синтезу газу і корозійну дію розплавленого шлаку. Накопичення рідкого шлаку відбувається в нижній частині реактора, звідки він періодично зливається через спеціальний отвір.

Розкладання у плазмотроні токсичних поліхлорбіфенілів, метил - бромідів, хлор- і фторвмісних пестицидів, поліароматичних барвників) відбувається майже повністю. Матеріали відходів розпадаються на оксид вуглецю, водень, метан, вищі вуглеводні, HCl , HF тощо. Оскільки робочий простір плазмового реактора ізолюваний від атмосферного повітря, то утворення NO_2 знижується до мінімуму. Хлор-, фтор- та сіркомісні компоненти при цьому переходять в менш активні форми, ніж при шаровому спалюванні у топках і видаляються з реактора у вигляді сорбованих на твердій фазі малотоксичних хімічних сполук.

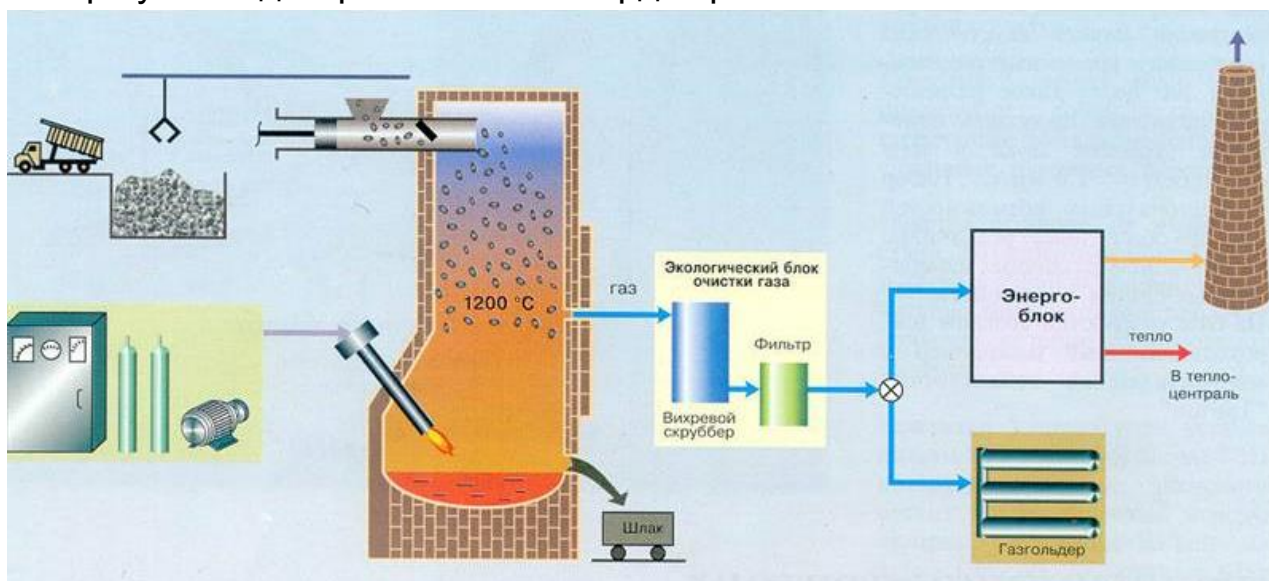


Рисунок 38 – Схема плазмового методу газифікації твердих побутових відходів

Залежно від способу переробки відходів можна оптимізувати роботу плазмотрона для відходів із різним хімічним складом. При використанні плазмового методу для переробки відходів у відновному середовищі одержують цінну товарну продукцію:

-з рідких органічних відходів хлору отримують ацетилен, етилен, HCl і продукти на їх основі;

-в плазмотроні з водневим середовищем при обробці органічних хлор-і фторвмісних відходів отримують гази з вмістом 95 - 98% за масою HCl і HF.

Гарячі гази, що виходять із вторинної камери плазмотрона, охолоджуються і остаточно очищаються у вихревому скрубєрі. У очисній камері скрубєра застосовується розбризкування розчину NaOH.

Охолоджений синтез-газ пропускається через фільтр з активованим вугіллям для видалення слідів ртуті. Наступною стадією газоочистки є гідролізне перетворення карбонілсульфіду (COS) в сірководень (H₂S) і CO₂ в процесі якого синтез - газ проходить через шар каталізатора. Після такої обробки практично вся сірка в синтез - газі переходить у сірководень, який легко видаляється та перетворюється у тверду сірку.

До переваг плазмо-хімічних технологій відноситься:

- екологічна чистота процесу та висока якість утворюємого синтез-газу;
- відходи можуть бути оброблені плазмою без попереднього сортування, нечутливість процесу до вологості сировини;
- відсутність утворення шкідливих виділень (включаючи діоксини);
- кількість одержуваних газоподібних продуктів, що підлягають очищенню є істотно меншим у порівнянні з кількістю продуктів, що утворюються при використанні традиційних технологій спалювання відходів. Це дозволяє скоротити розміри системи очищення синтез – газу;
- отримання скловидного шлаку, який може бути використаний в якості будівельного матеріалу або бути безпечно захороненим.

Застосування плазмо - термічного методу знешкодження відходів на сьогоднішній час лише починає виходити зі стадії експериментальних установок. На сьогодні вже багато компаній у світі: Pyrolysis Systems Inc (Канада); Siemens (Німеччина); Plasma Energy Applied Technology Inc. (США); Plasmapole (Франція) створили високотемпературні плазмодугові системи різного призначення. Прикладом ефективного застосування плазмо - термічного методу утилізації є завод з технологією плазмової газифікації, який реалізований компанією Eco Valley (Японія) в м Утасінай, Хоккайдо, Японія. Завод забезпечує переробку в день 220 т попередньо відсортованих відходів на 2-х газифікаційних лініях.

Плазмова газифікація є життєздатною технологією перетворення твердих побутових відходів у цінні продукти для економіки замкнутого циклу. Плазмовий піроліз є екологічно чистим варіантом обробки відходів, і цей метод розглядається як засіб зменшення глобального потепління згідно до Кіотського протоколу. Однак у поточному стані плазмова газифікація

здебільшого обмежена пілотними проектами. Технологію утилізації токсичних відходів з застосуванням плазми - термічного методу можливо ефективно реалізувати лише за наявності державної підтримки інноваційних екологічних технологій. Застосування плазми - термічного методу знешкодження відходів на сьогоднішній час лише починає виходити зі стадії експериментальних установок.

Контрольні питання для самоперевірки

1. У чому полягає суть термічного методу переробки побутових відходів?
2. Дайте характеристику теплотехнічних властивостей побутових відходів.
3. Яку конструкцію має топочний агрегат сміттєспалювального заводу?
4. Назвіть переваги та недоліки застосування сміттєспалювання відходів.
5. Які існують технології очищення димових газів після спалювання твердих побутових відходів на сміттєспалювальних заводах?
7. Охарактеризуйте процес спалювання відходів в інсинераторах.
9. Дайте характеристику спалювання твердих побутових відходів на сміттєспалювальному заводі «Енергія» (м.Київ).
10. Дати характеристику плазми – термічного методу видалення відходів.

3. Збір, транспортування та сортування відходів

Основною метою муніципальних програм поводження з відходами є скорочення неконтрольованого попадання твердих відходів в навколишнє середовище. Ця мета може бути досягнута за рахунок організації системи збору відходів за місцем їх утворення, організація економічно доцільної системи транспортування відходів та організація системи переробки і зберігання відходів.

Щодня в побуті, в комунальних підприємствах і в промисловості утворюються величезні обсяги відходів. Ефективний збір відходів має вирішальне значення для підтримки чистого та здорового міського середовища. Всі муніципальні відходи поділяються на два основні потоки - відходи житлового та нежитлового секторів у співвідношенні 3 до 2. При організації роздільного збору цих двох великих потоків можливе досягнення ефективної переробки міських відходів, оскільки відходи нежитлового сектора міста (торгові та комерційні підприємства, офісні установи, навчальні заклади), які утворюють до 40% від загального обсягу, включають практично незабруднені відходи макулатури, металів, пластмаси. Однак слід враховувати, що до 60% всіх відходів складають побутові відходи, що містять високі концентрації органічних речовин, що визначає специфіку особливого поводження з ними. Ці складові в різних кількостях можуть міститися як у складі побутового сміття, так і в комерційних відходах і навіть у будівельному смітті.

В даний час в усьому світі загальноприйнятою є думка, що технології спалювання та захоронення відходів не мають майбутнього. Захоронення твердих побутових відходів є малоефективним процесом, коли безповоротно втрачаються невідновлювані ресурси, та вимагає великих капітальних затрат. Однак до сьогодення часу, такі способи поводження з відходами продовжують широко використовуватися. Екологи активно проводять роботу по просуванню в свідомість населення ідей циркулярної економіки - необхідності повернення в біологічний і виробничий цикли вторинних матеріалів, які одержують з відходів. Найбільш вартісним етапом усього процесу відновлення і знешкодження твердих побутових відходів є їх збір. Належний збір твердих відходів важливий для захисту здоров'я населення, безпеки та якості навколишнього середовища. Це трудомістка діяльність, на яку припадає приблизно три чверті загальних витрат на поводження з твердими побутовими відходами.

3.1.Технології збирання і транспортування відходів

У світовій практиці способи збору твердих побутових відходів поділяються на унітарні (змішування всіх відходів в одну тару) та роздільні (збір сортованих відходів та окремий їх вивіз на переробку). Роздільна система дає змогу одержувати більш чисті вторинні ресурси та на 30–85 % зменшити обсяг не відновлених відходів.

Експерти з управління відходами у всьому світі визнають, що належний підхід до управління відходами починається з їх роздільного збору. Це гарантує можливість повторного ефективного використання та відновлення матеріалів. Тверді побутові відходи складаються з різноманітних компонентів, утилізація яких вимагає застосовування абсолютно різних підходів. Відходи є надто гетерогенними, щоб їх можна було відновлювати в процесі рециклінгу, спалювання, газифікації чи піролізу, не використовуючи попереднього цільового сортування. Для ефективної утилізації кожного компонента твердих побутових відходів повинна використовуватися своя оригінальна технологія вторинної переробки.

В технології відновлення твердих побутових відходів особливу роль в якості підготовчих операцій відіграють процеси збагачення, що дозволяють відділити та сконцентрувати ті чи інші цінні компоненти для вторинного використання, відібрати небезпечні компоненти та оптимізувати склад відходів з метою подальшого рециклінгу. Число збагачувальних операцій, їх вид і послідовність в технологічній схемі залежить від морфологічного і гранулометричного складу, вологості відходів, і визначається завданнями сортування в кожному конкретному випадку.

Запровадження системи збирання побутових відходів за окремими компонентами є одним з ключових етапів удосконалення системи управління відходами. Роздільне збирання відходів дозволяє забезпечити більш якісну їх переробку, економлячи при цьому енергію, час, людський ресурс. Ще одним важливим позитивним наслідком такого збирання є суттєве зменшення відходів, які захоронюються на сміттєзвалищах та полігонах. Для забезпечення роздільного збирання як органам місцевого самоврядування та надавачам послуги (облаштування площадок з контейнерами для роздільного збирання, зміна графіку та маршрутів руху відповідного транспорту тощо), так і населенню (додаткові ємності для роздільного збирання відходів в помешканні, місце їх розміщення) потрібно докладати додаткові зусилля. Забезпечення екологічної безпеки є одним з визначальних чинників при створенні системи роздільного збору відходів.

Доцільність роздільного збирання твердих побутових відходів населенням проявляється, зокрема, у зменшенні навантаження на звалища твердих побутових відходів, збереженні природних ресурсів, покращення екологічного стану територій населених пунктів. Як показує вітчизняний досвід, роздільне збирання на сьогодні активно запроваджується в різних громадах. Переважно окремо збираються скло, пластик, папір, органічні відходи, окремо також збираються такі небезпечні відходи як батарейки, акумулятори, ртутні термометри та лампи. Зазначимо, що кількість громад, в яких запроваджується роздільне збирання постійно зростає, зростають також об'єми зібраних роздільно відходів. При цьому необхідно враховувати слабе завантаження потужностей промислових підприємств України, які займаються переробкою відходів на вторинну сировину для виробників кінцевої продукції або використовують їх у своєму виробничому циклі для випуску кінцевої продукції. До основних видів вторинної сировини, роздільний збір яких ефективно реалізується в Україні, відносяться.

1.Макулатура. Потребу в макулатурі відчувають усі українські підприємства, які виробляють папір і картон. В Україні за один рік споживається близько 1,5 млн. т картонно-паперової продукції. Із загального обсягу споживаної внутрішнім ринком продукції галузі в якості вторинної сировини повертається, близько 800 тис. т, а потреба під наявні виробничі потужності становить близько 1,2 млн т. При цьому значну частину вторинної сировини ці підприємства закуповують за кордоном. З 2016 року підприємства галузі імпортували з сусідніх країн (Румунія, Молдова та ін.) близько 350 тис. тон макулатури при загальній річній переробці близько 1,3 млн. т тобто, за рахунок імпортової сировини забезпечувалося близько 27% виробничих потреб.

2.Скляний посуд і скlobій. В Україні в довоєнний період налічувалося 17 діючих склозаводів. Більшість непошкодженої склотари після використання збирається і, після її відповідної стерілізаційної обробки, повторно використовується виробниками напоїв та консерв.

При виготовленні скляних виробів у скловарні печі завантажують шихту, яка являє собою суміш склобою та свіжих добавок піску, соди, вапняку тощо. Частка використання склобою в співвідношенні з свіжими добавками на українських скловарних підприємствах є нижчою за показники аналогічних європейських підприємств, тому є можливість і потреба збільшувати застосування вторинних ресурсів. Виробники зацікавлені в цьому, оскільки:

- вторсировина дешевша, ніж шихта зі свіжих матеріалів;
- збільшення в шихті частки склобою дозволяє зменшити споживання природного газу при скловарінні.

Сумарно заводи України здатні переробити 800 тис. т склобою. Незважаючи на те, що на звалищах після переробки залишається лише 5...8% склобою, потреби скловарних підприємств закрити не вдається, - щорічно переробляються лише 300 тис. Т склобою.

3.ПЕТ-пляшки. З поліетилентерефталату в Україні виробляють, в основному самостійно, самі виробники безалкогольних напоїв та пива, для яких є важливою максимальна локалізація тари. Сировина (гранулят) для виробництва нових пластикових пляшок в Україну імпортується.

Потужність підприємств України по відновленні усіх видів пластмас складає понад 300 тис. т на рік, в той час як у 2017 році було перероблено лише 180 тис. т полімерних відходів. В цілому в Україні працює близько 20 підприємств, які здійснюють рециклінгову переробку ПЕТ-тари у вторинні матеріали. При цьому виробничі потужності, які призначені для утилізації ПЕТ-тари завантажені сировиною всього на 50-70%.

Світова практика свідчить, що близько третини вироблених продуктів харчування потрапляє у відходи. Це можуть бути зіпсовані від неправильного зберігання та просрочені продукти тощо. В країнах Європи щорічно у відходи попадає до 100 млн т харчових продуктів.

На жаль, у багатьох населених пунктах України функціонує унітарна (валова) система збору твердих побутових відходів, тобто всі види відходів збираються в одну загальну ємність і транспортуються до місць захоронення. У ситуації, що склалася, такий підхід до збору та видалення цих відходів з міської зони вважається найменш витратним.

Сортування та подальшу переробку відходів в країнах Європи почали широко практикувати ще з 1990 року. За цей час, країни ЄС виробили налагоджену схему збору відходів, яка є не лише добровільним рішенням окремих приватних компаній або людей, а й була впроваджена на муніципальному рівні. Способи роздільного збору твердих побутових відходів в різних країнах мають певні відміни в залежності від місцевих умов (сміттєзбірні контейнери поблизу будинку, спеціалізовані та платні центри збору вторинної сировини). Виходячи зі способу збору відходів, здійснюється вибір транспорту для його перевезення. Вважається доцільним для збору відходів задіювати приватні компанії, які є більш мобільними, у порівнянні з державними службами. Важливим кроком є вибір типу і потужності підприємства для передачі на утилізацію твердих побутових відходів (малий локальний завод, велика територіальна компанія або велике регіональне підприємство).

Типова схема збору та руху твердих побутових відходів в країнах ЄС передбачає:

- попереднє сортування населенням основної маси твердих побутових відходів біля джерел утворення - в житловому господарстві;
- передавання вторинної сировини на переробні підприємства після попереднього механізованого сортування зібраних відходів за видами сировини;
- обов'язковий селективний збір рослинних відходів з подальшим компостуванням і поверненням компосту в сільське господарство;
- обов'язкове знезараження біологічними або термічними методами несортованих і неутилізованих твердих побутових відходів перед їх захороненням на полігонах.

Роздільне збирання побутових відходів здійснюється з метою сприяння підготовці побутових відходів до повторного використання для зменшення кількості побутових відходів, що захоронюються на полігонах, запобігання їх негативному впливу на здоров'я людей та навколишнє природне середовище.

Роздільний збір відходів дозволяє:

- значно скоротити площі, що відводяться під санітарні полігони і сміттєзвалища;
- зберегти невідновлювані природні ресурси корисних копалин;
- скоротити кількість шкідливих речовин, що надходять в навколишнє середовище при розкладанні відходів;
- знизити об'єми та трудомісткість сортування побутових відходів;
- знизити собівартість продукції, виробленої із застосуванням вторинної сировини.

Якість матеріалів, отриманих із попередньо не розсортованої суміші відходів є невисокою та економічно малоефективною. Розділення відходів на фракції забезпечується поєднанням двох підходів: технічного і соціального.

Технічний підхід являє собою організацію виробництва за допомогою різних механізованих ліній і пристроїв, на вхід яких поступає не розділений на фракції потік твердих побутових відходів, а на виході отримують потоки утилізованих матеріалів, які відповідають вимогам ринку, а також потік залишків, що передаються на спалювання чи на сміттєзвалище.

При соціальному підході жителі самостійно свідомо сортують свої відходи та доводять відділену частину до вимог ринкової кондиції. Досягнення такого результату вимагає проведення тривалої інформаційної та виховної роботи з населенням, роз'яснення необхідності та вигідності роздільного збору відходів. Активна позиція населення є запорукою успішної діяльності, в той час як байдужість зводить всі зусилля нанівець.

Вважається, що поділ відходів безпосередньо населенням та іншими виробниками відходів більш прийнятним, ніж технічний поділ, з наступних причин:

- сумарні витрати, що накладаються на місцевий бюджет, є меншими;
- не потрібні значні інвестиції на придбання і експлуатацію складного сортувального обладнання;
- на місцевому рівні створюються стимули для зменшення кількості відходів.

Впровадження роздільного збору може бути здійснено двома основними способами, в залежності від прийнятої технології сортування.

Перший спосіб - двофракційний збір. Він передбачає установку на контейнерному майданчику двох контейнерів - одного для збору ресурсоцінних фракцій (скла, металу, макулатури, пластику), іншого - для відходів, які не можуть повторно використовуватися (забруднена упаковка, харчові відходи).

Другий спосіб - чотирифракційний збір. Директива ЄС про відходи визначає роздільний збір, як мінімум, чотирьох фракцій твердих комунальних відходів - скла, паперу, металу і пластика. При цьому відходи сортуються в 4 контейнери різного кольору (рис. 39): жовтий для відходів пластмас, синій для відходів паперу, зелений - для відходів скла, сірий - для відходів, які не потрапляють ні в жодну з перерахованих категорій (харчові відходи, забруднені матеріали).



Рисунок 39 - Пластикові сміттєві баки для роздільного збору відходів

В Україні єдині підходи до організації роздільного збирання побутових відходів в межах території територіальних громад, що є складовою системи управління побутовими відходами, визначає «Методика роздільного збирання побутових відходів», яка затверджена наказом Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України 13 грудня 2023 року № 1130.

Роздільне збирання побутових відходів здійснюється за такими системами збирання побутових відходів:

1.Контейнерною - система, що передбачає регулярне (за графіком) перевезення побутових відходів, зібраних в контейнери, на об'єкти відновлення чи видалення;

2.Безконтейнерною - система, що передбачає регулярне (за графіком) перевезення побутових відходів, зібраних в пластикові пакети, на об'єкти відновлення чи видалення;

3.За заявкою споживача у пунктах роздільного збирання побутових відходів (зокрема мобільні, оснащені транспортними засобами).

Розрахунок кількості одного виду ресурсоцінних відходів в загальній масі побутових відходів проводять за такою формулою:

$$M_i = d / 100 \times M_{\text{заг}}, \text{ кг},$$

де: M_i - маса одного виду ресурсоцінних відходів у загальній масі побутових відходів;

d - вміст у відсотках одного виду ресурсоцінних відходів у загальній масі відходів, %;

$M_{\text{заг}}$ - загальна маса побутових відходів, кг.

Для збирання ресурсоцінних відходів кількість контейнерів визначається за такою формулою:

$$N_b = \frac{Q_d t K_1 K_2}{CK_3}, \text{ шт.},$$

де: N_b - необхідна кількість контейнерів для збирання ресурсоцінних відходів, шт.;

Q_d - добове утворення ресурсоцінних відходів, $\text{м}^3/\text{добу}$;

t - періодичність перевезення ресурсоцінних відходів, діб;

K_1 - добовий коефіцієнт нерівномірності утворення ресурсоцінних відходів;

K_2 - коефіцієнт, який враховує кількість контейнерів, що перебувають у ремонті та в резерві;

K_3 - коефіцієнт заповнення контейнера;

C - місткість одного контейнера для збирання ресурсоцінних відходів, m^3 .

Для належного функціонування системи збирання побутових відходів при розрахунку використовують такі значення коефіцієнтів: $K_1=1,4$; $K_2=1,05$; $K_3=0,9$.

На сьогодні в Україні найбільш поширеним є поділ зібраних відходів між двома контейнерами: в один - ті, які можуть бути використані як вторинна сировина, в іншій - все інше. Потім відходи вторсировини вивозяться на спеціальні підприємства, на яких їх додатково сортують за категоріями: скло, папір, метал, пластик тощо. Цей підхід вимагає участі жителів, які повинні поміщати свої відходи в різні контейнери.

Небезпечні складові у складі побутових відходів, такі як хімікати, електроприлади, батарейки, аерозольні балончики, люмінісцентні лампи, збираються окремо від інших видів побутових відходів за такими системами збирання побутових відходів: контейнерною системою, у пунктах роздільного збирання побутових відходів (в тому числі мобільних на основі оснащених транспортних засобах), або за заявкою споживача, і передаються суб'єктам господарювання, що отримали ліцензії на здійснення господарської діяльності з управління небезпечними відходами.

Характеристики, які слід враховувати при виборі контейнера, включають:

- контейнери, обрані для збору відходів, мають бути дешевими та економічними, щоб мінімізувати витрати на збір відходів;

- поверхні контейнера не повинні бути шорсткими: шорстка поверхня сприяє прилипанню відходів, що призводить до їх розкладання на шорстких поверхнях;

- контейнери не повинні мати гострих країв: гострі краї можуть призвести до травмування персоналу, який збирає відходи;

- контейнери повинні мати можливість закриватись, щоб запобігати потраплянню опадів у відходи. Контейнери з накриттям також запобігатимуть проникненню в них бездомних тварин;

- контейнери повинні бути міцними і довговічними, щоб уникнути частих поломок. Він повинен витримувати значні навантаження під перевантаження відходів у сміттєзбиральні автомобілі.

- контейнери повинні мати колеса для полегшення переміщення;

- матеріал контейнера має бути легким, гладким, стійким до корозії, інертним і придатним для переробки після виходу з ладу.

Сміттєзбірні контейнери використовуються відповідно до вимог ДСТУ 8476:2015 «Контейнери для побутових відходів. Загальні технічні вимоги».

Застосовують наступні види сміттєвих контейнерів.

1. Пластикові сміттєві баки - контейнери об'ємом від 110 до 1200 літрів (вага від 9 кг). Використовуються для збору невеликої кількості відходів, у житлових будинках, офісних будівлях, освітніх і лікувальних установах.

2. Металеві сміттєві баки - контейнери об'ємом від 0.75 м³ (вага від 85 кг) використовуються для збору невеликої кількості відходів і є найпоширенішими в Україні.

3. Металеві сміттєві контейнери для збору великого об'єму твердих побутових відходів - контейнери від 6 до 14 м³ (вагою від 950 кг). Використовуються для накопичувального збору сміття та централізованого вивезення вантажними машинами (рис. 40). Сфера застосування таких контейнерів є досить широкою - житлові масиви, будівництво, дачні кооперативи. Контейнери вивозяться сміттєвозами, оснащеними спеціальними маніпуляторами для їх захоплення. Виготовлені з металу контейнери мають значну масу, невисокою корозійну стійкість і адгезію до вологих відходів, що обумовлює великі фінансові витрати на їх експлуатацію. Термін служби таких контейнерів не перевищує 2 років, що в 2-2,5 рази нижче європейських норм.



Рисунок 40 - Оцинкованный сміттєзбірний євроконтейнер "Standart" для відходів об'ємом 1,1 м³

4. Транспортні контейнери для сміття - контейнери для збору і транспортування відходів об'ємом від 20 до 40 м³ (вагою від 2250кг) для перевезення важкого будівельного сміття і металобрухту, для твердих побутових відходів і габаритного сміття.

5. Контейнери заглибленого типу об'ємом 5 м³ - новий вид контейнерів для сміття, що дозволяє істотно заощадити площу житлової забудови для їх розміщення. Основна частина такого контейнера (близько 70%) заглиблена в землю і виглядає більш естетично. На контейнері закріплюється спеціальний міцний мішок багаторазового використання для збору відходів (рис.41). Для очищення таких контейнерів використовуються звичайні сміттєвози, обладнані кранами для вивантаження зібраного сміття. Завдяки великому об'єму, контейнер заглибленого типу замінює декілька звичайних, що дає можливість рідше спустошувати сміттєві ємності, скоротити транспортні витрати і час роботи сміттєвозів. В таких контейнерах відходи краще спресуються під дією сили тяжіння. Нижча температура у заглибленні затримує розпад і гниття органічних відходів і, як результат, має місце менше розповсюдження неприємних запахів. Такі контейнери доцільно застосовувати:

- у місцях з інтенсивним вуличним рухом;
- в місцях розташування готелів, громадських та приватних будівель, парки і підприємства;
- у центральній частині міст, де при великій кількості відходів необхідно забезпечити привабливий зовнішній вигляд території.

При організації роздільного збирання побутових відходів за двоконтейнеровою технологічною схемою встановлюється два типи контейнерів, а саме:

перший - блакитного кольору з написом «Ресурсоцінні відходи», який призначений для збирання ресурсоцінних відходів (папір і картон, пластик, скло, метал), окрім біологічних відходів;

другий - сірого кольору, який призначений для збирання змішаних побутових відходів, у тому числі біовідходів.

Контейнери для різних видів побутових відходів згідно нормативних документів України мають бути наступного кольору: жовтий - для пластику; зелений - для скла; синій - для паперу та картону; блакитний - для ресурсоцінних відходів; коричневий - для біовідходів; сірий - для змішаних побутових відходів; червоний - для небезпечних відходів у складі побутових відходів.

В Україні на сьогодні експлуатується близько 1 млн контейнерів. Для повноцінного роздільного збору відходів їх кількість потреба збільшити їх кількість, як мінімум, вдвічі. Розташування контейнера буде залежати від ширини та довжини смуги/дороги для підїзду сміттєзбиральних автомобілів, обсягу утворення відходів і типу джерела утворення.

Організація планово-регулярної видалення відходів включає наступні заходи:

- встановлення періодичності видалення контейнерів з відходами;
- обстеження об'єктів і визначення кількості підлягаючих видаленню відходів з контейнерів;
- встановлення режиму роботи спецмашин;
- укладання договору на збір і видалення побутових відходів з житлово-експлуатаційними організаціями (власниками особистих будинків);
- складання маршрутних графіків роботи спецмашин.



Рисунок 41 - Розвантаження у сміттєвоз мішка з відходами з контейнера заглибленого типу

Сміттєзбірні контейнери мають розміщуватись на контейнерних майданчиках, облаштованих відповідно до вимог ДСТУ-Н Б Б.2.2-7:2013 «Настанова з улаштування контейнерних майданчиків» та ДСанПін «Державні санітарні норми та правила утримання територій населених місць».

Особливу проблему видалення створюють великогабаритні відходи - це відходи, розмір яких перевищує 50х50х50 см, які не можливо розмістити в контейнері об'ємом 1,1 м³. До такого виду відходів відноситься – будівельне сміття, віконні рами, холодильники, газові плити, меблі, сантехніка. ЖЕКи зобов'язані визначати місця для збору великогабаритних відходів та складати графіки його вивозу не рідше одного разу на тиждень.

Небезпечні відходи у складі побутових мають такі фізичні, хімічні, біологічні та інші властивості, які здатні створювати небезпеку для навколишнього середовища або здоров'я людини. До небезпечних відходів у складі побутових відносяться такі відходи, як батарейки, акумулятори, лампи розжарювання, енергозберігаючі лампи, люмінесцентні лампи, термометри. Небезпечні відходи у складі побутових потребують спеціальних методів і засобів поводження з ними, а саме:

- збиратися окремо від інших видів побутових відходів;
- відділятися на етапі збирання чи сортування і передаватися споживачами та виконавцями послуг спеціалізованим підприємствам.

Спосіб організації роздільного збирання відходів електричного та електронного обладнання, що є у складі твердих побутових відходів, визначається самостійно відповідними органами місцевого самоврядування та закріплюється в місцевих планах управління відходами населених пунктів. Роздільне збирання цієї групи відходів відбувається згідно з «Методичними рекомендаціями щодо збирання відходів електричного та електронного обладнання, що є у складі побутових відходів» (затверджені Наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 15 від 22.01.2013), та може здійснюватися в рамках пілотних проєктів створення спеціалізованих комунальних пунктів приймання відходів; створення мобільних (пересувних) пунктів приймання небезпечних відходів.

Завдання вибору оптимального маршруту збору є складною проблемою, особливо для великих і густонаселених міст. Оптимальний маршрут забезпечує найбільш ефективне використання робочої сили та обладнання, і вибір такого маршруту вимагає застосування комп'ютерного програмного забезпечення, яке дозволяє враховувати всі численні зміни у великій і складній мережі розміщення контейнерів. Змінні включають частоту збору, відстань транспортування, рельєф місцевості, кліматичні умови. Збір сміття в сільській місцевості може становити особливу проблему, оскільки щільність населення низька, що призводить до високих витрат на вивезення відходів. Збір відходів зазвичай відбувається принаймні раз на тиждень через швидке розкладання харчових відходів.

Обладнання сміттевозів інформаційними пристроями дозволяє проводити визначення їх місцезнаходження через супутниковий зв'язок. Програмне забезпечення для збору відходів забезпечує можливості моніторингу в реальному часі. Інтеграція GPS і сенсорних технологій у транспортні засоби для збору дозволяє керівникам і операторам відстежувати місцезнаходження та стан кожного транспортного засобу. Обробка цієї інформації дозволяє поліпшити прокладку маршрутів, зменшити пробіг, вартість і трудомісткість робіт, а також знизити їх шкідливий вплив відходів на оточуюче середовище. Впроваджуються розумні контейнери для збору відходів, оснащені датчиками, які контролюють рівень заповнення контейнерів. Ця технологія дозволяє компаніям зі збору відходів оптимізувати маршрути, обслуговуючи контейнери лише тоді, коли вони заповнені, зменшуючи споживання палива та викиди від згорання палива.

При створенні і експлуатації міської системи управління відходами вирішують організаційні, технічні та фінансові проблеми.

Перший етап реалізації системи передбачає розробку концепції управління відходами. При цьому уточнюється морфологічний склад відходів різних груп для міста або регіону, проводиться аналіз ситуації, виявляються джерела фінансування і визначається правова основа функціонування системи.

На другому етапі реалізації системи управління відходами розробляються організаційні заходи, тобто складається схема документообігу системи управління відходами, проводиться аналіз відповідності нормативно-правовим вимогам і визначається необхідність коригування програми з урахуванням конкретних географо-кліматичних, економічних та соціальних умов даної території. В рамках системи управління визначаються ступінь централізованого управління, функції кожної організації, місце і підпорядкованість, розробляється регламент обміну даними між організаціями системи управління.

На третьому етапі реалізації системи проводиться порівняння технологій збору, транспортування та переробки відходів з економічних і екологічних критеріїв. В результаті цього вибираються найбільш придатні для міста технології і уточнюється вибір місць розташування об'єктів відновлення та видалення відходів міста, маршрутів руху транспорту, тимчасові характеристики його роботи. За результатами другого і третього етапів розробляються приблизний кошторис витрат і план заходів щодо реалізації управління відходами.

Організація порядку відновлення та видалення побутових відходів визначаються на основі рішень виконкомів міських Рад за поданням органів комунального господарства та установ санітарно-епідеміологічної служби. У цих ж рішеннях вказуються організації, на які покладають контроль за дотриманням встановленого порядку проведення робіт.

Організація порядку відновлення та видалення побутових відходів включає наступні заходи:

- встановлення періодичності видалення відходів;
- обстеження об'єктів і визначення кількості підлягаючих видаленню відходів;
- призначення режиму роботи сміттєзбиральних автомобілів;
- укладання договору на збір і видалення побутових відходів з житлово-експлуатаційними організаціями та власниками особистих будинків;
- складання маршрутних графіків роботи сміттєзбиральних автомобілів.

Періодичність вивезення твердих побутових відходів встановлюється санепідемстанцією виходячи з місцевих умов, відповідно до правил утримання територій населених місць.

Зі збільшенням щільності населення та обмеженими ресурсами традиційні системи поводження з відходами часто не встигають за попитом на видалення. Однак із появою машинно-машинних систем M2M управління відходами в містах зазнає революційних змін. Такі системи забезпечують моніторинг процесів збору та поводження з відходами у реальному часі. Розумні контейнери, обладнані датчиками, можуть надавати цінні дані про рівні заповнення, дозволяючи органам управління відходами оптимізувати маршрути та графіки збору. Наприклад, у Барселоні інтелектуальна система управління відходами під назвою «Smart Waste» використовує ультразвукові датчики в сміттєвих контейнерах для моніторингу рівня заповнення та оптимізації маршрутів збору, що призводить до 30% зниження витрат на збирання відходів.

Системи машино-машинної взаємодії (Machine-to-Machine) дозволяють просто, надійно та вигідно забезпечити передачу даних між різними пристроями. Ці системи полегшують прогнозне обслуговування обладнання для поводження з відходами. Системи M2M забезпечують оптимальний розподіл ресурсів, зниження витрат і мінімізацію впливу на навколишнє середовище. Наприклад, місто Сантандер в Іспанії впровадило інноваційну систему управління відходами за технологією M2M. Розумні урни, обладнані датчиками рівня заповнення та GPS-трекерами, розгорнуті по всьому місту. Дані, зібрані з цих контейнерів, передаються в центральний центр управління, де маршрути збору відходів оптимізуються на основі інформації в режимі реального часу. Ця система забезпечила зниження до 25% витрат на збирання відходів і значного підвищення ефективності роботи.

В системах поводження з твердими відходами до 85% витрат, пов'язаних із поводженням з відходами, припадає на збирання та вивезення. Зростання транспортних витрат має місце при невдалій логістиці транспортних засобів для вивезення сміття та при неналежному обслуговуванні транспортних засобів. Великі відстані транспортування значно зменшують ефективність приватних компаній з вивезення відходів.

Кожне муніципальне господарство має спеціалізовані автомобілі, які збирають і транспортують тверді побутові відходи. Для вивезення відходів з території населених пунктів на звалища чи сміттєпереробні заводи призначені автомобілі – сміттєвози (рис. 29). Сміттєвоз - спеціальний вантажний автомобіль, призначений для завантаження, ущільнення, транспортування та вивантаження сміття. На кожні 400 контейнерів необхідно мати один автомобіль - сміттєвоз. Вони мають бути надійними, максимально герметичними і зручними для проведення процесу завантаження і розвантаження відходів.

Сміттевози характеризуються вантажопідйомністю, об'ємом кузова, типом механізму завантаження (бічний, задній, фронтальний), наявністю механізму ущільнення відходів, способом завантаження (ручний, механізований) і типом кузова (кузовний, рамний бункеровоз, з рухомим підлогою, з крюковим захопленням). Через світову проблему глобального потепління розробляються та вводяться в практичне використання сміттевози з низьким рівнем забруднення на базі електричних та гібридних вантажівок.

Вимоги до сміттевозів з механізованим завантаженням і розвантаженням встановлено в ДСТУ EN 1501-4: 2018 «Сміттевози та їх підіймальні пристрої». Як правило, такі машини мають кузов-контейнер ємністю до 20, рідше до 50 м³, до якого відходи зі сміттевого контейнера завантажуються вручну або механізовано. Особливістю конструкції сміттевозів є їх здатність до підйому та встановлення сміттєвих баків. Для цього автомобіль обладнується гідравлічним механізмом-маніпулятором, яким захоплюють сміттєвий контейнер, піднімають його і потім вміст висипають в кузов. Після чого автомобіль - сміттевоз встановлює бак назад на відповідну площадку. Ці транспортні засоби додатково оснащуються системою гідравлічного ущільнення, що дозволяє збільшити місткість цих вантажівок у 2,0 - 2,5 рази.

Залежно від вантажопідйомності сміттевози поділяються на:

- малого тоннажу - від 1 до 3,5 т;
- середнього тоннажу- від 4 до 5,5 т;
- великого тоннажу - від 5,7 до 12,5 т.

Сміттевози малого тоннажу переважно використовують у містах з вузькими дорогами.

На даний час у світовій практиці намітилася тенденція переходу до централізованої обробки відходів на підприємствах із заводською технологією знешкодження й відновлення корисних вторинних продуктів. Такі підприємства, які створені у великих промислових центрах, як правило, розміщуються на віддаленні від місць утворення певного виду відходів. Заводська технологія переробки відходів вимагає наявності чіткої регламентованої системи збору і систематичної доставки відходів. Спосіб збору і тимчасового збереження відходів визначається їхнім фізичним станом і класом небезпеки компонентів відходів.

У світовій практиці використовуються кілька схем транспортування відходів, що часто комбінуються між собою і доповнюють одна одну.

По першій схемі збір відходів проводиться автомобільним транспортом, що доставляє їх безпосередньо до місця видалення чи обробки на перевантажувальних станціях, де вони ущільнюються і перевантажуються на

великовантажні автомобілі. При цьому перевага віддається подальшому перевезенню відходів в контейнерах.



Рисунок 42 - Автомобіль-сміттевоз на базі шасі автомобіля КрАЗ-5401Н2

По другій схемі завантаження відходів здійснюється у залізничні цистерни, вагони, чи на платформи. При цьому перевага надається контейнерному способу перевезень.

Згідно третьої схеми вивіз відходів за межі міста здійснюють водним транспортом. Впродовж багатьох років щорічно близько 700 тис. т відходів, що збираються в м. Лондон, завантажують на баржі і вивозять по річці Темза. Водяні шляхи також використовують для транспортування відходів таких містах як Антверпен, Женева, Гамбург, Роттердам.

У практиці поводження з відходами вважається економічно доцільним використовувати залізничний транспорт при перевезенні відходів на відстані, що перевищують 150 км. При перевезеннях до 100 км найбільш дешевим є використання автомобільного транспорту. Застосування водного транспорту стає істотно дешевше автомобільного та залізничного у випадку дальності перевезень понад 200 км. При цьому вартість перевезення водним шляхом на баржах є приблизно на 30% нижчою, ніж на залізничному транспорті.

Однієї з перших країн, що впровадили комплексну централізовану систему збору, транспортування, рециклінгу й видалення побутових та промислових відходів у масштабах усієї країни, стала Данія, яка є розвинутою у промисловому відношенні європейською країною з населенням понад 5 млн. чоловік. Велика кількість промислових підприємств, у технологічних процесах яких утворюється значна кількість відходів, створюють небезпеку забруднення

навколишнього середовища, Для Данії, яка є одним з великих постачальників сільськогосподарської продукції, така ситуація є неприпустимою. Кожне підприємство, де утворюються відходи, зобов'язане повідомляти місцеві органи влади про кількість і склад цих відходів, а також проводити заходи по вивозу чи знешкодженню методами, які відповідають рекомендаціям санітарних органів. Місцеві муніципалітети, при необхідності, забезпечують підприємства спеціальними транспортними засобами для доставки відходів у встановлені пункти збору, що знаходяться в їхньому підпорядкуванні. До підприємств – утворювачів відходів не пред'являється вимога проводити відповідну обробку і знешкодження відходів на місці їх утворення, оскільки це може створювати небезпеку з погляду попередження забруднення навколишнього середовища та не вигідно економічно. Система прийому промислових відходів Данії включає 23 централізованих пунктів збору відходів. Централізовані пункти збору розташовуються на відстані не більшою за 50 км від місць утворення відходів. Великі обсяги відходів транспортуються в вагонах, в цистернах або в контейнерах (пастоподібні відходи, осад, пеки).

На першому етапі створення системи поводження з відходами в Данії було визначено проектну кількість відходів, що утворюються, і їхню класифікацію по якісних ознаках. Це дозволило визначити потужність проектного заводу, місця проміжних пунктів збору, необхідну кількість і характер транспортних засобів. Було встановлено, що за рік з різних підприємств країни на переробку може надійти близько 80 тис. т відходів. Ці відходи були розділені на 6 основних груп:

- відпрацьовані мінеральні масла й інші нафтопродукти;
- забруднені органічні розчинники (спирти, ефіри, бензин і інші вуглеводні);
- інші органічні хімічні відходи (залишки від перегонки нафтопродуктів, відходи бітуму, залишки пестицидів, відходи фармацевтичного виробництва, тощо);
- рідкі хлоровані вуглеводні, що містять галогени (розчинники і їхньої суміші);
- неорганічні хімічні відходи (відпрацьовані електроліти з виробництва гальванопокрыттів, відпрацьовані кислоти з травильних ванн, рідкий осад, що містить гідрооксиди металів, відпрацьовані луки тощо);
- тверді відходи (пакувальні матеріали, пластмаси, побічні хімічні продукти).

Відходи з олій- і нафтопродуктами містять, як правило, значну кількість води і розділяються на масляну і водяну фази в резервуарах, де відбувається їхня сепарація шляхом відстоювання. З резервуарів рідкі відходи перекачуються насосами в цистерни, а осад піднімають з дна резервуара шнеком та завантажують у бочки, які щільно закриваються кришками.

3.2.Прес-компактори та вертикальні пакувальні преси

В останні роки структура побутових відходів продовжує кардинально змінюватися. Харчова органіка в значній мірі стала перебувати у змішаному стані з полістирольною, поліетиленовою та скляною тарою. Це стало причиною значного зниження щільності твердих побутових відходів. Утворення значних обсягів відходів з невисокою щільністю викликає необхідність їх додаткового ущільнення.

Проведення додаткового ущільнення зібраних відходів значно зменшує об'єм твердих побутових відходів, роблячи їх компактнішими та економічно більш ефективними для обробки, зберігання та транспортування. Прес – компактор (ущільнювач відходів) - це машина для стиснення та ущільнення різних типів відходів до менших лінійних та об'ємних розмірів. Ущільнювачі відходів зазвичай використовуються в галузях, де утворюється велика кількість об'ємних відходів, наприклад у роздрібній торгівлі, виробництві, готельному бізнесі та охороні здоров'я. Ущільнення дозволяють оптимально використовувати місткість сміттєзбиральних ємностей і контейнерів. Конструктивно прес - компактори виробляються з широким рядом типів і розмірів, для задоволення різноманітних потреб поводження з відходами. Найбільш поширені компактори призначені для збирання твердих побутових і комунальних відходів, тоді як інші спеціалізовані для конкретних промислових відходів.

Прес - компактори дозволяють підтримувати робоче середовище мегаполісів в більш чистому та екологічно безпечному стані. Ущільнені накопичені відходи в меншій мірі виділяють неприємні запахи та запобігають поширенню шкідників і паразитів. Це вкрай важливо в густонаселених районах, де скарги жителі висловлюють скарги на неприємний запах та розмноження шкідників. З метою зниження транспортних витрат доцільно транспортувати відходи також у максимально стисненому стані. Завдяки зменшенню обсягу відходів, прес - компактори дозволяють ефективніше використовувати транспортні засоби для збирання, зменшуючи кількість поїздок, витрати на паливо та знос транспортних засобів.

Щільність відходів є важливою характеристикою, яку необхідно враховувати при їх зберіганні і транспортуванні (табл.12). Природно, що ті відходи, які мають малу щільність за рахунок наявності повітряних проміжків, будуть характеризуватися високим ступенем стисливості. Полімерні пляшки, стаканчики і коробки при стисканні можуть зменшити займаєми об'єм більш ніж у десять разів. Тому, незалежно від обраних подальших технологій

поводження з твердими побутовими відходами - рециклінгу або захоронення, проводиться їх неодноразове ущільнення.

Можливості зменшення загального обсягу твердих побутових відходів під час перевезення й складуванні на полігонах визначаються їхніми компресійними властивостями, тобто залежністю ступеню ущільнення від тиску пресування. При пресуванні твердих побутових відходів у сміттєвозі при питомому тиску 0,1МПа, їхній об'єм зменшується в 1,5...3 рази. При пошаровому ущільненні на полігонах при питомому тиску, що дорівнює 0,1 МПа, об'єм твердих побутових відходів, вивантажених із сміттєвозу, зменшується у 3...4 рази. При підвищенні питомого тиску до 0,3...0,5 МПа відбувається руйнування різного роду пакувань, спресовування паперу та плівок та видавлювання вологи. Об'єм твердих побутових відходів залежно від їх складу та вологості при обробці в компакторі може бути зменшений як мінімум у 5 разів від первинного, отриманого при зборі в контейнерах. Щільність відходів при цьому може досягати величини понад 0,8 т/м³.

Щільність твердих побутових відходів змінюється залежно від благоустрою житлового фонду та пори року. Для житлового фонду в мегаполісах щільність твердих побутових відходів становить 0,18...0,25 т/м³, для невпорядкованого житлового фонду із пічним опаленням вона зростає до 0,3...0,6 т/м³. Сезонні зміни щільності твердих побутових відходів пов'язуються зі збільшенням долі відходів овочів і фруктів з 20...25% навесні та до 40...55% восени. Прогнозується, що у майбутньому щільність твердих побутових відходів у великих містах за рахунок збільшення кількості різних полімерних пакувальних матеріалів може знизитися до значень 0,1 т/м³.

Таблиця 12

Щільність деяких складових твердих побутових відходів

Тип матеріалу	Навалом, кг/м ³	В тюках, кг/м ³
Картон	30 – 60	360 – 650
ПЕТ -пляшки	18 – 24	120 – 300
Поліетилен	13 – 15	120 – 300
Алюмінієві банки	30 – 45	90 – 300
Консервні сталеві банки	90 – 105	300 – 600
Папір	300 – 360	600 – 715
Газети	210 – 300	450 – 600

Прес - компактори використовують для ущільнення відходів на сміттєпереробних заводах, промислових підприємствах, в торгових центрах,

ринках, готелях, медичних установах, портах, вокзалах, аеропортах, митних терміналах. Компактори переважно встановлюють на відкритих майданчиках, тому відпадає необхідність виділяти окреме приміщення для накопичення відходів і їх захисту від атмосферних опадів. Використання прес - компакторів є зручним, дозволяє заощадити корисний простір, необхідний для розміщення кількох контейнерів з неспресованими відходами. Один прес - компактор об'ємом до 20 м³ куб. може замінити собою 80...100 контейнерів об'ємом 0.8 м³.

Вологість твердих побутових відходів може знаходитися в широких межах. Вона визначається, переважно, вологістю складових відходів, умовами та терміном їх зберігання. У загальному випадку вважається, що за звичайних умов зберігання вологість твердих побутових відходів складає близько 35%. Якщо папір, картон, деревина у своєму природному стані вміщують не більше 20...40% вологи, то вологість харчових відходів часто перевищує 60%, а в окремих випадках досягає 95%. Суттєво на вологість твердих побутових відходів впливають умови їх зберігання та доступність для попадання вологи з атмосферних опадів.

При підвищенні питомого тиску до 10...20 МПа відбувається віджимання 80–90% вологи, що міститься у зібраних твердих побутових відходах. При цьому об'єм відходів знижується додатково у 2,0...2,5 рази, а щільність підвищується в 1,3...1,7 рази. При подальшому підвищенні питомого тиску до 60 МПа відбувається майже повне віджимання вологи, але об'єм відходів вже змінюється не суттєво.

Прес - компактор складається з двох частин: пресового механізму, який забезпечує зменшення об'єму відходів до 20 раз і герметичного накопичувального бункера для збору відходів. Відходи запресовуються в контейнер, а коли контейнер заповнюється, його від'єднують від пресувального агрегату і транспортують на сміттєзвалище. Після випорожнення пустий контейнер повертається на місце попередньої локації і знову приєднується до компактора для подальшого використання в місцях, де утворюється значна кількість відходів.

Сміттєприймачі у прес-компакторах можуть бути пристосованими:

- для ручного наповнення;
- для контейнерного – завантаженням з дрібних контейнерів;
- для безперервного конвеєрного завантаження при розміщенні в кінці стрічки транспортера.

Відходи подаються в приймальний бункер сміттєприймача – воронку, яка закривається автоматично шиберною стулкою. Процес ущільнення відбувається наступним чином: партія відходів під дією механізму пресування

із зусиллям просувається в накопичувальний бункер, де відбувається їх ущільнення за рахунок запресовування наступної партії відходів. Тривалість циклу запресовування становить від 24 до 60 секунд. Управління компактором є програмованим і дозволяє встановити силу тиску і цикл пресування в залежності від типу відходів. Процес пресування відходів є повністю автоматизованим, що зводить витрати часу і зусиль до мінімуму. Цикли ущільнення періодично повторюються до тих пір, поки відходи не досягнуть рівномірного розподілу і потрібної щільності. Коли накопичувальний контейнер стає повністю заповненим відходами, автоматизована система сповіщає про це шляхом подачі звукового або світлового сигналу.

Конструкція пресс-компактора включає:

1. Завантажувальний бункер великого розміру, який забезпечує зручне завантаження. Персоналу не має потреби подрібнювати завантажуваний матеріал на дрібні шматки.
2. Контейнер для зберігання спресованих відходів об'ємом від 20 до 30 м³.
3. Два потужних гідроциліндра, розташованих хрест на хрест, які роблять конструкцію компактною і забезпечують ефективне пресування відходів.
4. Стальна прес-плита, рух якої відбувається по спеціальних напрямних із зносостійкого пластику, що значно знижує рівень шуму і збільшує термін служби компактора.
5. Інспекційні вікна, які забезпечують зручний доступ для обслуговування елементів гідравлічної системи пресування.

До особливостей застосування прес-компакторів відноситься:

1. Універсальність. Прес - компактори для відходів забезпечують ефективне ущільнення різноманітної сировини в широкому інтервалі температур.
2. Використання прес - компакторів (на відміну від звичайних смітєвих баків) знижує розповсюдження неприємних запахів та антисанітарії.
3. Простота експлуатації.
4. Широкий діапазон потужностей. Номенклатура обладнання для ущільнення відходів включає як домашні преси, призначені для використання в побуті, так і потужні промислові установки, здатні щоденно проводити обробку десятків тонн відходів.

Прес - компактори використовують для ущільнення відходів на сміттєпереробних заводах, промислових підприємствах, в торгових центрах, ринках, готелях, медичних установах, портах, вокзалах, аеропортах, митних терміналах. Компактори переважно встановлюють на відкритих майданчиках, тому немає необхідності виділяти окреме приміщення для накопичення відходів і їх захисту від атмосферних опадів. Використання прес-компакторів

є зручним, дозволяє заощадити корисний простір, необхідний для розміщення кількох контейнерів з неспресованими відходами.

Прес-компактори за конструкцією поділяються на стаціонарні і мобільні. Стаціонарні прес - компактори характеризуються високою продуктивністю і використовуються на великих підприємствах (рис.43). Стаціонарні ущільнювачі закріплюються болтами на фундаментах. Стаціонарні ущільнювачі складаються з головного ущільнювача та приєднувального контейнера. Існують спеціальні рішення по будівництву станцій перевантаження на основі стаціонарних компакторів, для скорочення витрат при транспортуванні відходів на полігон.



Рисунок 43 - Стаціонарний прес - компактор ECOMP

Для ущільнення картону, паперу, ПЕТ пляшок, деревних і змішаних відходів більш раціонально застосовувати шнекові прес - компактори з підвищеною продуктивністю (рис.44). Такий ефект досягається за рахунок того, що шнековий компактор не тільки ущільнює, але і додатково подрібнює відходи перед ущільненням у контейнері. Шнековий ущільнювач має обертовий шнек усередині живильника. Коли відходи потрапляють у збірну камеру, шнек подрібнює та транспортує їх у накопичувальний контейнер.

Мобільні прес - компактори для відходів є пересувними (рис.45). Більшість конструкцій мобільних прес - компакторів пристосовано для транспортування на вантажних автомобілях, оснащених крюковим захопленням.

Мобільні компактори складаються з пресувальної частини та накопичувального сміттевого контейнера, які об'єднані в єдиний нероз'ємний виріб. При вивезенні відходів заповнений моноблочний компактор транспортується нерозбірно – пресовий вузол не відділяється від накопичувального контейнера. Після спорожнення його можна повернути на

місце для подальшого використання. Така конструкція є оптимальною для збору і ущільнення сухих відходів для компаній, що мають обмежену виробничу площу. Мобільні прес - компактори застосовують у великих торгових центрах, для утилізації паперової і картонної тари, а також у готелях, медичних установах, закладах громадського харчування тощо.



Рисунок 44 - Конструкція шнекового прес - компактора: 1-привід шнека; 2-шнек; 3-завантажувальний бункер; 4-контейнер.



Рисунок 45 – Моноблочний мобільний прес - компактор

Сучасні компактори відходів часто включають керуючі органи з інноваційними функціями, такими як автоматичні датчики, цифрове керування та механізми безпеки. При наближенні користувачів з відходами, які підлягають видаленню, до компактора моделі SmartPack внутрішній датчик розпізнає таке наближення, надсилаючи сигнал для автоматичного відкриття завантажувального вікна. Це дозволяє скидати відходи, не вступаючи у контакт з забрудненими поверхнями компактора.

Для зменшення об'єму сухих відходів також використовують вертикальні гідравлічні пакетувальні преси. Дане устаткування дозволяє щільно спресовувати вторинну сировину у тюки, які обв'язуються дротом. Невеликі габарити і простота управління є основними перевагами цього виду обладнання. Вертикальні пакувальні преси з зусиллям пресування в 5...6 тонн часто використовуються при обмеженому просторі (в готелях, ресторанах, магазинах, офісних центрах, а також в пунктах прийому вторинної сировини). Вони застосовуються для пресування картону, паперу, фруктових ящиків, плівки, металевих банок, ПЕТ пляшок, невеликих пустих металевих баків і бочок. Пакетувальні преси виробляються різної конструкції, споживаної потужності, зусилля пресування, тощо (рис.46). Основною характеристикою пакетувального преса є лінійні розміри тюка, у який спресовуються відходи. При виборі характеристик преса також оцінюється розмір завантажуваних відходів у камеру преса. Наприклад, якщо розмір листів відходів будуть більшим за розміри камери преса або його завантажувального вікна, то доведеться попередньо вручну ламати або розрізати такий матеріал.

Ребриста поверхня стінок преса запобігає розширенню матеріалів після зняття зусилля пресування і дозволяє отримувати щільний тюк вагою до 60 кг. Зсувна бічна стінка преса робить вивантаження сформованого тюка швидким і зручним.



Рисунок 46 – Вертикальні пакетувальні преси

Вертикальні пакетувальні преси ідеально підходять для організацій, в яких не утворюються великі обсяги відходів, а також не мають достатньо місця для їх масової переробки та пресування.

3.3.Станції перевантаження відходів

Якщо кінцевий пункт розміщення відходів знаходиться на значній відстані від територій, в яких вони утворюються, доцільним є використання станцій перевантаження. Перевантажувальні є об'єктами поводження з відходами, експлуатація яких дозволяє зменшити витрати на транспортування, і є важливою складовою інтегрованої муніципальної системи управління твердими відходами. Перевантажувальна станція - це центральний об'єкт, де тверді побутові відходи з багатьох транспортних засобів збирання об'єднується для завантаження у більший транспортний засіб, наприклад, тягач із причепом. На перевантажувальній станції відходи проходять часткове сортування, ущільнюються та відправляються далі до регіонального центру, де завершується їх сортувальна переробка або захоронення. Для доставки відходів на звалище, їх перевантажують у великотоннажні транспортні засоби, які є менш затратними для пересування по дорогах, ніж сміттєзбиральні автомобілі.

Основною перевагою станцій перевантаження відходів є оптимізація логістики утилізації великих об'ємів відходів при послідовному транспортуванні на великі відстані. Виходячи з положень про охорону навколишнього середовища застосування станцій перевантаження дозволяє віддалити полігони для складування твердих побутових відходів від межі великих міст. Станції перевантаження відходів доцільно застосовувати, якщо відстань від місць збирання до місць знешкодження твердих побутових відходів перевищує 20 км, що дозволяє знизити інтенсивність руху на приміських транспортних магістралях. При використанні станцій перевантаження забезпечується зниження сумарної витрати палива потужними транспортними засобами, у порівнянні з одноетапним вивезенням автомобілями - сміттєвозами. Завдяки ущільненню твердих побутових відходів досягається максимальне використання корисної вантажопідйомності транспортних сміттєвозів.

На станції з прямим розвантаженням відходи з кількох міських автомобілів – сміттєвозів спорожняються безпосередньо в більш місткий транспортний засіб (рис.47). На станціях із розвантажувальним типом відходи спочатку вивантажується в бункер або на платформу, а потім переміщуються

по лінії сортування, з подальшим завантаженням твердих відходів у великотоннажний транспортний засіб.

За виконанням станції перевантаження відходів бувають одно- і дворівневі. На однорівневих станціях в якості вантажопідйомних механізмів використовують стрічкові, пластинчасті або скребкові транспортери, грейферні ківші або скіп-підйомники. Більшого поширення набули станції перевантаження виконані у двох рівнях з різницею відміток між нижнім і верхнім ярусом 5...7 м. На верхньому рівні на естакаді виконують розвантаження відходів з транспортних сміттєвозів у приймальні бункери - накопичувачі, а на нижньому – завантаження відходів у транспортні сміттєвози. Місткість бункера-накопичувача повинна забезпечувати запаси твердих побутових відходів для безперебійної роботи станції перевантаження відходів на випадок нерівномірної доставки відходів. З естакади тверді побутові відходи транспортером завантажуються в накопичувальний бункер преса-компактора. На стрічці транспортера може проводитися попереднє сортування з відбором великогабаритних відходів, картону, плівки, металу. Зменшення об'єму оброблених відходів досягається їх дробленням, подрібненням і пресуванням. У приймальному блоці за допомогою преса відходи завантажуються у накопичувальний контейнер великого об'єму (рис. 48).

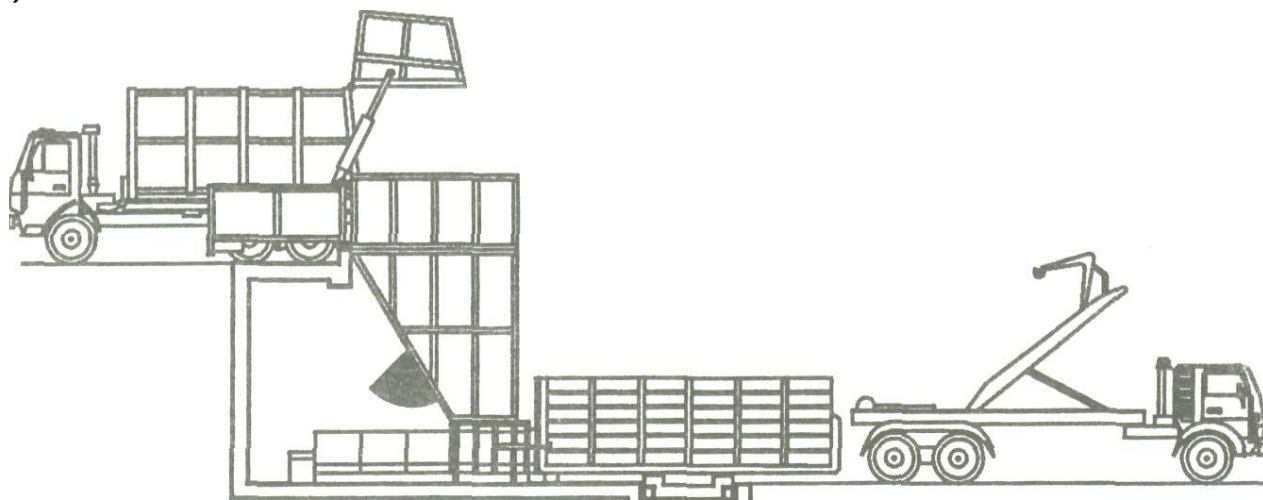


Рис.47. Сміттєперевантажувальна станція контейнерного типу

Після заповнення і додаткового пресування, вагонетка під'їжджає під заповнений контейнер і переміщує його на вибране місце. Порожній контейнер вагонеткою подається до компактора на заміну і цикл завантаження повторюється. Заповнений накопичувальний контейнер завантажується на тягач з маніпулятором типу multi - lift і вивозиться на сміттєпереробне підприємство чи полігон, вивантажується і у випорожненому стані

повертається на станцію (рис.38). За продуктивністю станції перевантаження відходів підрозділяються на три групи:

- малі (до 50 т/добу);
- середні (50-150 т/добу);
- великі (понад 150 т/добу).

Великі перевантажувальні станції можуть обробляти до 500 тонн сміття на добу.



Рисунок 48 - Станція перевантаження твердих побутових відходів у прес – компактор



Рисунок 49 - Тягач з маніпулятором типу «multi – lift» в процесі завантаження накопичувального контейнера перед вивезенням для утилізації

Станція перевантаження відходів є ключовим елементом при розподіленні для вивезення відходів на кілька етапів. При цьому схема транспортування відходів «Місце накопичення відходів - майданчик відновлення/захоронення» замінюється на локальну «Місце накопичення відходів - станція перевантаження» і транспортну складову «станція перевантаження - майданчик відновлення/захоронення». На першому етапі сміттєвози невеликої місткості, які легко переміщуються в містах по тісним проїздам та дворам, доставляють зібрані на закріпленій території тверді побутові відходи на станцію перевантаження, де сміття запресують в спеціальні накопичувальні контейнери великого об'єму (до 30 м³). На другому етапі ці контейнери з ущільненими відходами вивозяться великовантажними сміттєвозами на полігон або сміттєпереробне підприємство, які розміщуються на відстані від населеного пункту. Причепи з відкритим верхом можуть перевозити до 76 м³ неущільнених відходів до регіонального місця переробки або захоронення. Використовуються також закриті причепи-ущільнювачі.

Перевезення контейнерів з відходами з використанням великотонажних автомобілів на станціях перевантаження відходів підвищує ефективність транспортування та зменшує споживання палива транспортними засобами віднесеного до перевезеного об'єму відходів. Це сприяє скороченню транспортних витрат, а також зменшує викиди CO₂, запобігаючи розвитку глобального потепління.

Станції перевантаження відходів, які розташовані в межах міста, повинні розміщуватися в закритих, обладнаних системою вентиляції і очищення повітря, приміщеннях. Розвантаження сміттєвозів необхідно здійснювати в приймальні бункери пресів або безпосередньо у великовантажний сміттєвоз. При використанні станцій з пресуванням твердих побутових відходів необхідно передбачати комплекс заходів щодо збирання, очищення і скидання фільтрату у встановленому порядку в каналізацію.

3.4.Сортування твердих побутових відходів

До складу твердих побутових відходів завжди входить ряд фракцій, які рециклінговому відновленню для виробництва різних матеріалів. В основу сучасних сміттєпереробних підприємств покладено технологію розділювання відходів на складові. Сміттєсортувальні підприємства обробляють тверді відходи виробництва і споживання, як змішані, так і зібрані окремо, з метою відбору цінних вторинних складових для подальшого відновлення. З підвищенням витрат на захоронення твердих побутових відходів на полігонах, організації, що відповідають за їх вивезення та захоронення, змушені

спрямовувати більше уваги і коштів на розвиток рециклінгу на основі принципів циркулярної економіки.

Сміттесортувальне підприємство являє собою комплекс споруд, які обладнані необхідною виробничою інфраструктурою (під'їзні колії, площадки маневрування, склади, внутрішня система вентиляції, система пожежогасіння, комунікаційні системи) і укомплектований відповідним технологічним обладнанням, а саме механізованими лініями сортування, а також ділянками перероблення відібраних компонентів твердих побутових відходів. Лінія сортування твердих побутових відходів являє собою необхідний набір основного й допоміжного обладнання, розташованого у певній послідовності відповідно до етапів технологічного процесу сортування, який дозволяє виділити із змішаних побутових відходів окремі компоненти, що підлягають подальшій реалізації або переробленню, а залишок спрямувати для подальшого захоронення.

На сьогодні існує можливість відібрати для реалізації до 50% матеріалів, що входять до складу твердих побутових відходів. На сміттесортувальних підприємства проводиться сортування потоку твердих побутових відходів з відбиранням цінної вторинної сировини, такої як макулатура, ПЕТ пляшки, метал, пластик, алюмінієві банки, скляна тара, тощо. Відповідна частина відходів передається для подальшого відновлення методом компостування, а також їх перетворення на енергію (спалювання, газифікація, анаеробне зброджування).

Сортування відходів є обов'язковою підготовчою операцією перед їх спалюванням на сміттєспалювальних заводах. Сортування відходів дозволяє видалити складові, переважно полімери, які при спалюванні ведуть до посиленого забруднення навколишнього середовища. Також з потоку відходів відділяються баластні негорючі складові (скло, бетон, метал), на нагрів яких при спалюванні витрачається значна кількість теплової енергії.

Проведення сортування відходів проводять виходячи з наступних причин:

- намагання досягнення економічності відновлення відходів за рахунок розширення використання вторинних ресурсів;
- заводське сортування відходів дозволяє знизити вимоги до попереднього сортування твердих побутових відходів населенням;
- прагнення зменшення обсягів твердих побутових відходів, які спрямовуються на захоронення;
- прагнення зменшення вмісту полімерних матеріалів у твердих побутових відходах, які спрямовуються на спалювання.

Робота сміттесортувальних підприємств забезпечує:

-збільшення терміну експлуатації полігонів у 3...4 рази і зменшення їх площі у 5...6 разів, а при запровадженні технології повної переробки твердих побутових відходів необхідність у використанні полігонів практично зникає;

-зменшення витрат на транспортування та видалення твердих побутових відходів у 6...8 разів;

-зменшення негативного екологічного впливу на навколишнє середовище від захоронення попередньо сортованих відходів у порівнянні зі спалюванням та захороненням не розсортованих відходів.

У практиці поводження з відходами промислові сміттєсортувальні підприємства з'явилися порівняно недавно. На початку 80-х років перше сміттєсортувальне підприємство було побудовано в м. Гротон (штат Коннектикут, США) для відділення від потоку відходів паперових та пластмасових складових. З огляду на зростаючі обсяги утворення твердих побутових відходів і прагнення поліпшити екологічну ситуацію, роль сміттєсортувальних комплексів постійно зростає. В Україні технологія переробки та сортування твердих побутових відходів стала поширюватися з європейських країн.

Стимулом для розвитку сміттєпереробних підприємств є наявність ринків збуту для реалізації відібраних при сортуванні вторинних матеріалів, та придатність відновлених залишків відходів для спалювання. Станом на кінець 2021 року у 29 населених пунктах України працювали 34 сміттєсортувальні лінії, 1 сміттєспалювальний завод, 3 сміттєспалювальні установки. Завдяки цьому, перероблено та утилізовано близько 9,9 %, з них: 1,66% спалено, а 8,24% побутових відходів потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні лінії.

На відміну від твердих побутових відходів, промислові відходи значно легше піддаються сортуванню, оскільки їх складові мають досить однорідну структуру (наприклад, відходи механічної обробки, друкарські відходи, обрізки шкіри та хутра в легкій промисловості, відходи крупних фракцій в деревообробній промисловості, тощо). Крім того, промислові відходи, як правило, мало забруднені, та мають незначну вологість.

Основні методи розділення твердих побутових відходів, базуються на ручному та механічному сортуванні, які характеризуються різною технологією обробки та ефективністю. Якісне розділення матеріалів має важливе значення для оптимізації відновлення ресурсів, мінімізації використання звалищ і зменшення впливу на навколишнє середовище, пов'язаного з розміщенням твердих побутових відходів.

Ручне сортування передбачає фізичне розділення матеріалів зі складу твердих побутових відходів вручну. До недоліків методу ручного сортування

відноситься необхідність використання ручної праці та відповідно більш високі вимоги до техніки безпеки. Процес сортування сміття проводиться в умовах інтенсивного виділення із відходів летких речовин і смердючих запахів, через що обслуговуючий і ремонтний персонал повинний використовувати індивідуальні засоби для захисту органів дихання в респіраторах, а лінія сортування є джерелом забруднення навколишнього середовища. Найбільш небезпечним моментом є можливий контакт людини з рухомою транспортерною стрічкою, в результаті чого можуть бути отримані різні виробничі травми. Працівники розбирають тверді побутові відходи шляхом візуальної ідентифікації та відокремлення різних типів матеріалів, наприклад, папір, дерево, скло, метал і пластик. Оператор проводить візуальний відбирає корисні фракції на сортувальному конвеєрі і вручну скидає їх в спеціальні контейнери. Цей метод зазвичай використовується при невеликих обсягах сортування або в ситуаціях, коли механічне сортування є не ефективним. При цьому леткі речовини, які виділяються зі складових твердих побутових відходів, є корозійноактивними для механізмів технологічної лінії і конструкцій будівлі, а також шкідливими для здоров'я людей. Робочий одяг операторів сортування повинен виключати можливість безпосереднього контакту людини з твердими побутовими відходами. Поверх одягу має одягатися прогумований фартух. Взуття також має бути прогумованим. Оскільки в твердих побутових відходах можуть знаходитися різні колючі та ріжучі предмети, а також токсичні речовини, робітники повинні використовувати щільні матерчаті рукавиці. Для зниження негативного впливу умов виробництва повинна передбачатися періодична дезодорація і санітарна обробка робочих ділянок лінії сортування.

Ручне сортування є адаптивним і точним, але трудомістким, тоді як механічне сортування є ефективним і підходить для великомасштабних операцій, але вимагає значних інвестицій і кваліфікованого обслуговування. Механізоване сортування базується на використанні машин та автоматизованих систем для розділення матеріалів. Цей метод, як правило, використовується на підприємствах, для яких характерні великі обсяги переробки відходів, а ручне сортування є недоцільним з економічної точки зору.

Сміттесортувальні підприємства застосовують ряд типових процесів обробки відходів (табл.13):

- подача і відсів дрібних фракцій та ряд інших операцій відбуваються в автоматичному режимі за допомогою конвеєрного обладнання та сепараторів;
- оператори на лінії сортування вручну відокремлюють відходи великого розміру (наприклад, пляшки для офісної води), цінні предмети (наприклад, мідний дріт або двигуни) і забруднювачі (наприклад, штучну шкіру, батарейки);

- барабанні сита або вібраційні грохоти відсіюють дрібні складові, які не ефективно відділяти на сортувальному обладнанні;
- балістичний сепаратор відокремлює плоскі предмети (наприклад, листи паперу) від тривимірних (наприклад, алюмінієвих банок і пластикових пляшок) і більш важких матеріалів (наприклад, скла та металу);
- магнітний сепаратор відбирає феромагнітні чорні (залізо та сталь) метали з потоку відходів;
- повітряний класифікатор видуває шматки паперу і поліетиленової плівки з потоку відходів;
- електродинамічний вихрострумний сепаратор видаляє немагнітні алюмінієві та мідні вироби з потоку відходів;
- оптичний сортувальник розпізнає різні види пластику за відбитим сигналом у видимому та інфрачервоному світловому спектрі і розділяє пластмаси шляхом вибіркового видування повітряним струменем.

Залишки органічних складових відходів передаються на завод з механіко-біологічної обробки для компостування або анаеробного зброджування.

З залишків горючих складових відходів, найчастіше, низькоякісного паперу та пластику, шляхом пресування виробляють гранульоване паливо для спалювання в промислових установках.

Сміттесортувальний комплекс може бути встановлений на спеціальному майданчику в ангарі або безпосередньо на території полігону. Сучасні сміттесортувальні підприємства характеризуються продуктивністю від 10 до 300 тис. т перероблених відходів на рік. Кожна сортувальна лінія сміттесортувального комплексу проектується індивідуально, залежно від обсягу сміття, що переробляється, його морфологічного складу, а також побажань замовника щодо необхідного комплексу обладнання для переробки сміття та відходів. Продуктивність сортування залежить від розмірів конвеєрного устаткування, кількості постів для роботи персоналу та потужності встановленого обладнання.

За даними Міністерства розвитку громад та територій України сортування твердих побутових відходів в Україні забезпечують 25 сміттесортувальних ліній, які функціонують у Вінниці, смт Муровані Курилівці (Вінницька область), селі Брище (Волинська область), Дніпрі, Краматорську (Донецька область), Запоріжжі, Кропивницькому, Червонограді і селі Єлиховичі (Львівська область), селах Абрикосове та Доброжанове (Одеська область), селі Плебанівка (Тернопільська область), Сумах, Чернівцях. Також сміттесортувальні лінії є у Білій Церкві, Обухові, Бучі, Ірпені, Володарці Київської області і у Києві (6 сортувальних ліній). При цьому загальна частка відсортованих відходів дуже низька.

У 2018 році лише 4,2 % побутових відходів на Україні потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні заводи.

Для проведення проектного аналізу щодо відновлення твердих побутових відходів шляхом сортування, необхідно мати достовірну інформацію про їх фракційний склад. Однак значення національних статистичних даних мають обмежену цінність, оскільки їх рідко можна використовувати з достатньою точністю для місцевих чи регіональних цілей. На місцевому рівні єдиним надійним методом оцінки складу та утворення відходів є використання вихідного методу аналізу та проведення вибірових досліджень.

Таблиця 13

Стаціонарне обладнання сміттєсортувального підприємства

Напрямок використання	Обладнання
Обладнання для переміщення матеріалів	Стрічковий конвеєр Гвинтовий конвеєр Пластинчастий конвеєр Ковшовий елеватор Пневматичний конвеєр Вібраційний конвеєр
Обладнання для розділення компонентів твердих побутових відходів	Магнітний сепаратор Електродинамічний вихрострумовий сепаратор Дисковий грохот Барабанний грохот Вібраційний грохот Рухома ланцюгова завіса Повітряний класифікатор Оптичні системи сортування
Обладнання, яке зменшує розмір шматків відходів	Шредер Дробарка скла Подрібнювач пластмас
Ущільнююче обладнання	Ущільнювач консервних банок Пакетувальний прес Брикетувальний прес Гранулятор
Обладнання для створення сприятливого середовища	Система збору пилу Пристрої приглушення шуму Система придушення запаху Обігрівачі, вентиляційні системи
Інше обладнання	Стаціонарний бункер зберігання відходів Підлогові ваги для контейнерів Автомобільні ваги Конвеєрні ваги

Смітєвози доставляють тверді побутові відходи до смітєсортувального комплексу. При в'їзді на територію комплексу проводиться контроль кожного смітєвоза, його реєстрація та зважування на вагах. Після проходження радіаційного контролю смітєвози направляються на ділянку розвантаження поблизу приймального бункера лінії сортування та розвантажують сміття на бетоновану підлогу.

Ковшовим навантажувачем відбирають великогабаритні елементи сміття, які технологічно не придатні для сортування, або, які підлягають попередньому подрібненню. Решту відходів подають в приймальний бункер живильника завантажувального конвеєра лінії сортування (рис.43). Лінія не може використовуватися для розбирання змерзлих масивів твердих побутових відходів. Такі відходи направляються на захоронення без сортування, або витримуються певний час при плюсовій температурі у спеціальному бункері - накопичувачі.

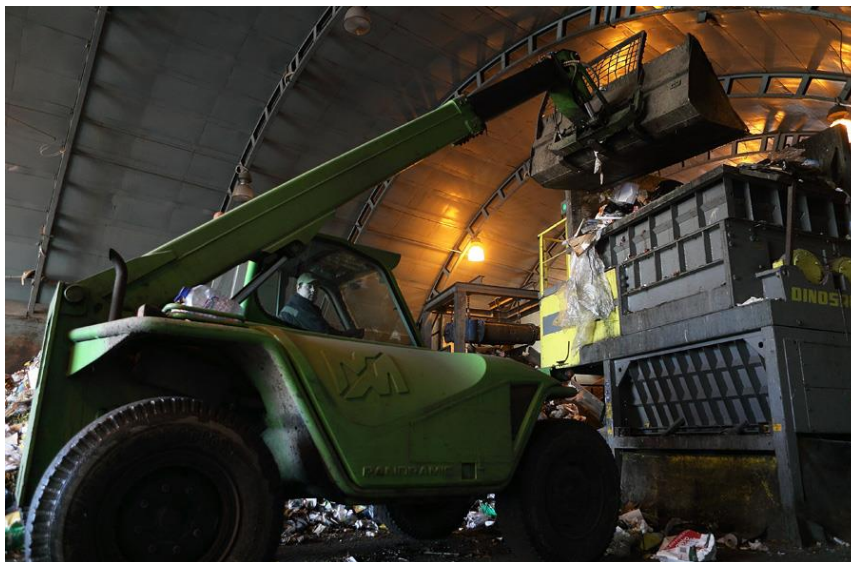


Рисунок 43 - Завантаження відходів в бункер лінії сортування

В нижній частині бункера розміщується похилий стрічковий транспортер, який переміщує завантажені тверді побутові відходи на висоту 2 - 3 м.

Далі відходи подаються транспортером до сепаруючого обладнання, яке проводить відділення шляхом просіювання дрібних органічних та біологічних відходів. На мобільних сортувальних лініях у якості такого обладнання використовують сепаратори барабанного (роторного) типу. Сепаратор являє собою двосекційну барабанну металеву конструкцію з внутрішнім двохзахідним шнеком, яка зазвичай піднята під невеликим кутом до виходу. Секції барабану обшиті металевою сіткою з розмірами комірок 30×30мм та 50×50мм. На внутрішній частині сепаратора розміщено ножі для розрізання

поліетиленових пакетів з відходами (рис.44). Фізичне розділення за розміром досягається, коли матеріал, що подається, обертається по спіралі вздовж обертового барабану, де малорозмірний матеріал, менший за отвори сита, просипається через сито. При обертанні барабана відходи переміщуються в лінійному напрямку на вихід, просіюються на внутрішніх ребрах барабану, мішки з відходами розриваються і розрізаються. Фрагменти відходів, перекочуються і труться між собою, при цьому від них відокремлюються прилиплі дрібні предмети, пісок і пил. Послідовне збільшення розміру комірок (сит) дозволяє проводити поступове відділення і відведення на сортувальні столи фракцій твердих побутових відходів визначених розмірів. Фізичне розділення за розміром досягається, коли матеріал, що подається, обертається по спіралі вздовж обертового барабану, де малорозмірний матеріал, менший за отвори сита, просипається через сито. По мірі переміщення твердих побутових відходів вздовж сепаратора до 30% матеріалу, в основному дрібні вологі органічні та біологічні відходи, відсіюються.

Сепаратор відходів барабанного типу додатково оснащують ультрафіолетовими світильниками, закріпленими на кожусі барабана. Під дією ультрафіолетового випромінення впродовж 8...12 хвилин в період проходження вздовж барабана відходи частково знезаражуються від патогенних бактерій і мікроорганізмів, які присутні на їх поверхні. Сепаратор відходів барабанного типу дає можливість усунути прямий контакт робітників-сортувальників з брудними, потенційно зараженими дрібними відходами.



Рисунок 44 - Сепаратор відходів барабанного типу

Для відсіювання дрібних органічних та біологічних відходів на лініях сортування також широко застосовують вібраційні грохоти у вигляді решіток з отворами 100 мм (рис.45). Відсіяний матеріал розміром менше 100 мм служить сировиною для подальшого компостування. Вихід органічної фракції та піщаних частинок, що спрямовуються на компостування, складає до 25% від маси відходів.



Рисунок 45 - Відсіювання дрібних органічних та біологічних відходів на вібраційному ситі

Вимоги щодо підвищення якості відділених вторинних матеріалів і зниження їх вартості привели до розширення використання механізованих засобів сортування та обробки матеріалів. Однією із механізованих операцій, яку широко застосовують для поділу потоку відходів за щільністю на легку і важку фракції, є аеросепарація - процес збагачення в рухомому повітряному середовищі. В місці перевантаження відходів з однієї стрічки конвеєра на наступну стрічку відходи проходять через камеру з потужним потоком повітря. При цьому легкі компоненти з високою парусністю захоплюються повітрям, осаджуються у циклоні і, далі, вивантажуються на стрічку верхнього транспортного конвеєра. При аеросепарації до легкої фракції відходів переходять макулатура та полімерні плівки. Вихід легкої фракції може складати до 30%. Важка фракція відходів поступає на нижній конвеєр. Найбільш ефективною є двоступінчаста обробка твердих побутових відходів з різними швидкостями руху повітря, що дозволяє більш точно розділювати легку фракцію на макулатуру і полімерну плівку.

Відходи на гумовій транспортерній стрічці проходять під електромагнітним сепаратором (залізовідділювачем), який відокремлює відходи чорних металів від інертної маси (рис.46). Принцип роботи електромагнітних сепараторів полягає у тому, що феромагнітні матеріали, які транспортуються на стрічці конвеєра, притягуються до потужного електромагніта і відкидаються в сторону на ділянці, де сила магнітного поля зменшується (рис.47). Немагнітні складові відходів залишаються на стрічці конвеєра і передаються на подальше сортування.

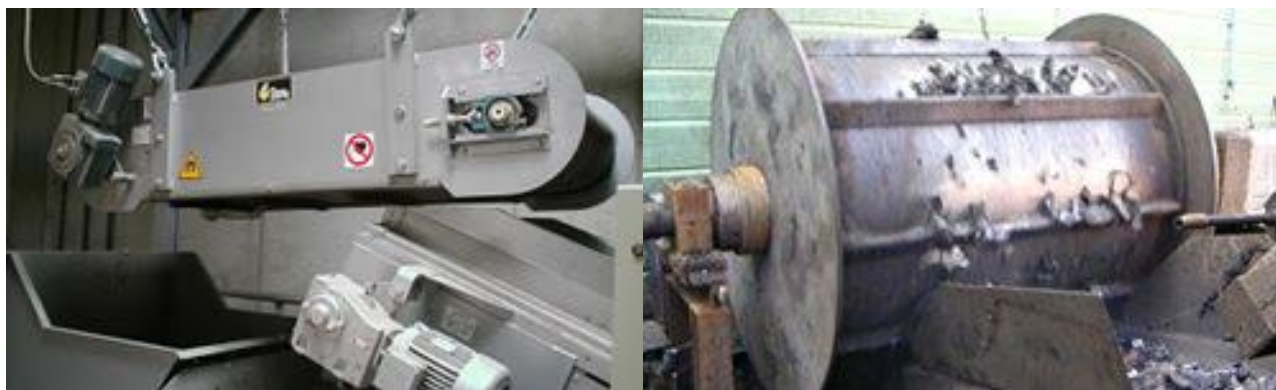


Рисунок 46 - Електромагнітні сепаратори

Ефективність роботи електромагнітного сепаратора залежить від маси, геометрії і магнітної сприйнятливості металевих матеріалів, що відділяються, а також від щільності потоку відходів, що транспортуються і швидкості руху стрічки конвеєра. Швидкість руху стрічки конвеєра з відходами на ділянці розміщення магнітного сепаратора повинна знаходитися в межах 1,25...2,0 м/с. При більш високій швидкості руху стрічки повнота розділення магнітної та немагнітної фракцій знижується. За допомогою встановлених над транспортерними стрічками магнітних сепараторів з відходів відбираються шматки чорних металів. Розміщені у товщі відходів на конвеєрній стрічці шматки чорних металів відсортовуються менш ефективно. Наприклад, консервні банки відбираються з маси відходів у кількості не більше 15%.

Алюмінієві банки і вироби з немагнітних сплавів кольорових металів вибираються вручну і складаються окремо, не змішуючись з іншими металевими матеріалами.

Після видалення з потоку відходів феромагнітної фракції, наступним етапом обробки на автоматизованих ліній сортування, є сепарація немагнітних кольорових металів за допомогою вихрових струмів. Вихроструміві сепаратори ефективно відокремлюючи алюмінієві банки, латунну арматуру та

мідний дріт від інших відходів. Вихрострумний сепаратор може ефективно відсортувати металеві відходи розміром від 3 мм до 100 мм.

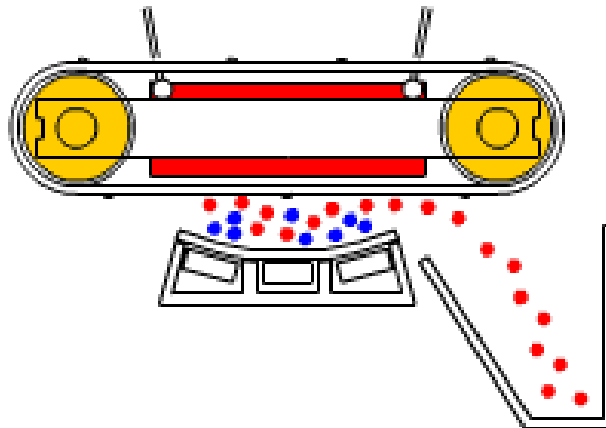


Рисунок 47 - Схема роботи магнітного сепаратора

Принцип роботи вихрострумних сепараторів ґрунтується на електромагнітній індукції. У відходах з кольорових металів під дією потужного змінного магнітного поля, яке у цих металевих шматках викликає виникнення вихрових електричних струмів. Завдяки вихровим струмам у металевій складовій відходів виникають магнітні сили, відомі як сили Лоренца, які забезпечують фізичне виштовхування кольорових металів із потоку відходів, що забезпечує відокремлення їх від неелектропровідних неметалевих матеріалів. Сили Лоренца діють на металеві частинки, відокремлюючи їх від потоку відходів на стрічці конвеєра, в результаті чого досягається бажане розділення кольорових металів і неметалів.

Робочим органом вихрострумного сепаратора є магнітний ротор, який обертається зі швидкістю понад 3000 об/хв, створюючи сильне змінне магнітне поле. На поверхні цього ротора закріплені потужні NdFeB – магніти (орієнтовані по черзі N–S та S–N), які створюють магнітне поле з високим градієнтом. Магнітний ротор зовні оточений зносостійкою оболонкою, яка підтримує конвеєрну стрічку. Це дозволяє ротору обертатися незалежно та з набагато вищою швидкістю, ніж зносостійка оболонка та стрічка конвеєра. Конвеєрна стрічка, яка рухається зі швидкістю 0,5 м/с, переміщує тверді побутові відходи поперек змінного магнітного поля. Приводний барабан і магнітний ротор мають автономні регульовані приводи обертання. При сході потоку відходів з конвеєрної стрічки електромагнітне виштовхування робить траєкторію шматочків з кольорових металів більшою, ніж траєкторію неметалічних складових, що дозволяє розділити потік відходів на дві складові

(рис.48). Використовуючи різницю траєкторії металів та інертної маси, здійснюється їх сепарація.

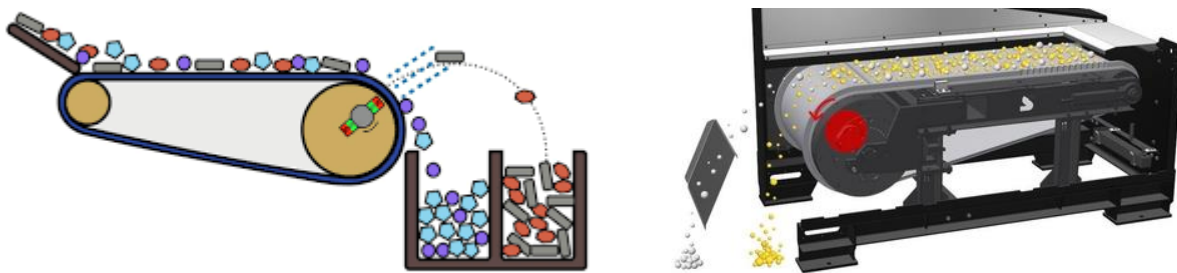


Рис. 48 - Обертовий вихрострумний сепаратор

Відокремлені кольорові метали відкидаються у дальший накопичувальний відсік, а неметалеві матеріали потрапляють в ближній відсік для подальшого відновлення або видалення.

Сортувальна платформа - це головний елемент сортувального комплексу, на якому здійснюється відбір придатних для рециклінгового відновлення фракцій матеріалів з потоку твердих побутових відходів. По повздовжній осі сортувальної платформи розташовано горизонтальний стрічковий конвеєр, який призначений для переміщення твердих побутових відходів. Конвеєр з метою запобігання випаданню відходів з рухомої конвеєрної стрічки обладнується металевими бортами. Швидкість руху стрічки складає 0,1...0,3 м/с. По боках горизонтального стрічкового конвеєра розміщені робочі місця для операторів по вибіру придатних фракцій із загального потоку (рис.49). Кількість робочих місць на сортувальній платформі залежить від продуктивності лінії та кількості видів відходів, які відбираються при сортуванні. З одного боку конвеєра може бути спроектовано від 3 до 20 робочих місць. Їх обладнують люками для скидання відібраних фракцій твердих побутових відходів, сидіннями та спеціальними пристосуваннями для полегшення роботи з розбирання сміття. Зі стрічки конвеєра з потоку відходів робітники - сортувальники вручну відбирають корисні фракції сухих відходів, які мають споживчі властивості і скидають їх через спеціальні люки у накопичувальні ємності, що розміщуються на нижньому поверсі. Накопичувальні ємності з відбраною вторинною сировиною по мірі заповнення передаються на ділянку ущільнення і пакування. Для попередження травмування працівників, сортування твердих побутових відходів здійснюється лише в момент зупинки транспортерної стрічки. Зупинка стрічки проводиться автоматично після переміщення на 2..3 метри. Стрічка може запускатися автоматично з подачею попереджувального світлового або

звукового сигналу, або включатися відповідно до принципу «всі готові», для цього до кожного робочого місця повинні бути підведені сигнальні кнопки. Крім цього, на кожному робочому місці є кнопки екстреної аварійної зупинки стрічки транспортера.

Робочі місця на початку транспортерної стрічки призначені для вилучення з потоку твердих побутових відходів великогабаритних складових, наприклад, листів картону. Також є доцільним проведення видалення з потоку твердих побутових відходів відпрацьованих елементів живлення, електроприладів, ртутних ламп та інших компонентів, що містять токсичні речовини. Така робота забезпечує зниження вмісту токсичних домішок в залишку твердих побутових відходів після сортування, які можуть наносити шкоду оточуючому середовищу після захоронення на полігонах. Умови роботи операторів по вилученню відходів з потоку на конвейерній стрічці є надзвичайно важкими. Для робочих місць характерними є: антисанітарія від контакту з відходами, бруд, сморід, головокружіння від постійного руху стрічки перед очима.

До кожного робочого місця підведена витяжна вентиляція та освітлення, з використанням ламп денного світла. Для створення комфортної температури для робітників в холодну пору року передбачається організований обігрів робочих місць. Деякі робочі місця можуть бути резервними і призначені для розміщення додаткових операторів з метою збільшення продуктивності лінії по сортування відходів.

Відібрані при сортуванні компоненти відходів (макулатура, ПЕТ-пляшки, пластмаса, тощо), в залежності від номенклатури затребуваних для відновлення вторинних матеріалів, при сортуванні можуть розділятися на більше ніж 20 фракцій.

Для відбору легких горючих фракцій із залишків відходів застосовують повітряну класифікацію. Потужна повітродувка всмоктує повітря через патрубок, який розміщений над конвеєрною стрічкою, втягуючи з собою такі легкі матеріали, такі як папір і тонкий пластик. Повітряний потік подається у циклонний сепаратор, де відібрані складові втрачають швидкість і відділяються від потоку повітря. Відділена фракція може бути використаною у якості сировини для виробництва RDF – палива.

Скло з твердих побутових відходів сортується на кольорове і безбарвне і збирається в окремі контейнери. Не відібрані залишки скляного бою, камені та шматки бетону відділяються від решти не розсортованих залишків в кінці процесу сортування балістичним методом і потрапляють в контейнери для відправлення на полігонне захоронення. Балістичний сепаратор розділяє відходи з різною щільністю на три фракції. Лопаті сепаратора відкидають відходи вперед і вгору. Траєкторія польоту відходів при балістичному

сортуванні визначається їх індивідуальними фізичними характеристиками, тим самим забезпечується поділ відходів на складові: на легкі і важкі, плоскі і об'ємні, дрібні і великі. При балістичній сепарації відходи додатково звільняються від пилу.

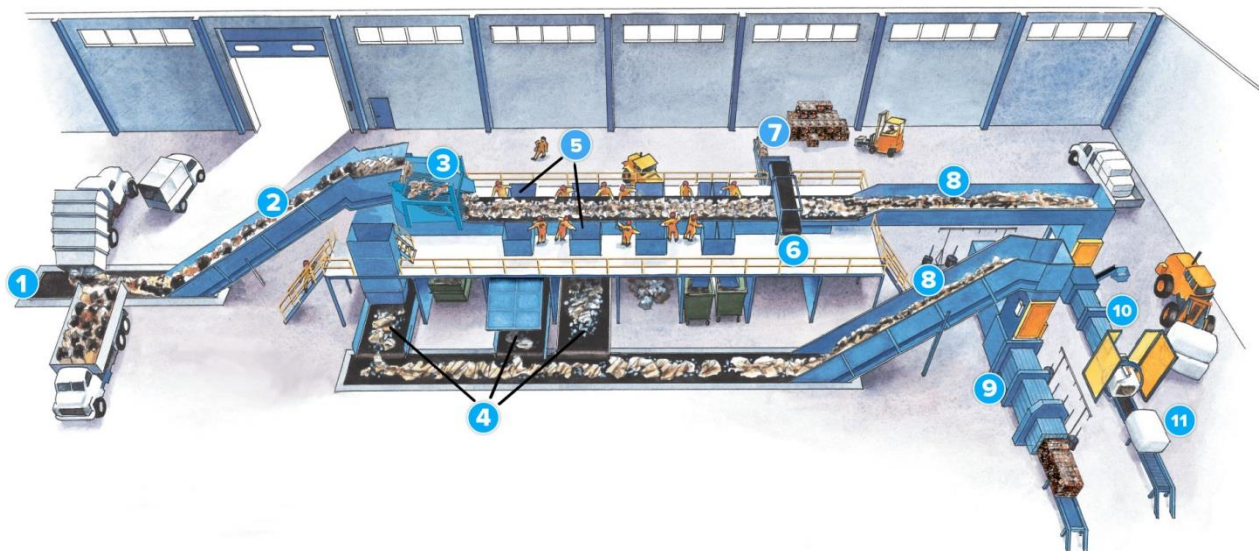


Рисунок 49 - Лінія сортування твердих побутових відходів: 1 - ділянка розвантажування сміттєвозів; 2 - завантажувальний конвеєр; 3 - вібраційний стіл; 4 - бункерні конвеєри (передача відібраної сировини на завантажувальний конвеєр преса); 5 - сортувальна платформа з робочими місцями операторів; 6 - магнітний сепаратор; 7 - прес для ущільнення металевої фракції в пакети; 8 - завантажувальний конвеєр; 9, 10 - пакетувальні преса для різних видів вторинної сировини; 11 - пакувальний пристрій.



Рисунок 50 - Сортування відходів на ділянці сортувальної лінії

Відібрані папір, картон, пластик накопичуються у контейнерах. По мірі накопичення визначеного обсягу, такі фракції відходів вивантажуються на живильник автоматизованого преса вторинної сировини для пакування шляхом пресування у тюки. Для ущільнення і пакування відібраної з відходів вторинної сировини застосовують каналні преси безперервної дії (зусилля пресування від 40 до 140 т). Для збереження форми спресованих тюків їх обв'язують кількома рядами дроту за допомогою автоматичного пристрою (рис.51). Пресування забезпечує зниження транспортних витрат при перевезенні вторинної сировини. Наприклад, у кузов вантажного автомобіля може поміститися всього 320 кілограм не спресованих ПЕТ - пляшок.



Рисунок 51 – Канальний пакетувальний прес для макулатури

До макулатури, яку відібрано з твердих побутових відходів, ставляться вимога: перед пресуванням її вологість не повинна перевищувати 50...60%, а рівень забруднення - 20%.

Обв'язані дротом відходи кожного виду в тюках перевозяться навантажувачем на склад вторинної сировини. Відібрані фракції складуються на спеціально обладнаних майданчиках для зберігання вторинних ресурсів, звідки потім вивозяться автотранспортом до споживачів. Склад зберігання макулатури, ганчір'я, металів представляє з себе не опалювальне закрите сховище ангарного типу (рис.52). Пластмаса, гума, склобій можуть зберігатися на відкритих майданчиках, обгороджених парканом.

Залишки твердих побутових відходів після сортування, що представляють собою дрібне сухе сміття, спресовують у тюки або насипом транспортують на полігон для захоронення або компостування.



Рисунок 52 - Склад розсортованої вторинної сировини.

Навесні 2016 року на санітарному полігоні підприємства «Екостайл» (м.Кропивницький) запрацювала мобільна сортувальна лінія (рис.53). Потужність цієї лінії дозволяє обробляти до 60 тонн твердих побутових відходів за робочу зміну. Сортувальна лінія дозволяє вирішити наступні екологічні проблеми Кропивницького:

- видалення із загальної маси складові відходів, що не розкладаються (скло, пластик, поліетилен, тощо);
- зменшення викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище міста;
- видалення легкозаймистих відходів;
- зменшення території для захоронення сміттєвих відходів (лінія дозволяє знизити обсяг захоронення на 8...15%).



Рисунок 53 - Мобільна сортувальна лінія продуктивністю 50 т/рік підприємства «Екостайл» (м.Кропивницький)на території звалища твердих відходів

Головні проблеми, пов'язані з експлуатацією ліній сортування відходів:

- значне використання ручної праці, низький рівень автоматизації;
- шкідливі умови роботи працівників (забруднення робочих місць, сильний шум);
- нерозвиненість мережі підприємств по переробці вторинних ресурсів, що веде до значних транспортних витрат по доставці вторинної сировини від ліній сортування відходів до замовників;
- складність візуальної ідентифікації та відокремлення різних видів пластику один від одного.

3.5.Автоматизоване сортування відходів

Перспективною альтернативою ручному сортуванню відходів розглядається автоматизоване сортування, яке базується на оптичному розпізнаванні об'єктів за формою та матеріалом, з якого вони виготовлені.

Процес сортування найбільш ефективно здійснюється на рухомій стрічці конвеєра, з диференційованим переміщенням окремих видів відходів в спеціалізовані контейнери або на допоміжні конвеєри. Автоматизована лінія сортування відходів являє собою послідовно розташовані сепаратори різної конструкції, пов'язані між собою конвеєрами, для поетапного поділу потоку змішаних відходів. Технологія оптичного сканування матеріалів дозволяє точно розрізняти у потоці складові твердих побутових відходів. Поштовхом для прискореного розвитку методу автоматизованого сортування стало створення інтелектуальних систем розпізнавання об'єкта на рухомій стрічці конвеєра з подальшим його відділенням за допомогою мехатронних пристроїв. Застосування такого обладнання вирішує проблему усунення безпосереднього контакту людини зі шматками відходів на конвеєрній стрічці. Роботи-маніпулятори за заданою програмою відбирають з потоку відповідний тип об'єкту відходів.

Розпізнавання здійснюється шляхом порівняння спектральної характеристики відбитого світлового сигналу від поверхні матеріалу, що розпізнається, з інформацією, що міститься в базі даних системи. Різні органічні сполуки по-різному поглинають світло певних довжин хвилі в залежності від молекулярної природи матеріалів. Відповідно, сортувальне обладнання забезпечує функцію розпізнавання матеріалів шляхом оптичного аналізу довжини хвилі відбитого світла. Різниця у поглинанні та відбитті світла виникає через різний характер коливань наявних у полімерному матеріалі хімічних зв'язків (C–H, O–H тощо). Наявність різних сполук та хімічних

елементів, що містять полімери, визначають утворення різних спектрів поглинання. Датчики ліній автоматичного сортування дозволяють розрізняти матеріали за специфічним для кожного матеріалу спектром відбиття і розрізняти компоненти, які можуть візуально не відрізняються один від одного. Стає можливим сортування полімерів за рахунок аналізу відбитого сигналу в інфрачервоному діапазоні від поліетилену, поліпропілену, полістиролу, полівінілхлориду та інших пластиків, візуальне розділення яких є ускладненим.

Для визначення типів пластику найбільш часто використовують інфрачервоні датчики відбиття, які вимірюють інтенсивність світла, що відбивається від об'єкта у інфрачервоному діапазоні, який коливається від 750 до 2500 нм,

Для ідентифікації поверхню відходів на конвеєрній стрічці опромінюють світлом від галогенних ламп. При цьому специфічні відбиті сигнали отримують від двох датчиків. Перший датчик налаштований на світло видимого спектру і забезпечує розпізнавання кольору матеріалу відходів, а другий датчик реагує на світло з довжиною хвилі, яка відповідає інфрачервоному діапазону, і визначає тип аналізуемого полімерного матеріалу. Відходи, які поступають для сортування, рівномірно подаються по транспортеру до області розміщення датчиків (рис.54). Порівнюючи сигнали від датчиків з базою даних, система впродовж мілісекунди розпізнає колір і вид аналізуемого матеріалу. Точність сортування забезпечується високою щільністю сканування поверхні конвеєра з матеріалом (320 тис. точок в секунду). Можливість ідентифікації за кольором і хімічним складом більше тисячі різних матеріалів відкриває широкі перспективи промислового застосування даних технологій.

Сортування проводиться відповідно до завдання, яке закладено у комп'ютерну програму. Якщо у системі запрограмовано завдання виділяти з відходів конкретний матеріал, то при збігу параметрів спектрів на блок пневматичних клапанів надійде керуючий сигнал. В кінці транспортера знаходиться один або два виконавчі модулі з пневматичними дюзами. В момент проходження розпізнаного елемента над відповідними пневматичними дюзами, пневматичні клапани відкриваються, і шматок полімерного відходу потоком повітря видувається із загального потоку. При цьому інші складові відходів продовжують подальший рух по технологічному ланцюгу.

Використання обладнання для автоматичного сортування матеріалів з системою оптичного розпізнавання дозволяє підвищити точність та продуктивність сортування матеріалів та підвищити відсоток відібраних фракцій у порівнянні з ручним сортуванням. Комплекс автоматичного

сортування передбачає з боку персоналу лише контроль за роботою обладнання.

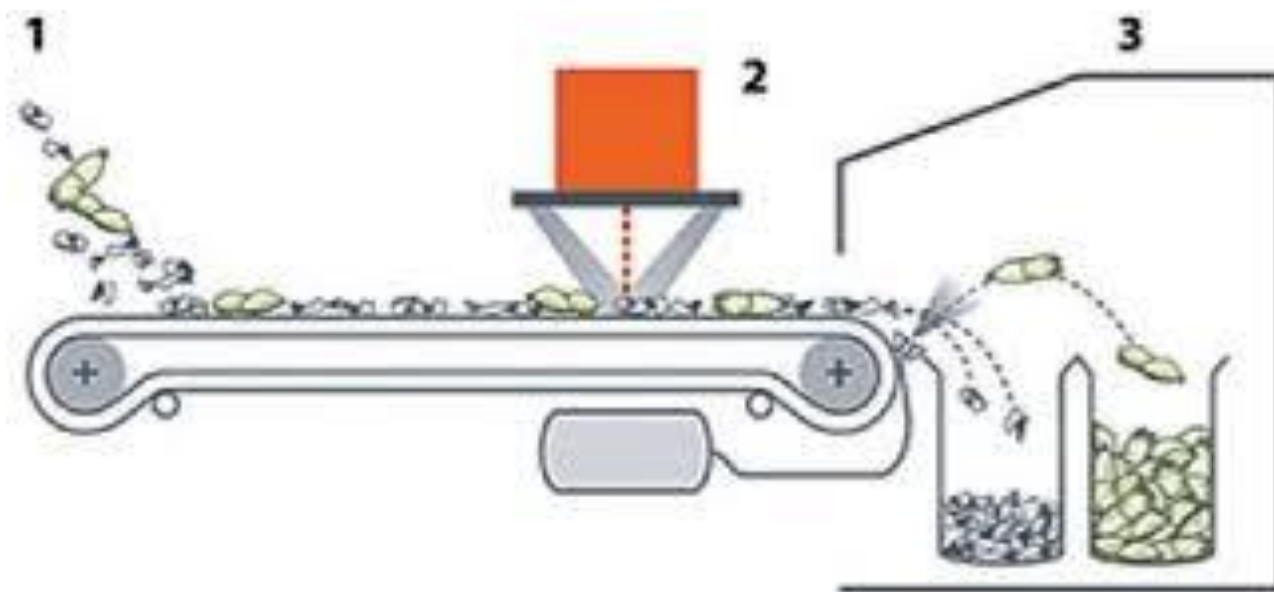


Рисунок 54 - Принцип роботи лінії автоматичного сортування відходів: 1 - потік відходів; 2 - блок спектральних датчиків; 3 - розділення відходів пневматичними дюзами

Можливість сортування відходів полімерних матеріалів є важливим елементом у сфері управління відходами в умовах циркулярної економіки, оскільки це дає можливість підвищення ефективності рециклінгової переробки і збільшення кількості циклів використання матеріалу.

Відновлення полімерних відходів часто є ускладненим через прагнення виробників підвищити їх декоративність та привабливість, що пов'язано з введенням до їх складу різноманітних добавок. Використання для пластикових виробів добавок і покриттів, фарбування та забруднення пластику нафтопродуктами, засміченість металевими скріпками, шурупами, наклейками призводить до спотворення спектрів відбиття і поглинання шматків полімерних відходів і ускладнення їх відбору для відновлення. Необхідно поліпшувати методику розділення, щоб диференціювати складові з наявним потенціалом переробки, таким чином мінімізуючи відходи, які передаються на спалювання і на звалища.

Вдосконалена система розділення відходів використовує загалом 6 датчиків: інфрачервоний датчик відбиття, датчики вологості, температури, вуглекислого газу, метану і лазерний датчик профілю. Інфрачервоний датчик відбиття використовується для ідентифікації та розділення різних полімерних матеріалів, тоді як датчики вологості, температури та газу використовуються в основному для визначення присутності небажаних органічних речовин.

Лазерний датчик профілю використовується для визначення розмірів відходів, завдяки чому можна відокремити плоскі відходи від об'ємних відходів. Проблеми, які виникають при автоматизованому сортуванні, полягають у тому, що елемент відходу може бути поєднанням різних типів пластику. Наприклад, поліетилентерефталатні пляшки можуть містити етикетку з поліроліпропіленової плівки та кришку в високоміцного поліетилену, що знижує точність сортування.

Технології сортування відходів безперервно розвивається та стає дедалі більшою, причому обмежуючим фактором для інновацій часто є економічна доцільність, а не можливість технічної реалізації. Технології, що підтримуються штучним інтелектом і робототехнікою, мають можливість удосконалити системи сортування. До переваг інтеграції штучного інтелекту в сферу сортування відходів відноситься:

- автоматизація процесів сортування відходів скорочує час і зусилля, необхідні для відділення вторинної сировини від тієї, яка передається на звалища для захоронення;
- системи штучного інтелекту можуть визначати та сортувати відходи з більшою точністю, що сприяє підвищенню рівня відновлення;
- системи штучного інтелекту мають здатність навчатися та вдосконалюватися з часом і ставати більш ефективними в розпізнаванні нових типів упаковки та відходів..

Автоматизовані лінії сортування твердих побутових відходів мають значно вищу вартість, однак, їх використання дозволяє суттєво зменшувати експлуатаційні витрати і забезпечує скорочення кількості задіяного персоналу (табл. 14).

Таблиця 14

Технічна продуктивність ручного і автоматичного сортування відходів

Матеріал	Сортування, кг/год		Кількість робітників, які вивільняються після впровадження автоматизованої сортувальної лінії
	автоматичне	ручне	
Плівка	4000	70	57
Папір	11000	180	61
Скло	12000	400	30
ПЕТ-пляшки	7000	120	58

Штучний інтелект створює умови для проведення якісних змін у поводженні з відходами, рухаючись до циклічної економіки, де матеріали

повторно використовуються, а кількість відходів, які видаляються, зводиться до мінімуму. Алгоритми штучного інтелекту дозволяють проводити аналіз великих масивів даних, що дозволяє прогнозувати тенденції утворення відходів. Розуміючи ці закономірності, підприємства та муніципалітети можуть краще управляти ресурсами, зменшуючи непотрібне виробництво предметів, які можуть прискорено стати відходами, і перенаправляючи зусилля на предмети і матеріали з вищим рівнем відновлення. Впровадження штучного інтелекту в системах сміттєсортування породжує проблеми, зокрема, пов'язані з залученням висококваліфікованої робочої сили.

3.6. Виробництво RDF-палива

Спільна переробка – це використання відділених при сортуванні горючих складових відходів для часткової заміни традиційних видів викопного палива, таких як вугілля, мазут та природний газ у промислових процесах. Спільна переробка вимагає відносно однорідних компактних відходів з метою забезпечення стабільного контрольованого спалювання. Спільна переробка застосовується в основному в цементній промисловості, на теплових електростанціях, у деяких випадках вона служить додатковим видом палива при виробництві сталі та при відпалюванні вапняку. На теплових електростанціях, де відбувається лише рекуперація енергії, цей процес носить назву «спільне спалювання». У європейській цементній промисловості коефіцієнт теплового заміщення традиційних видів палива відходами на окремих підприємствах досягає 80%, тоді як середній показник заміщення в промисловості країн ЄС становить близько 39%. Проте частка твердих побутових відходів, що використовуються в спільній переробці, є невеликою у порівнянні з такими потоками відходів, як зношені автомобільні шини, забруднений нафтопродуктами ґрунт, залишки біомаси або осад з очисних споруд.

Спільна обробка в цементних печах має перевагу, що реакції клінкеру при 1450 °C дозволяють повністю включити золу і забезпечити хімічне зв'язування металевої складової (сталю кордун шин) у клінкерний матеріал. Токсичні органічні сполуки з відходів повністю руйнуються в полум'ї при температурах, що перевищують 2000 °C. Пряме заміщення первинного палива в процесі виробництва є ефективним шляхом відновлення енергії. Використовувати таке паливо за більш низьких температур горіння є небезпечним для довкілля та здоров'я людини. Саме тому неприпустимо використовувати спільну переробку у комунальних печах і котельнях.

Пошук альтернативних джерел енергії привів до розробки нових, зручних для складування та транспортування видів палива, які виробляються із горючих залишків сортування відходів. У 1980-х роках у Бельгії стали виробляти вид гранульованого палива, яке отримало назву «сміттєве вугілля» або RDF-паливо (від англ. «Refuse Derived Fuel» – паливо з відходів). Цей вид палива виробляється з горючої складової твердих побутових відходів (пластик, деревина, папір, гума, текстиль) після їх базової обробки для підвищення теплоти згорання. RDF - паливо виробляється шляхом сортування подрібнення, сушіння та пресування в гранули або брикети подрібненої горючої фракції твердих побутових, комерційних і промислових відходів (рис.55).



Рисунок 55 - RDF - паливо у вигляді гранул та брикетів

При цьому RDF є загальним терміном, що використовується для змішаних відходів, склад яких, характеристики та властивості не є повністю відомими. Виробництво RDF - палива включає видалення з сировини інертних мінеральних складових (скло, пісок, тощо). а також більшої частини вологої органічної фракції.

Основою всіх видів виробництва SRF/RDF - палива є сортування сировини. Спочатку на сміттєсортувальній лінії з твердих побутових відходів відбирають таку сировину, як макулатура, склобій, вироби з хлорвмісного пластику, хімічні джерела струму (батареї та акумулятори), залишки харчових продуктів, рослинні рештки та металобрухт, які йдуть на вторинну переробку або не бажані у складі SRF/RDF - палива. Для виробництва SRF/RDF - палива використовують залишки у вигляді дрібних відходів розміром менше 50 мм, які мало придатні для вторинного використання: папір, дерево, картон, шкіра (шкірозамінник), синтетичні волокна, текстиль, полімери, пакети тетрапак. При цьому у сировині для виробництва RDF-

палива, як правило, завжди присутня певна кількість невідділених при сортуванні незгораючих складових відходів.

Особливо ефективно застосування автоматизованого сортування сировини, яке на відміну від ручного сортування дозволяє виділяти з потоку відходів дрібні об'єкти розміром до 15 мм, що значно збільшує продуктивність. Застосування автоматичного сортування для отримання SRF/RDF - палива дозволяє отримувати паливо заданого складу, а також повністю виключати потрапляння до його складу таких екологічно небезпечних компонентів, як залишки полівінілхлориду.

Виробляють RDF - паливо на сміттєсортувальних комплексах. Типова технологічна схема виробництва RDF - палива включає наступні операції:

- збір, транспортування до місця сортування твердих побутових відходів;
- відбирання з відходів найбільш цінних для утилізації фракцій;
- попереднє подрібнення матеріалу до розміру 100-150 мм;
- сепарація (1-й етап) з застосуванням магнітних, балістичних і пневматичних сепараторів;
- подрібнення матеріалу до розміру 20-50 мм в молотковій дробарці;
- чистова сепарація (2-й етап) із застосуванням вихрострумових і оптичних сепараторів;
- сушіння сировини до вологості 15-20% при температурі 250-500°C в сушарках з циклонними фільтрами;
- додавання компонентів, що підвищують калорійність або міцність зв'язування частинок, що входять до складу палива;
- пресування гранул чи брикетів з застосуванням механічних пресів.

Установки для виробництва SRF/RDF – палива з вторинної сировини на сьогодні знаходять широке поширення в Австрії, Німеччині, Фінляндії, Італії, Нідерландах і Великобританії. Теплотворна здатність кілограма RDF-палива складає понад 3000 ккал., що еквівалентно показниками деревини і в два рази нижче теплотворної здатності вугілля. По теплотворній здатності 1 м³ природного газу еквівалентний 1,7 кг RDF - палива. Шкідливі домішки найчастіше не дозволяють використовувати більше ніж 10 - 20 % RDF-палива від загальної кількості спалюємого палива у пічному агрегаті.

Виробництво RDF - палива дозволяє вирішувати одну з ключових екологічних проблем – скорочення площі полігонів для захоронення твердих побутових відходів. В той же час, оскільки RDF - паливо виготовляється з відходів, димові гази, які виділяються при його спалюванні є забруднювачами навколишнього середовища.

Більш стабільним при спалюванні є SRF – тверде відновлене паливо. На відміну від RDF - палива, SRF - паливо виробляється відповідно до стандарту

– вимог до класифікації та специфікацій, викладених у EN15359 (стандарт Європейського комітету стандартизації), CEN/343.

В Україні діє стандарт ДСТУ EN 15359:2018 Тверде відновлювальне паливо (SRF). Технічні характеристики та класи (EN 15359:2011, IDT). Цей стандарт надає характеристики SRF за трьома якісними параметрами:

- економічному параметру (нижча теплота згоряння);
- технологічному параметру (вміст хлору);
- екологічному параметру (вміст ртуті).

Відповідно до європейських нормативів, теплотворна здатність SRF має бути більшою 15 МДж/кг, що еквівалентно показниками деревини і в два рази нижче теплотворної здатності вугілля. По теплотворній здатності 1 м³ природного газу еквівалентний 1,7 кг RDF - палива. Відповідність цим параметрам забезпечує можливість використання SRF в установках для спалювання відходів або в установках побічного спалювання (на вугільних електростанціях або в цементних печах). Технічні характеристики SRF - палива: масова частка води менше 15%; масова частка хлору 0,8%; масова частка золи - менше 20%, максимальний розмір часток палива 100 мм; об'ємна вага 450 кг/м³.

У європейській практиці SRF/RDF – паливо використовується у якості додаткового більш дешевого енергоносія в топках колективних обігрівальних комплексів, теплоцентралей, електростанцій, металургійних і цементних заводів, фабрик по виробництву вапна або паперу. Котельним установкам, як правило, необхідна лише незначна модернізація для переходу на використання RDF - палива, оскільки вони обладнані пристроями для видалення шлаку і летючої золи. В той же час, досвід використання RDF-палива показав, що для його ефективного спалювання необхідно застосування модернізованих топок, оскільки металеві деталі звичайних топочних установок, як правило, піддаються інтенсивній корозії при контакті з хлором, що утворюється при горінні окремих полімерних складових.

Виробництво цементу потребує значних енерговитрат у зв'язку з необхідністю підтримання температури у цементних печах понад 2000°C. На кожну тону цементу, що виробляється, зазвичай потрібно 60-130 кг мазуту, або його еквіваленту (природний газ), і близько 105 кВт-год електроенергії. У середньому, витрати на енергію, паливо та електроенергію становлять до 40 відсотків витрат на виготовлення цементу. Тому доцільно використовувати у виробничих процесах альтернативне паливо, одержуване з відходів, з метою скорочення застосування традиційних видів палива та сировини шляхом їх заміщення RDF - паливом. У цементній промисловості SRF/RDF – паливо подається за окремою дозуючою системою і згорає в умовах підтримки

процесу горіння разом з природним газом. Спільне використання в цементних печах RDF - палива разом з природним газом має ту перевагу, що реакції утворення цементного клінкеру при 1450°C дозволяють повністю включити золу і забезпечити хімічне зв'язування залишків металів, які входять до складу RDF – палива, у клінкерний матеріал. В той же час наявність у RDF - паливі відходів хлорвмісних пластмас приводить до зниження якості цементу за рахунок виникнення злипання частинок клінкеру.

Використання цементними заводами таких видів альтернативного палива передбачає врахування наступних факторів: складу SRF/RDF - палива, його вологості і калорійності, рівня вмісту полівінілхлориду, ціни SRF/RDF - палива та традиційних видів палива, безперебійності постачання та технологічного оснащення заводу.

До переваг SRF/RDF - палива відноситься: тривале горіння; низька зольність; сумісність з традиційними видами палива (вугілля, дрова); низька вартість.

До недоліків RDF – палива відноситься:

- досить висока собівартість виробництва RDF - палива. Саме тому у всьому світі проекти з будівництва енергетичних джерел на RDF - паливі здійснюються з наданням державної підтримки;
- використання RDF - палива гальмує розвиток альтернативних екологічних способів поводження з відходами, матеріал відходів втрачається для рециклінгової переробки;
- спалювання RDF є неефективним способом виробництва енергії, оскільки виробляється менше енергії, ніж було б збережено при проведенні рециклінгового перероблення;
- при спалюванні RDF – палива утворюються шкідливі для навколишнього середовища продукти згорання;
- зберігання RDF - палива вимагає особливої обережності, оскільки наявність у його складі органічної складової та вологи визначає схильність до самозаймання.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте існуючі схеми збору і видалення твердих побутових відходів.
2. Опишіть зарубіжний досвід з організації роздільного збору сміття.
3. Охарактеризуйте систему збору твердих побутових відходів, яка прийнята в Україні.
4. Охарактеризуйте транспортні засоби для збору та транспортування твердих побутових відходів.

5. Опишіть конструкцію і роботу станції перевантаження відходів.
6. Опишіть конструкцію сміттесортувальної лінії.
6. Дайте характеристику технології сортування твердих побутових відходів на сміттесортувальній лінії.
7. Опишіть суть магнітної сепарації відходів.
8. Дайте характеристику автоматизованого сортування відходів.
9. Опишіть технологію виробництва RDF- палива.

4 .Відновлення відходів пластмас

4.1.Нанесення відходами пластмас екологічної шкоди довкіллю

З 1940-х років масштабне промислове виробництво пластмас стало здійснювати значний вплив на розвиток світової економіки. Завдяки своїм властивостям, доступності сировинних матеріалів і низькій вартості полімерні матеріали стали використовуватися в усіх галузях економіки та визначати прогрес в таких секторах, як зберігання та продаж харчових продуктів, транспорт, електроніка, охорона здоров'я та будівництво. Полімерні матеріали знаходять все більше використання, темпи приросту споживання пластиків в глобальному масштабі випереджають темпи зростання попиту на інші матеріали. Світове виробництво пластику постійно зростає, подвоївшись з 230 млн т на початку століття до понад 450 млн т перед спалахом COVID-19 у 2021 році. Пластмаси використовують як для виробництва виробів тривалого користування (наприклад, пластикові віконні рами), так і для продуктів короткого терміну служби, які видаляються відразу після одноразового використання (наприклад, упаковка на винос або пластикові столові прибори). Починаючи з 1950-х років люди виробили понад 8,3 млрд т пластику, 79 % з яких потрапили на звалища та в природне середовище. Розкладання пластику в навколишньому середовищі є тривалим процесом. Для повного розкладання пластикової пляшки під дією ультрафіолету та перепадів температур необхідно від ста до п'ятисот років. Пластикові відходи перешкоджають газообміну в ґрунтах і водоймах. При їх розкладанні в оточуюче середовище виділяються шкідливі хімічні реагенти (стирол, фенол, формальдегід, уретан тощо), які отруюють ґрунт, чинять негативний вплив на людину і інші живі організми.

На теперішній час понад 40 % з виробляємих пластиків використовується у якості пакувальних матеріалів. У більшості випадків виробництво пластмас наносить меншу екологічну шкоду для навколишнього середовища у порівнянні з виробництвом паперу, бавовни, металу або скляних виробів. Наприклад, при виготовленні скляних пляшок витрати енергії є на 21 % більші від енергетичних затрат на виробництво пластмасових виробів. Полімерні матеріали швидко витісняють папір, метали і скло зі сфери пакувальних матеріалів, при цьому упаковка - виріб з найбільш коротким життєвим циклом і є головним джерелом попадання до складу твердих побутових відходів.

В 2014 році в країнах Європи серед полімерних відходів частка упаковки складала 63%, відходи будівництва - 6%, відходи автоіндустрії – 5%, відходи електротехніки та електроніки - 5% інші відходи – 16%. Із загальної кількості

пластику, що стає відходом, лише 9% було перероблено, тоді як майже 50% було захоронено на звалищах, що є найменш бажаним шляхом для відпрацьованого пластику відповідно до ієрархії відходів, 19% спалено, і 22% було викинуто в неконтрольовані місця або в навколишнє середовище. Це викликає занепокоєння людства через приведення до змін природних процесів та навколишнього середовища, зменшуючи здатність екосистеми адаптуватися до зміни клімату.



Рисунок 56 – Полімерні відходи

Неправильно видалений пластик розпадається на мікро- та наночастинки, потрапляючи в атмосферу, водойми та ґрунт. Мікропластик, розмір якого становить від 0,001 до 5 мм, і нанопластик, розмір якого менше 0,001 мм, зрештою потрапляє у харчовий ланцюг людини через морепродукти, фрукти, овочі, тощо. Лабораторні тести показали, що мікропластик завдає шкоди клітинам людини, включаючи як алергічні реакції, так і загибель клітин.

Полімерні пакети в умовах океану чи полігону розпадаються на тисячі мікроскопічних часточок та можуть забруднювати токсичними речовинами воду, ґрунти та повітря упродовж 1000 років. Не зважаючи на це, покупці продовжують користуватись пакетами - в середньому, 150 пакетів на людину щороку - загалом 500 млрд пакетів. В останні роки людство почало змінювати своє ставлення до пакетів та зменшувати їхню кількість за допомогою різних інструментів: заборони, обмеження, спеціальних податків тощо. Щонайменше, 32 країни заборонили

використання пластикових пакетів, і близько половини - в Африці. Наприклад, в Кенії і заборонено виробляти, продавати чи імпортувати пластикові пакети. Покарання за порушення цієї вимоги може варіюватися від 19 000 доларів до тюремного ув'язнення. В Китаї повна заборона була прийнята ще в 2008 році і з того часу кількість пластикових пакетів у загальній кількості відходів скоротилась більш ніж на 60%.

Пластикові відходи завдають шкоди довкіллю за трьома основними шляхами:

- загибель тварин при проковтуванні пластику, що призводить до задухи, отруєння, голодування, тощо, нанесення шкоди їхнім екосистемам;
- пластикові відходи під час спалювання виділяють значну кількість токсичних димових газів, які отруюють атмосферне повітря;
- щороку в океан потрапляє до 8 млн т пластикових відходів, що веде до загибелі понад 100 000 морських ссавців, збільшує шанси їх захворювання та впливає на їх репродукцію.

Екологічною катастрофою сучасності є забруднення пластиковими відходами вод світового океану. Щорічно у Світовий океан потрапляє до 8 млн т пластикових відходів. Велика Тихоокеанська сміттева пляма (The Great Pacific Garbage Patch) складається з двох частин і займає площу 1,6 млн км². Східний острів знаходиться між Гаваями і Каліфорнією, Західний знаходиться між Японією і Гаваями. Це два з п'яти відомих сміттєвих островів у Світовому океані. Екологічний моніторинг свідчить, що Велика Тихоокеанська сміттева пляма постійно зростає і на сьогодні за площею втричі перевищує площу Франції. Згідно з дослідженням, проведеним в 2015 році, близько 80 % сміття в Великій Тихоокеанській сміттєвій плямі переноситься циркулюючими океанічними течіями з Північної Америки і Азії. Китай робить також робить значний внесок у забруднення Тихого океану. Джерелом забруднення є пластикові відходи, які захоплені з океанічних узбережь і винесені річками по шляху своєї течії. Пластикові відходи також попадають в океани від суден та нафтових вишок, часто заруднення створюють порвані рибальські сітки, які виробляються з полімерних волокон.

Полімери переважно отримують із невідновлюємої викопної вуглеводневої сировини - сирої нафти, природного газу чи вугілля, природні запаси якої обмежені. Видобуток викопної сировини є першим основним чинником впливу на навколишнє середовище вздовж ланцюжка створення пластикових виробів. Певні типи пластика виробляють із відновлюваної біологічної сировини, як-от кукурудза, маніока, цукровий буряк і цукрова тростина. Однак, такі біологічні полімери проходять в природних умовах швидке деструктивне руйнування, однак вони займають лише незначну частку у світовому виробництві пластику.

Значне збільшення абсолютної кількості утворених відходів пластикової упаковки викликає занепокоєння в ЄС. У 2019 році кожна людина, яка проживає в ЄС, утворила 34,4 кг відходів пластикової упаковки, з яких 14,1 кг було перероблено. З 2009 по 2019 рік обсяг пластикової упаковки на одного жителя ЄС зріс на 24 %. З урахуванням малого терміну служби пакувальних матеріалів, а отже швидких темпів накопичення відходів, виникає потреба у великих площах для захоронення, що призводить до деградації територій. В повідомленні Європейської Комісії від 16 січня 2018 р. «Європейська стратегія щодо пластмас» представлено кроки до створення економіки замкнутого циклу, в якій виробництво пластмас та пластикових виробів повністю враховує потреби у повторному використанні, ремонті та переробці. Набирає розвиваючий рух за відмову від використання одноразового пластикового посуду.

Мета «Європейської стратегії щодо пластмас в економіці замкнутого циклу» полягає в тому, щоб до 2030 року вся пластикова упаковка, що постачається на ринок ЄС, була багаторазовою, або могла бути переробленою з мінімальними витратами. Цілі, встановлені Директивою (ЄС) 2018/852 передбачають:

- не пізніше 31 грудня 2025 року повинно бути перероблено не менше 65% за масою всіх відходів упаковки;

- не пізніше 31 грудня 2025 року повинно бути досягнуто наступні мінімальні цільові показники за вагою для переробки щодо наступних конкретних матеріалів, що містяться в пакувальних відходах – 50 % пластику, – 25 % деревини, – 70 % чорних металів, – 50 % алюмінію, – 70 % скла, – 75 % паперу та картону.

- не пізніше 31 грудня 2030 року повинно бути перероблено не менше 70 % за масою всіх відходів упаковки;

- не пізніше 31 грудня 2030 року повинно бути досягнуто наступних мінімальних цільових показників за вагою для переробки щодо наступних конкретних матеріалів, що містяться в пакувальних відходах – 55 % пластику, – 30 % деревини, – 80 % чорних металів, – 60 % алюмінію, – 75 % скла, – 85 % паперу та картону.

Рівень переробки відходів пластикової упаковки враховує виключно матеріал, який переробляється назад у пластик, а не відновлення шляхом спалювання.

Проблема відновлення суміші різнорідних пластикових відходів призводить до того, що повністю замкнутих циклів, тобто коли полімерні відходи повертаються в початкову точку процесу формоутворення, складно реалізувати. Так, з відходів полімерної упаковки в такий же за призначенням продукт повертається лише 2% від усього обсягу. Ще 8% вторинних полімерів

направляється на виробництво інших виробів, як правило, з більш низькими споживчими властивостями. Отримані вторинні полімерні матеріали доцільно використовувати у якості додаткової сировини для нових виробів. Повторне використання пластику наразі обмежено певними сферами застосування, наприклад пластиковими контейнерами та ящиками тощо.

Тривалість використання різних видів пластмас значно відрізняється залежно від типу застосування та сектора їх використання. Враховуючи різний термін служби виробів для різних застосувань пластмас у різних секторах, існують великі відмінності між попитом на пластмаси та виробленими пластиковими відходами. Наприклад, у той час як пакувальні продукти мають середній термін служби продукту лише 0,5 року, пластикові матеріали в будівництві можуть мати термін служби 35 років.

План з досягнення циркулярної економіки (CEAP) передбачає:

- посилення Європейської стратегії для пластику в циркулярній економіці шляхом визначення істотних вимог до пакування;
- забезпечення використання біопластику та його маркування;
- забезпечення використання процедур вимірювання випущеного мікропластику;
- дослідження використання біологічно розкладних та придатних до компостування пластмас;
- забезпечення впровадження Директиви про обмеження виробництва одноразових пластикового посуду.

4.2. Можливості переробки полімерних відходів

Вторинна переробка полімерних матеріалів вважається низькорентабельною і її першочерговою задачею є недопущення забруднення пластиковими відходами навколишнього середовища. Використання відходів полімерів також дозволяє істотно економити первинну сировину, оскільки на їх виробництво витрачається до 4% всієї добуваної у світі нафти. Зростаючий попит на пластмаси при збереженні значних цін на сировину та електроенергію, а також одночасне зростання вартості їх захоронення, створює економічні передумови для повторного використання полімерних відходів. Капітальні та експлуатаційні витрати за основними способами відновлення полімерних відходів не перевищують витрат на їх захоронення. Найбільшу складність представляє відновлення пластмас, відсортованих з твердих побутових відходів, обсяги утворення яких в 3-4 рази перевищують обсяги утворення промислових відходів.

Існує три основних види переробки пластику:

- механічна рециклінгова переробка;
- відновлення сировини шляхом вторинної переробки;
- відновлення теплової енергії в процесі спалювання.

Відповідь на питання, чи краще переробляти пластикові відходи у вторинні матеріали чи переробляти їх для відновлення енергії шляхом сміттєспалювання, залежить від багатьох факторів. Спалювання полімерних матеріалів призводить до утворення великої кількості парникових газів. Згідно вимог циркулярної економіки, рециклінгу пластику слід віддавати перевагу, ніж рекуперації енергії, оскільки при переробці енергія, необхідна для виробництва пластику, не втрачається. Однак в окремих випадках прийняття рішення залежить від якості зібраного матеріалу (однорідність і чистота), ефективності збору (створені пункти збору, раціональна логістика, розвинута інфраструктура рециклінгу) та ефективності процесу переробки, а також відповідності вимогам якості вторинної сировини.

Серед названих вище видів механічна переробка знайшла найбільше поширення, оскільки має високу екологічну ефективність за оцінкою життєвого циклу. При цьому досягається значний економічний ефект від вторинної переробки завдяки поліпшенню екологічних показників навколишнього середовища, дешевизни вторинної сировини, простоти технології та економії енергетичних ресурсів. Використання механічної переробки пластмасових виробів дозволяє зменшити викиди CO₂ та інших органічних сполук, а також забезпечує відновлення матеріалу для виробництва нових пластикових виробів. Переробка пластикових відходів і повернення їх у виробничий ланцюг зменшує потребу у виробництві первинного пластику та підвищує економічну цінність відходів.

Згідно Директиви (ЄС) 2019/904 від 5 червня 2019 р. «Про зниження впливу деяких пластикових виробів на довкілля» держави-члени ЄС повинні забезпечити роздільний збір для переробки відходів одноразових пластикових пляшок для напоїв місткістю до трьох літрів:

- до 2025 р. в кількості, що дорівнює 77 % за масою розміщених на ринку цього року;
- до 2029 року в кількості, що дорівнює 90 % розміщених на ринку цього року.

Кожна держава-член ЄС повинна гарантувати для ПЕТ-пляшок для напоїв місткістю до трьох літрів, які виготовляються з поліетилентерефталату як основного компоненту:

- з 2025 року ПЕТ-пляшки повинні містити не менше 25 % переробленого пластику, розрахованого як середнє значення для всіх ПЕТ-пляшок, представлених на ринку на території держави-члена ЄС;

- з 2030 року ПЕТ-пляшки повинні містити не менше 30 % переробленого пластику.

Таблиця 15

Коди пластмас для вторинної переробки

Знак	Опис		
	Назва ISO 1043 (97/129/EC)	Код	Повна назва полімерного матеріалу
	PET	01	Поліетилентерефталат
	PE-HD	02	Поліетилен низького тиску
	PVC	03	Полівінілхлорид
	PE-LD	04	Поліетилен високого тиску
	PP	05	Поліпропилен
	PS	06	Полістирол
	ABS	09	АБС-пластик

Рециклінгове відновлення пластмас ускладнюється значною кількістю існуючих видів пластмас та широким розмаїттям добавок до них. Існує щонайменше 45 сімейств пластмас. Вся множина марок пластмас нараховує близько 10000 назв. Слід враховувати, що з метою підвищення довговічності цих матеріалів до їх складу додатково в процесі виробництва вводяться різноманітні добавки антиоксидантів, термо- та світлостабілізаторів, пластифікаторів тощо. Для отримання високоякісного переробленого пластику перед переробкою слід розділити пластикові відходи за типом, кольором, формою та розміром.

Пластикова упаковка за кодами поділяється на 7 типів (табл 14). Для кожного з них існує свій цифровий символ, який розміщують у вигляді піктограми. Знак повторної переробки упаковки має форму так званої петлі Мебіуса. Це трикутник, який складається з трьох товстих стрілок, розташованих за годинниковою стрілкою. Кожна зі стрілок символізує процес збору, переробки та повторного використання сировини. В трикутнику цифрова аббревіатура, а під трикутником розташована буквена аббревіатура, що позначає тип пластику. Найбільш часто переробляються у якості вторинної сировини відходи наступних термопластичних полімерів, які мають відповідне цифрове маркування (табл.14). Для відходів пакування з цих пластиків в даний час розроблено технології рециклінгу.

Тип 1. Поліетилентерефталат (ПЕТ) являє собою складний термопластичний поліефір терефталевої кислоти і етиленгліколя. ПЕТ володіє такими властивостями як: міцність та зносостійкість, зберігає високу ударостійкість і міцність в діапазоні температур від -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$, є гарним діелектриком. ПЕТ прозорий, міцний і має хороші газо- та вологостійкі властивості. Фізичні властивості ПЕТ роблять його ідеальним матеріалом для виготовлення тари (пляшок), волокон, деталей машин. Методом екструзії з ПЕТ виготовляють термоусадочні і багатошарові плівки, що використовуються в пакувальній галузі, а також листи. Широкі можливості дизайну і відносно низька вартість призвели до того, що пляшки стали одним з найбільш значних напрямів використання ПЕТ пластиків. Полімер поліетилентерфталат і отримуємо з нього волокно раніше мав назву «лавсан». Аналогічні волоконні матеріали, що виробляються в інших країнах, отримали назви: терілен, дакрон, тергал, поліестер тощо. Ефективно одержувати з вторинного ПЕТ синтепон - матеріал для утеплення зимового одягу та спальних мішків, наповнювачів для м'яких іграшок, спортивних товарів.

З відновленої ПЕТ - сировини отримують будівельні матеріали, покрівельні матеріали, плівки, листи, труби, плінтуси, деталей освітлювальних і побутових

приладів, вироби конструкційного призначення для автомобільної промисловості, пластикові меблі, пластмасові ящики, коробки для пакування яєць і фруктів, спорттовари, тощо. Вторинний ПЕТ також використовують для виробництва канатів, промислового текстилю для виготовлення матраців, автомобільних сидінь, спортивних сумок, рюкзаків, шнурків, спортивного взуття, автомобільних повітряних фільтрів тощо. Бандажна стрічка з вторинного ПЕТ призначена для фіксації вантажів конкурує з стрічками зі сталі. ПЕТ-стрічки мають високу міцність на розрив, і є найкращою альтернативою для скріплення упакуваних матеріалів.

Тип 2. Поліетилен низького тиску (PE-HD поліетилен високої щільності) – термопластичний полімер, що виробляється при низькому тиску (10–80 бар) і низькій температурі (70–300°C). PE-HD характеризується високими показниками питомої міцності. Доля поліетилену у відходах полімерів є найбільшою. Поліетилен хімічно стійкий і при нормальній температурі не розчиняється у жодному з відомих розчинників. Недоліком поліетилену є його схильність до старіння. Використовується, переважно, для виробництва пляшок та пакетів для молочних продуктів, косметичних засобів (шампуні), кришечок від пляшок, одноразового посуду, контейнерів для продуктів харчування, іграшок, захисних шоломів, кришок від пляшок, паливних баків для автомобілів.

Тип 3. Полівінілхлорид (ПВХ) - полімер, який має добру хімічну стійкість, стійкість до погодних умов, текучість і стабільні електричні властивості. Непластифікований твердий полівінілхлорид називається вініпластом. ПВХ вважається одним із найбільш універсальних і поширених типів пластику. З цього полімеру виробляють лінолеум, металопластикові віконні профілі, меблі, штучну шкіру, медичні трубки, плівки для натяжних стель. Широко використовується на будівельному ринку для труб і фітінгів, сайдингу, підкладки для килимів і віконних рам. труби, ізоляцію дротів та кабелів. Вторинна рециклінгова переробка відходів з ПВХ поки не є поширеною, що пов'язано з токсичністю випарів цього матеріалу під час обробки.

Тип 4. Поліетилен високого тиску (LDPE – поліетилен низької щільності). Завдяки своїй міцності, гнучкості та відносній прозорості використовується переважно для виготовлення плівок та пакетів, гарно піддається термічному зварюванню. Цей пластик має високу пружність і використовується для виготовлення таких виробів, як контейнери, обладнання для дитячих майданчиків і пластикові пакети для сміття.

Тип 5. Поліпропілен (ПП) - твердий, хімічно стійкий, нетоксичний матеріал, що зберігає форму до температури 350°C. Поліпропіленові плівки і волокна мають високу міцність та еластичність. Поліпропілен має гарну хімічну стійкість

і високу температуру плавлення, що робить його придатним для зберігання гарячих рідин. Поліпропілен зазвичай використовується для виробництва пакувальних стрічок, пакетів, соломинок, контейнерів для харчових продуктів, кришок від пляшок, іграшок. Поліпропілен широко використовують в автомобілебудуванні для виготовлення бамперів, корпусів акумуляторів, деталей салону, ковриків. Центри вторинної переробки часто відмовляються від прийому поліпропіленових відходів, оскільки технологічність його переробки є набагато нижчою, ніж інших пластиків.

Тип 6. Полістирол (ПС) – твердий, прозорий, аморфний полімер, що добре фарбується та розчиняється у бензолі. Полістирол - це універсальний пластик, який може бути спіненим. З полістиролу виготовляють деталі для радіотехніки і приладів, деталі машин, посудини для води та хімікатів, плівки для електроізоляції. Полістирол широко використовують для виробництва одноразового посуду, чашок, тарілок, упаковки, іграшок, теплоізоляційних та пакувальних пінопластових виробів. Зі спіненого полістеролу роблять пінопласт, контейнери для яєць, лоточки для м'яса та фасування. Незважаючи на велику кількість відходів, пінополістирол рідко піддають рециклінгу через те, що таке відновлення є економічно не ефективним (у своїй найпоширенішій формі, пінополістирол або пінополістирол, на 95% складається з пор) і потребує для рециклінгу більших затрат енергії, ніж заощаджується за рахунок його переробки.

Тип 9. АБС – це аббревіатура, якою позначають синтетичний сополімер, що вирізняється високою стійкістю до ударів і еластичністю. Назва композиту – «АБС», є скороченням від найменувань мономерів, що входять до його складу: акрилонітрилу, бутадієну і стиролу. Загальний світовий обсяг виробництва цього пластику оцінюється в 8 млн. тонн. На спеціалізовані підприємства пластик надходить у вигляді заготовок з гранул або листів. Гранульована сировина використовується у виробництві деталей методом точного лиття. Листовий АБС-пластик застосовується в якості готового виробу або напівфабрикату для виробництва облицювальних панелей.

Сфера застосування АБС-пластиків є дуже широкою. Так в автомобільній промисловості з цього матеріалу виготовляють кунги для пікапів, бампери, деталі інтер'єру авто, ковпаки коліс. Також АБС - пластик використовується для виготовлення корпусів електроінструментів, побутової техніки. CD та DVD диски, канцтовари, спортивні товари, іграшки, садовий інвентар також виготовляють з пластику АБС.

4.3 Рециклінгова переробка полімерних відходів

Вторинний рециклінговий переробці успішно піддаються відходи термопластичних полімерів. Термореактивні пластмаси практично не піддаються рециклінговій переробці і їх відходи переважно відновлюють шляхом спалювання.

На сьогоднішній день річний об'єм утворення пластикових відходів у світі перевищує 300 млн. т. З них більша частина припадає на поліетилен (близько 32%), біля 18% – на поліпропілен, 11% – на відходи ПЕТ-тари, 14% – на різні синтетичні волокна. На практиці відсортовані відходи полімерів переважно представлені використаною пластмасовою тарою, виготовленою з поліетилентерефталату, поліетилену, поліпропілену, полістиролу. При наявності великих обсягів вихідної сировини, розсортовані за типами, відходи пластмасової тари є цінною сировиною для отримання вторинних пластиків.

Система переробки пластику включає не лише процес переробки пластику, але й такі етапи як роздільний збір пластикових відходів, їх транспортування, зберігання та рециклінгова переробка. Життєздатна система відновлення пластикових відходів може існувати лише при наявності їх буту для відновлювальної переробки.

Велика частина відсортованих з твердих побутових відходів полімерних матеріалів є сумішшю полімерів різних типів, міжвидова сепарація яких часто є складною і економічно не виправданою операцією. Так, якщо рециклінг полімерів в цілому знаходиться на рівні 14%, то у пляшкового ПЕТ він досягає 55%. Це пов'язано з тим, що пластикові пляшки є масовою однорідною продукцією і легким об'єктом для попереднього сортування та організації індивідуального технологічного ланцюга переробки.

Навіть полімерні вироби, які були використанні і окремо збираються, вимагають попередньої підготовки. Так, наприклад, ПЕТ-пляшки завжди містять залишки напоїв, паперові етикетки, прилиплі частинки, поліпропіленові запірні кільця або гвинтові кришки, які є сторонніми по відношенню до основного матеріалу і підлягають відділенню. Традиційним є подальше сортування ПЕТ-пляшок за кольором.

Промислові відходи виробництва, які утворюються при синтезі та переробці термопластичних полімерів - це кромки, висічки, обрізки, литники, облой, дефектні вироби тощо. У галузях промисловості, що займаються виробництвом і переробкою пластмас, таких відходів утворюється від 5 до 35 %. Вони представляють собою високоякісну сировину для механічного рециклінгу і за властивостями не відрізняються від вихідного первинного полімеру. Промислові відходи, на відміну від побутових, характеризуються, як

правило, високим ступенем чистоти, представляючи тим самим значний інтерес для переробки. Тому в сегменті промислових полімерних відходів частка повернення в корисний оборот доходить до 90%. Як правило, ці відходи переробляються на тих же підприємствах, де вони утворюються і не вимагають використання спеціального устаткування. .

Відходи виробничого споживання - накопичуються в результаті виходу з ладу виробів з полімерних матеріалів, що використовуються в різних галузях народного господарства (тара та упаковка, деталі машин, ізоляція проводів, теплоізоляція, будівельні погонажні вироби, відходи тепличної плівки, мішки з-під добрив тощо). Ці відходи також є досить однорідними, малозабрудненими і тому являють інтерес з точки зору їх повторної переробки.

Найвища доля відновлення пластикових відходів має місце в Європі (близько 40% від загальних об'ємів утворення), в Китаї (25%) та США (9%). Так, у Європі за підсумками 2016 року було зібрано 16,7 млн. т пластикової тари - основного джерела пластикових відходів, з яких 40,9% пішло на рециклінг, 38,8% було використано для виробництва теплової енергії та 20,3% розміщено на полігонах. При цьому 70% зібраних пластикових відходів в ЄС припадало на Францію, Німеччину, Італію, Іспанію та Великобританію. Велика частина вторинної сировини не використовувалася у внутрішньому виробництві, а поставлялося для переробки до Китаю.

Яскравим прикладом є Японія, де відновлення проходить більше 80% пластикових відходів. Однак, у виробничий цикл у вигляді полімерних форм повертається лише 22% відходів, і ще 4% у вигляді хімічної сировини. Основна ж маса полімерних відходів витрачається на виробництво теплової енергії.

Технічним моментом, що перешкоджає нарощування рециклінгу полімерів, є проблема змішаної сировини. Збільшення сортаменту пластмасових виробів та створення нових композицій для виготовлення пластмас зумовлює нагромадження великої кількості відходів як у формі вжитих виробів, так і у вигляді технологічних відходів чи упаковок. Велика кількість відходів із пластмас, а також їх різноманітність, утруднюють їх повторне використання у вигляді сировини чи матеріалів. Більшість пластиків не можна змішувати при переробці, отже, постає необхідність їх ефективного сортування. Через різницю у хімічних та фізичних властивостей різних типів пластикових відходів ефективна їх переробка є складним завданням, особливо якщо етап розділення не виконується належним чином на його ранній стадії. Змішані разом різні типи термопластичних полімерів при рециклінгу погано поєднуються один з одним і властивості отриманого пластику будуть низькими. Замість отримання однієї полімерної суміші з єдиним набором

властивостей, суміш складатиметься з безлічі маленьких дискретних ділянок різних полімерів без зв'язків між ними.

До сучасних технологій, метою яких є забезпечення відновлення або рециклінгу полімерних матеріалів, належать:

- матеріальна переробка матеріалів відпрацьованих виробів;
- переробка сировини термічними і хімічними методами;
- використання відходів як палива (термічна переробка);
- компостування виробів з біополімерів, що деградують у навколишньому середовищі;
- проектування виробів, що полегшує їх подальшу переробку;
- радіаційна обробка.

В більшості випадків вирішення питань, пов'язаних з відновленням полімерних відходів є затратною технологією. Вартість обробки і відновлення відходів пластмас приблизно в 8 разів перевищує витрати на обробку більшості промислових відходів і майже в 3 рази - на відновлення і видалення побутових відходів. В зв'язку з цим спалювання виглядає найбільш відпрацьованим і використовуваним способом утилізації полімерних матеріалів для вирішення проблеми відходів в країнах, де роздільний збір не запроваджено взагалі, або ж слабо розвинений. Отримання енергії за рахунок спалювання полімерних відходів привертає у світі все більшу увагу з причини зростання цін на органічне паливо. При цьому немає необхідності проводити сортування відходів полімерних матеріалів, потрібно лише провести подрібнення відходів, щоб забезпечити їх ефективне змішування з добавками вуглецевого палива, найчастіше коксом чи кам'яним вугіллем, і подачу необхідного для горіння повітря. Спалювання полімерних відходів дозволяє відновлювати їх у суміші разом з іншими відходами.

У деяких випадках відходи полімерів не можна переробити у вторинні матеріали, що пов'язано з високим ступенем їх забруднення. Це відноситься перш за все до твердих побутових відходів, в яких частка пластмасової фракції (плівка, пакети та інші види упаковки) досить значна. Ускладненою є підготовка до вторинної переробки полімерних відходів, забруднених лакофарбовими матеріалами, бітумними сумішами, мінеральними оліями тощо. Найбільш раціональними методами відновлення відходів в подібних випадках є спалювання.

Ефективність спалювання пов'язана з гарною теплотворністю полімерних відходів та зростанням цін на невідновлювані органічні види палива. За теплою згоряння пластмаси близькі до викопних палив - природного газу, нафти, кам'яного вугілля. Виробленої електроенергії від спалювання однієї переробленої пластикової пляшки може вистачити, щоб жити лампочку

більше ніж один день. За різними оцінками сьогодні спалюється до 40 % полімерних відходів, що суттєво зменшує потребу у розширенні простіру звалищ, При цьому лише для води майже 8 млрд пластикових пляшок використовується щороку у Великобританії.

Дослідження показало, що потрібно 8,42 МДж енергії, щоб зробити пластикову ПЕТ пляшку з заводської сировини, у порівнянні з 0,053 МДж, які витрачаються для переробити її у формі гранул. Це економить 8,37 МДж на пляшку, що в сумі становить понад 66 млрд МДж на рік.

Таблиця 16

Характеристики горіння пластмас, які входять до складу твердих побутових відходів

Матеріал	Температура займання, (°C)	Теплота згорання, (МДж/кг)
Поліетилен (PE)	350	46.3
Поліетилентерефталат (ПЕТ)	500	22.7
Полістирол (PS)	470	41,6
Поліпропілен (ПП)	410	46,6
Поліамід (ПА)	500	31.4
Полівінілхлорид (ПВХ)	760	19,26

При спалюванні відходів хлорвмісних пласмас утворюються токсичні продукти згорання, найбільшу небезпеку серед яких становлять фурани і діоксини. Для того щоб токсичні сполуки розпадалися необхідно проводити допалювання відходів при температурах 1200–1400°C, а також очищати димові гази за допомогою сорбційних методів очищення, що полягає у введенні в продукти згорання пиловидних порошоків негашеного вапна, оксиду магнію або гідроксиду натрію, які взаємодіють продуктами горіння та утворюють нейтральні хімічні сполуки. Пластмаси можуть містити різні стабілізуючі добавки і пігменти, до складу яких входять солі важких металів. При температурі вище 700°C вони переходять у газоподібний стан, і їх наступне очищення стає ускладненим.

Полімери допускається цільовим чином спалювати у спеціальних печах, обладнаних комплексом фільтрувальних установок. Спалювання полімерів вимагає високих затрат, які мінімізують доходи, які отримує підприємство за рахунок використання отриманої теплової енергії.

В даний час запропоновано термічний метод утилізації пластмас з їх використанням як добавки до палива в металургійному виробництві (доменних печах) у якості джерела енергії і відновника. Цей спосіб зменшує викиди

токсичних речовин з причини протікання високотемпературних процесів та дозволяє повністю забезпечити в доменних печах утилізацію полімерних відходів. Це дозволяє уникнути викиду токсичних продуктів згоряння за рахунок високих температур, а велика витрата відходів дозволяє навіть у печах середнього обсягу утилізувати велику кількість. Досвід спалювання пластмасових відходів в доменному виробництві накопичено на сьогодні в Німеччині.

Таблиця 17

Токсичні сполуки, що утворюються при спалюванні полівінілхлориду, та їх шкідливий вплив на здоров'я людей

Назва сполуки	Вплив на здоров'я
Ацетальдегід	Пошкоджує нервову систему, викликаючи ураження.
Ацетон	Подразнює очі, дихальні шляхи.
Бензальдегід	Подразнює очі, шкіру, дихальну систему, обмежує роботу мозку.
Бензол	Канцероген, негативно впливає на кістковий мозок, печінку, імунну систему.
Формальдегід	Серйозне пошкодження очей, канцерогенний, може спричинити набряк легенів.
Фосген	Руйнуюча дія для очей, шкіри та органів дихання.
Поліхлорований дибензодіоксин	Канцерогенний, подразнює шкіру, очі та дихальну систему. Це ушкоджує кровоносну, травну та нервову системи, печінку, кістковий мозок.
Поліхлорований дибензофуран	Подразнює очі та дихальну систему, викликає астму.
Соляна кислота	Роз'їдає очі, шкіру та дихальні шляхи.
Толуол	Подразнює очі та дихальні шляхи, може викликати депресію.
Ксилол	Подразнює очі. Він також може впливати на центральну нервову систему, знижувати рівень свідомості та погіршувати здатність до навчання.
Вінілхлорид	Канцерогенний, подразнює очі, шкіру та дихальну систему. Діє на центральну нервову систему, печінку, селезінку, органи кровотворення.

Хімічна переробка - це загальний термін, що описує низку різних технологій переробки відходів пластмас. Метою різноманітних хімічних процесів є

повернення ресурсів в той же виробничий цикл, в результаті якого утворився первинний вироб. Хімічна переробка відноситься до групи технологій, які викликають зміни в хімічній структурі пластмас за допомогою хімічних агентів, певної комбінації тепла, тиску, збідненого кисню, каталізаторів та/або розчинників або термохімічних процесів. У світовій практиці відновлення пластмасових відходів також застосовують технології хімічного рециклінгу, який являє собою деполімеризацію і/або деструкцію пластикових відходів з метою отримання з них складових мономерів, або вуглеводневих попередників мономерів, які можуть бути використаними у якості нафтохімічної сировини або енергетичних ресурсів. Хімічні способи переробки полімерних матеріалів в основному спрямовані відновлення відходів, що втратили первинні властивості або є непридатними для переробки іншими способами. На стадії перетворення довгі ланцюги молекул полімерів розщеплюються. На наступному етапі – розкладанні, ці полімери розщеплюються на мономері, які використовуються для виробництва нових пластмас.

Найбільш технічно доведені до широкого використання термічна деполімеризація, наприклад, піроліз і газифікація, а також хімічна деполімеризація.

У процесах термічної деполімеризації використовується теплова обробка в діапазоні 300 – 650°C у безкисневому середовищі, для перетворення полімерних молекул на кілька коротких молекул. Наприклад, піроліз відходів полістиролу, який проводиться при 700-800°C, забезпечує вихід до 85% стирулу. Піролізна нафта, отримана в результаті піролізу, складається з цілого ряду вуглеводневих продуктів і потребує подальшого очищення, перш ніж її можна буде використовувати як вихідну сировину для виробництва полімерів. Тверді продукти піролізу представлені в основному гудроном і використовуються як компоненти різноманітних захисних мастик, мастил, емульсій тощо.

При проведенні газифікації пластикові відходи обробляють при температурах 500 – 1300 °C в атмосфері з обмеженим надходженням кисню. В результаті газифікації утворюється синтез-газ, який являє собою суміш чадного газу CO та водню. Синтез - газ використовують як сировину для ряду хімічних процесів, включаючи перетворення в полімери за допомогою проміжних продуктів, таких як метанол або легкі вуглеводні. Технології хімічної переробки мають потенціал для переробки гетерогенних потоків пластикових відходів з високим рівнем забруднення. Проте висока енергоємність високотемпературних процесів робить їх економічно малоефективними та залежними від попиту на перероблену сировину.

Деполімеризація з отриманням мономерів може проводитися при обробці пластикових відходів в ваннах з рідким розчинниками. Ванна може містити одну або кілька різноманітних рідин, які дають назву процесу: вода (нейтральний, кислотний або лужний гідроліз), метанол (метаноліз), гліколь (гліколіз), аміак (аміноліз) і різні аміни (аміноліз). Процес деполімеризації зазвичай проводиться при високій температурі, підвищеному тиску та/або в присутності каталізаторів. У спеціальній літературі наводяться підтвердження можливості використання продуктів хімічної переробки відходів пластмас для виробництва: нової пластмаси; мономерів для виготовлення нових видів пластику; метанолу; транспортного авіаційного палива; воску для свічок. Знаходить поширення для проведення деполімеризації метод метанолізу, що являє собою глибоке розщеплення полімерних ланцюгів за допомогою метанолу при температурах понад 150°C і тиску 1,5 МПа. Продуктам метанолізу властива токсичність, що викликає необхідність ретельного очищення утворюємих залишків.

4.4.Механічний рециклінг полімерних матеріалів

Серед методів рециклінгового відновлення відходів термопластичних полімерних виробів найбільше розповсюдження має механічна переробка без застосування хімічних процесів. Станом на теперішній час методи механічної переробки зазвичай є кращими шляхами переробки відпрацьованого пластику з екологічної точки зору. Ключовим обмеженням є те, що механічна переробка може охоплювати лише однорідні потоки пластику та вимагає цільового попереднього сортування. Механічній переробці не підлягають забруднені, сильно пошкоджені та з неоднорідним складом пластикові відходи.

Ця технологія включає:

- попереднє розділення та сортування відходів за типом, формою, щільністю, розміром, кольором тощо;
- подрібнення полімерних відходів;
- відділення домішок та відмивання від забруднень;
- розплавлення подрібненої маси і її перетворення в гранулат шляхом екструзії.

Метод механічного рециклінгу термопластів має свої обмеження, пов'язані в першу чергу з тим, що у вторинної полімерної сировини нестабільні і гірші фізико-механічні властивості в порівнянні з первинною полімерною сировиною. На відміну від скла та алюмінію, пластик не може підлягати нескінченній переробці, оскільки з кожною наступним циклом рециклінгового відновлення. перероблений матеріал частково деградує та має нижчу якість,

ніж первинні матеріали. Погіршення властивостей відбувається за рахунок часткової деструкції та можливої наявності не полімерних включень, особливо у відходах споживання. Це призводить до неможливості багаторазової переробки термопластів, ускладнення процесу переробки і зниження властивостей одержуваних виробів, які в результаті можуть не відповідати вимогам, що висуваються. Крім того, вироби з вторинних полімерів часто мають погіршений зовнішній вигляд. З вторинних термопластів отримують вироби, до яких не пред'являють високих вимог (наприклад, пакети для сміття) або використовують їх як добавку до первинної сировини.

В Україні діє один із найбільших в країні рециклінгових заводів Polygreen по переробці поліетилену, який надходить від підприємств McDonald's, що входять до складу корпорації "Біосфера" (рис.57). Це підприємство має сучасне обладнання, за допомогою якого пластик проходить повний цикл переробки та очищення. За місяць Polygreen переробляє 860 т поліетилену в гранули різного типу.

Перш ніж будь-які пластикові відходи будуть перероблені, вони повинні пройти через ряд етапів, щоб потім їх можна було використовувати для виготовлення різних видів продукції:

1. Збір. Першим кроком у процесі механічної переробки є збір полімерних матеріалів, що залишилися після споживання, з будинків, підприємств та установ.

2. Сортивання. Необхідно, щоб кожен предмет пластикових відходів був розділений відповідно до його марки та типу. Видаляється забруднений пластик, наприклад ламіновані та/або пофарбовані вироби. Існує кілька різних типів пластику, які необхідно переробникам відокремлювати один від одного. Вручну проводиться видалення етикеток, кришок і кілець з горлечка пляшок. За допомогою ідентифікаційних кодів пластикові відходи можливо точно класифікувати вручну. У розвинених країнах світу перевагу надають механізованому сортуванню відходів.

3. Подрібнення. Після сортування пластикові відходи проходять обробку у подрібнювачах, які розривають пластик на дрібні шматочки, готуючи їх для переробки в інші продукти. При подрібненні також відбувається відділення пилу та дрібних пластикових часток шляхом пневматичного продування подрібненої маси.

4. Миття. У цьому процесі матеріал миється водними миючими розчинами на основі їдкого натру та промивається чистою водою впродовж кількох хвилин. До домішок, які відділяються при митті, зазвичай належать етикетки продуктів і клейкі речовини, а також бруд і залишки їжі. При промиванні різні види пластику розділяють за принципом різниці у щільності, коли відбувається спливання плаваючих частинок в ємності з водою.

5. Сушіння промитих відходів.

6. Процес агломерації. На цьому етапі плівковий матеріал агрегується в невеликі кульки.

7. Екструдкування. Проводиться розігрів та плавлення промитого пластику з метою послідуного екструдкування маленьких гранул, які призначені для використання у якості сировини для нових пластикових виробів.

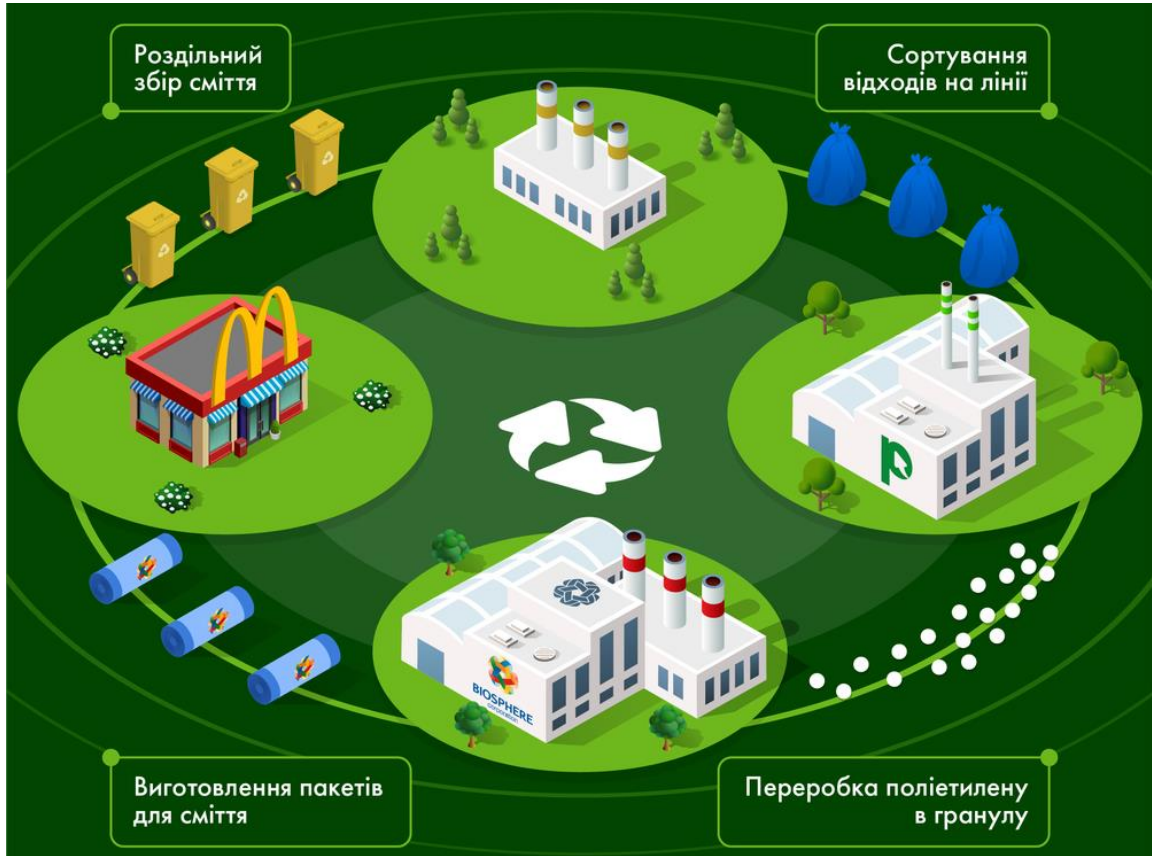


Рисунок 57 - Схема переробки поліетилену на рециклінгових заводів Polygreen

Значну частину відходів складають пляшки з поліетилентерефталату (ПЕТ), які були у вживанні, та використаний одноразовий посуд з поліпропілену. Відходи побутової ПЕТ-тари створили значні проблеми для навколишнього середовища, так як період їх розкладання у природних умовах необхідно понад 100 років. В даний час в світі має місце щорічне зростання більш ніж на 25% виробництва ПЕТ – тари. За 2016 рік підрозділи компанії «Кока-Кола» виробили на 1 млрд більше пластикових пляшок, ніж в попередній рік, а весь об'єм випуску складає понад 110 млрд штук. На долю цієї компанії припадає 59% світового випуску одноразових пляшок. За статистичними даними, з них на вторинну переробку повертається лише 7%, інші повільно розкладаються

на звалищах, згорають в сміттєспалювальних печах або забруднюють водойми.

У ЄС Директива 2019/904 передбачає, що з 2025 року ПЕТ-пляшки для напоїв повинні містити 25% переробленого пластику та 30% з 2030 року. У Великій Британії предмети одноразової пластикової упаковки, які містять менше 30% переробленого сировини, оподатковуються у розмірі 200 фунтів стерлінгів за тонну. Європейські країни широко стимулюють населення і виробників до утилізації пласмасових пляшок. Наприклад, уряд Норвегії обкладає екологічним податком всіх виробників пластикових пляшок. Чим більше вони відновлюють повернутої тари, тим більш суттєво зменшується рівень податків. У випадку, коли виробник переробляє понад 95% випущених пляшок, то він повністю звільняється від сплати екологічного податку.

У Західній Європі кожна третя ємність виготовляється з вторинного плієтилентерефталату (ПЕТ) - продукту переробки побутових відходів. ПЕТ-пляшки зазвичай служать прикладом найкращої практики для ефективного управління відходами, однак загальні показники переробки ПЕТ – відходів є низькими. Лише одна чверть усіх ПЕТ-відходів у Європі переробляється, незважаючи на середні показники переробки 50 - 55% для прозорих ПЕТ-пляшок для напоїв. Частково це пов'язано з тим, що пляшки для напоїв становлять лише половину споживання ПЕТ в Європі. Решта – текстиль і вироби, з яких лише до 20% відправляються на переробку. Вихід вторинної сировини при переробці ПЕТ – пляшок складає 60...70% від маси відібраних для рециклінгової переробки відходів.

Світовим лідером по відновленню такого пластику є Норвегія, де працює ряд сучасних переробних підприємств, на які на відновлення завозяться відходи з ряду європейських країн. В цій країні переробляється 97% усіх вироблених пластикових пляшок, 92% отриманого від них пластика повертається назад на виробництво нових пляшок. Як галузь, переробка пластикових відходів створює більшу кількість робочих місць, ніж захоронення та спалювання.

На обсяги переробки побутових відходів ПЕТ-тари впливають три основні чинники: економічність системи збору відходів, наявність виробничих потужностей переробки та ринок переробленого продукту. Помилково структуру витрат на переробку пластмас у європейських країнах автоматично переносити на реалії України, заздалегідь припускаючи не вигідність такого відновлення. Корективи вносить те, що витрати на збір і переробку відходів з пластику в Україні у кілька разів нижчі, виходячи з фактичної різниці у заробітній платі і вартості енергоресурсів. На сьогодні сумарні потужності України з переробки ПЕТ відходів складають до 1 тис. т в місяць. В той же час

щомісяця в Україну завозиться до 50 тис. т сировинного ПЕТ-грануляту. Основна частка цієї маси матеріалу після переробки у вигляді пляшок, плівок і пакувань потрапляє на прилавки магазинів, а далі ця маса у вигляді відходів відправляється для захоронення на звалища.

У деяких містах України є вдалий досвід роздільного збору побутових відходів: сортуванням ПЕТ-пляшок займаються двірники за договором із заготівельниками. Такий спосіб збирання є найбільш перспективним, оскільки забезпечує високу чистоту зібраних відходів. Також має місце ручне збирання ПЕТ-пляшок на полігонах твердих побутових відходів.

Первинне сортування ПЕТ-пляшок проводять у приймальних пунктах і на сміттєсортувальних заводах, а також на звалищах. Ідентифікація пляшок, як правило, не викликає труднощів, оскільки усі пляшки з під напоїв виготовляються лише з ПЕТ, а на пляшках з під інших рідин, виготовлених з ПЕТ, є нанесене спеціальне маркування – знак рециклінгу з цифрою “1”. Основна увага приділяється правильності сортування за кольором.

Станом на сьогоднішній день в Україні менше 30 компаній спеціалізуються на переробці ПЕТ-виробів, при цьому всього 10 компаній займається виробництвом нових товарів з переробленої сировини. Практично відсутні підприємства, які б використовували використану ПЕТ-тару як вторинну сировину для виробництва тканинного синтетичного волокна, хоча попит на цей матеріал стає дедалі більшим. Первинна сировина, що використовується при виготовленні виробів з пластмас являє собою, переважно, гранули зі стандартними розмірами, з постійною об'ємною масою і гарною сипучістю. Ринкова вартість вторинної полімерної сировини залежить від товарної форми. Вторинний гранулят цінується вище за всі інші форми вторинної сировини, оскільки він може бути застосований в подальшому виробництві різноманітних виробів - від волокон і текстилю до тари і геосинтетичних матеріалів.

Зібрані ПЕТ - пляшки очищають, обов'язково з них знімають кришки та етикетки. ПЕТ-пляшки, які закриті кришками, при ущільненні на пакетувальних пресах створюють додаткові проблеми, оскільки погано стискаються. Необхідно попередньо вручну знімати кришки або протикати пляшки гострим прутом, що знижує продуктивність підготовки. Зібрані пляшки для зручності транспортування спресовуються в тюки, які далі відправляються на переробку (рис.58б). Доцільно використовувати спеціальні преси з вбудованими «шипам» на пресовій плиті.

Етикетки переважно виготовляються з поліетиленової або поліпропіленової плівки. Етикетки не підлягають вторинній переробці, створюють додаткові пластикові відходи та вимагають видалення або перед збором, або в рамках

процесу переробки. Наявність етикеток спричиняє проблеми з автоматизованою ідентифікацією пляшок на переробних підприємствах.

Для покращення придатності ПЕТ - упаковки до рециклінгової переробки, її необхідно максимально спростити. Використання однотонних матеріалів, які легко переробляються, відмова від барвників і добавок, а також зменшення кількості компонентів упаковки – це всі способи, завдяки яким компанії – виробники можуть сприяти переробці.

Тенденція до використання ПЕТ-пляшок без етикеток зараз розвиваються в індустрії напоїв. Кілька ключових японських компаній з виробництва напоїв вже починають рекламувати упаковку без етикеток. Пляшки без етикеток виготовляються з цілісного шматка матеріалу без додаткової зовнішньої етикетки чи термозбіжного рукава.

Упаковка без етикеток може спричинити деякі маркетингові труднощі, оскільки має забезпечити відповідність маркування нормативним вимогам та надання всієї необхідної інформації споживачам. Ключовою проблемою для компаній, які вивчають можливість використання пляшок без етикеток, є проблема управління брендингом, для забезпечення легкого розпізнання продуктів та упаковки та збереження ідентичності бренду. Доцільно брендувати продукт включенням логотипів фірми в дизайн поверхні пляшки за допомогою видувного формування.

При виборі технології маркування ПЕТ-пляшок без етикеток немає універсального рішення, яке б підходило всім компаніям. Для маркування на корпусі ПЕТ-пляшок і нанесення інформації про продукт (харчова цінність продукту, склад продукту, коди партій, штрих-коди, логотипи вторинної переробки), графіки та тексту можна використовувати лазери (рис.58 а).



а)

б)

Рисунок 58 – Лазерне маркування на ПЕТ – пляшках з напоями (а); обв'язані дротом тюки з спресованих пляшок з ПЕТ перед відправкою для утилізації (б)

Компанії також можуть друкувати інформації безпосередньо на кришках від пляшок. Невеликий розмір кришок від пляшок обмежує кількість даних, які можна надрукувати, однак вони зазвичай добре підходять для простого брендування продукту та логотипів. Вони також можуть вміщувати машинозчитувані коди, включаючи скановані 2D-коди для надання додаткової інформації про продукт, даних для відстеження та рекламних матеріалів.

Найбільш поширений спосіб підготовки до рециклінгового відновлення ПЕТ відходів - переробка бувших у вживанні пляшок у пластівці (флекс). При цьому основним механічним способом переробки ПЕТ відходів є подрібнення. Пляшки попередньо підлягають сортуванню, потім подрібнюються на тонкі пластинки, які далі проходять повітряну сепарацію, миття у спеціальних ваннах із застосуванням лужних розчинів і миючих засобів, флотацію, ополіскування та сушіння. В результаті подрібнення фізико-хімічні властивості полімеру практично не змінюються. Чисті пластівці у подальшому проходять стадію грануляції - отримання вторинних гранул шляхом розплавлення сировини, його фільтрації та гранулювання. При необхідності перед гранулюванням подрібнені відходи змішують зі стабілізаторами, барвниками, наповнювачами та іншими інгредієнтами.

Виробнича лінія переробки ПЕТ-пляшок та інших полімерних відходів у чисті пластівці складається з наступних основних секцій.

1. Секція сортування. Спресовані в тюки, попередньо розсортовані ПЕТ - пляшки за допомогою стрічкового транспортера подаються в обертовий барабан, де вони поділяються на окремі пляшки з одночасним видаленням поверхневого бруду, частково етикеток і кришок та баластних забруднень типу каміння.

Далі сировина поступає на горизонтальний сортувальний транспортер з тунельним металодетектором. На конвеєрній стрічці пляшки додатково відокремлюють від різних домішок, а також розсортовують за кольором. Ця робота здійснюється вручну. Найвищу закупівельну ціну встановлено на прозорий флекс, а найнижча - на коричневий, оскільки продукції з прозорого флексу барвниками можна надати будь-який колір.

2. Секція подрібнення. Стадія подрібнення відходів є обов'язковою і найбільш відповідальною при переробці відходів пластмасових виробів. Часто якість подрібнення визначає можливість подальшої переробки відходів у нові вироби.

В даний час на ринку представлена значна кількість різних типів обладнання для подрібнення відходів пластмас. При виборі типу обладнання враховують: вид і характер пластмасових відходів, їх розміри і кількість, необхідна ступінь подрібнення і кінцевий розмір подрібненого матеріалу тощо.

Іноді, якщо необхідно подрібнити відходи великих розмірів, їх попередньо розрізають на більш дрібні шматки, використовуючи дискові пилки і стрічкопилні верстати.

Найбільш ефективним для первинного подрібнення полімерних відходів є застосування шредерів (англ. shredder - подрібнювач), на горизонтальних осях яких закріплено набір ножів (рис.59 – 60). Шредери призначені для подрібнення відходів пластмасових виробів: ящиків, корпусних деталей, ПЕТ пляшок, корпусів акумуляторів, листів, каністр, пінопласту, дрібних і середніх відходів лиття, плівки.

Полімерні відходи, які підлягають подрібненню, засипаються у завантажувальний бункер. Вали з ножами здійснюють зустрічний обертальний рух, що забезпечує захоплення матеріалу. Проходячи через просвіт між ножами матеріал відходів піддається різанню, або руйнуванню і далі подрібнений матеріал випадає з робочої зони для подальшого відновлення.



Рисунок 59 - Подріблення полімерних матеріалів на шредері

Крім шредерів для подрібнення полімерів використовуються роторні дробарки (рис.58). Цей вид обладнання дозволяє отримати бажану фракцію відходів з максимальною точністю. Для подрібнення легковагових відходів (плівок) застосовують дробарки з вертикальною віссю обертання ротора, що дозволяє ефективно подрібнювати і захоплювати, використовуючи відцентрову та гравітаційну силу для подрібнення матеріалу. Вертикальна вісь обертання ротора і косий зріз ножів таких дробарок дозволяють ефективно подрібнювати легковагові відходи. Завдяки високій швидкості обертання ротора та встановленим завихрювачам повітряного потоку, усередині корпуса подрібнювача матеріал ефективно подрібнюється і викидається з дробарки.

Складності виникають при подрібненні в'язких, в'язко-пружних, пластичних, м'яких матеріалів. За подрібнюємостю полімери розташовуються в наступній послідовності: полістирол > поліетилен низького тиску >

поліетилентерефталат (ПЕТ) > поліпропілен > поліамід > поліетилен високого тиску > поліуретан. Для їх подрібнення найчастіше використовують ножові дробарки, забезпечені пристроями для охолодження полімерного матеріалу і деталей апарату і дозволяють отримати мінімальний розмір до 2 мм (рис.61). Використання мокрого роторного подрібнювач забезпечує подрібнення ПЕТ - пляшок в пластівці і одночасно виконує функцію попередньої мийки.



Рисунок 60 - Зовнішній вигляд ріжучої частини шредера

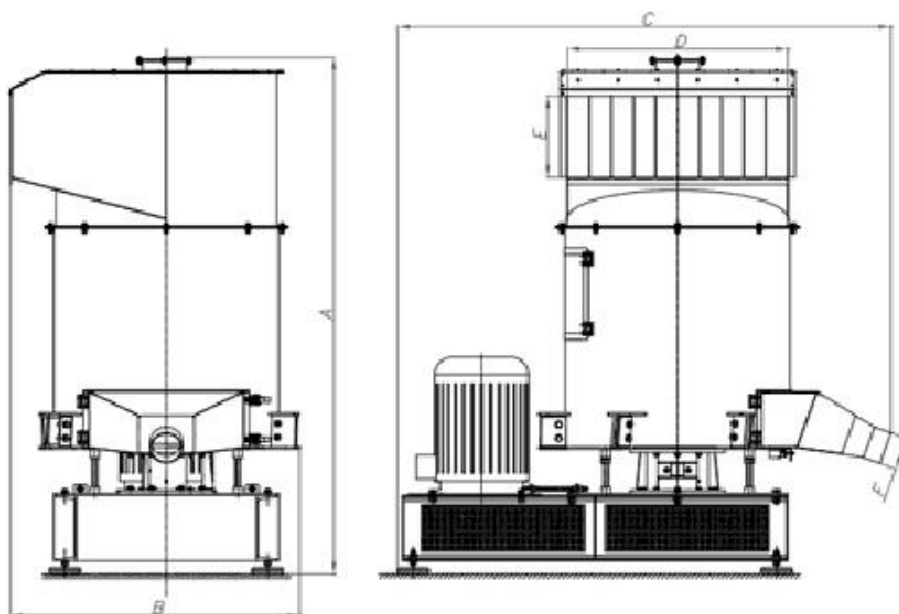


Рисунок 61 - Дробарка з вертикальною віссю обертання ротора

Особливе місце серед способів подрібнення в'язких пластмас займають криогенні технології, що застосовуються для подрібнення складноподріблюємих пластиків в середовищі рідкого азоту ($T_{\text{кип}}=77\text{K}$).

Холодоагенти вводять або безпосередньо в подрібнювач, або в спеціальні пристрої (ємності, контейнери), де полімерні відходи попередньо охолоджують до охрупчування, а потім подають на подрібнення.

Подрібнені пластівці (флекс) поступають у центрифугу, яка видаляє вологу. Від центрифуги пластівці пневмотранспортом транспортуються до мийки. При цьому від пластівців відокремлюється пил.

Для очищення подрібненого матеріалу також застосовують повітряний вертикальний класифікатор. Важкі частки ПЕТ опускаються назустріч повітряному потоку, а легкі частки (етикетки, плівка, пил) виносяться вгору потоком повітря і збираються у спеціальному пилозбірнику.

3. Секція промивання та флотації. Для якісного рециклінгового відновлення полімерних відходів необхідне видалення фізичних домішок. Це стосується не тільки прилиплих до полімерних виробів забруднюючих речовин, а також і додаткових елементів з інших матеріалів (металу, деревини, полімерів тощо). Залежно від галузі використання полімерний виріб може містити рідкі (напої, олії, косметичні засоби тощо), пастоподібні (мастила тощо) або тверді (пісок, волосся, корм для тварин, побутові хімічні речовини, будівельні матеріали тощо) сторонні залишки. Всі ці забруднюючі компоненти перед вторинною переробкою мають бути видалені. Якщо йдеться про водорозчинні сторонні речовини, то проблема вирішується шляхом водного промивання виробів, що направляються на вторинну переробку. Наступним за дробаркою обладнанням для очищення відходів зазвичай проводиться фрикційна мийка. Призначення фрикційної мийки - очищення поверхні подрібнених полімерних відходів від забруднень. При цьому видаляються паперові етикетки і залишки клеючих речовин. При роботі фрикційної мийки за рахунок обертання шнека у заповненій водою ванні частки полімерного матеріалу переміщуються по довжині ванни і очищаються за рахунок взаємного тертя своїх поверхонь, а також по поверхні шнека і ванни (рис.62). Для ефективного відмивання жирових включень в воду нагріту до 95⁰C додають каустичну соду (NaOH) та інші миючі засоби. На вторинну переробку 1 т подрібненого пластику в залежності від виду забруднень і ступеня забрудненості витрачають 3,0...8,0 т води. Після проведення промивання використана вода виявляється сильно забрудненою і повинна піддаватися належному очищенню для того, щоб її можна було повторно використовувати.

Ванна мийки флотаційного типу призначена для сепараційного розділення різних полімерних матеріалів (рис.60). Флотаційна сепарація реалізується завдяки різній щільності складових подрібненої полімерної маси. Так щільність поліетилентерефталату (ПЕТ) складає 1,38 кг/м³, а щільність поліетилену низького тиску (ПНТ), який є матеріалом кришечок і наклейок

пляшок $0,86 \text{ кг/м}^3$. Відповідно, частинки поліетилену низького тиску плавають на поверхні водяної ванни.



Рисунок 62 - Фрикційна мийка

Поділ різнорідних полімерів з близькими значеннями щільності заснований на різниці поверхневого натягу у різних видів полімерів на границях розділу «повітря - полімер – вода», яка забезпечується підбором поверхнево – активних речовин і їх концентрацією. При цьому частки окремих видів полімерів стають легшими за рахунок прикріплених до їх поверхні бульбашок повітря і спливають, інші ж опускаються на дно ванни флотаційної установки. Цільовим продуктом, в залежності від типу полімеру і складу суміші, можуть бути: або полімер, що збирається з поверхні, або той, що опустився на дно, або обидві фракції. Відділені паперові етикетки або стретч-плівки на пляшках при митті потребують додаткової фільтрації матеріалу. Клеї розчиняються і заважають переробці, а також погіршують механічні властивості переробленого матеріалу. Рух частинок полімерів по довжині флотаційного ванни, перемішування і змочування відбувається за рахунок обертання барабанів (рис.63).

При роботі флотаційної мийки етикетки і пробки спливають на поверхню ванни, частки ПЕТ занурюються на дно і вивантажуються з ємності з іншого боку за допомогою спеціального конвеєра. Для вивантаження частинок, що опустилися на дно ванни встановлений розвантажувальний шнек.

Ефективне розділювання відходів різних пластмас досягається також при послідовному проведенні флотації в сольових розчинах різної щільності.



Рисунок 63 - Флотаційна установка

Далі пластівці проходять просушування у центрифугі, або нагрітими повітряними потоками і подаються на пакувальну станцію для фасування.

4.Секція грануляції. Чисті пластівці (флекс) є товарним матеріалом, який може реалізуватися. Однак для підвищення якості і цінності вторинної сировини, а також з метою використання матеріалу на обладнанні, що технологічно не може працювати на пластівцях, відходи у формі флексу піддають грануляції (рис.64). В основі ліній грануляції, які призначені для отримання вторинної сировини у вигляді гранул, покладено явище екструзії. Екструзія - це процес безперервного виробництва виробів і напівфабрикатів заданого профіля, який здійснюється шляхом продавлювання розплаву полімерного матеріалу через отвори у фільєрній головці.



Рисунок 64 – Товарні ПЕТ – пластівці (флекс)



Рисунок 65 – Сировинні гранули з вторинного полімерного матеріалу

В процесі екструзії вихідний, додатково просушени, термопластичний полімерний матеріал у формі флексу через завантажувальний пристрій подається всередину циліндричного корпусу екструдера і переміщується в осьовому напрямку в спіральному каналі шнека, який утворюється внутрішньою поверхнею циліндра і спіральною нарізкою на поверхні обертаючогося шнека (рис.66 - 67). Температура екструзії знаходиться в межах між температурою плавлення полімеру (інакше полімер просто не буде текти, оскільки він буде твердим), і температурою початку термічної деградації, щоб запобігти надмірному деструкційному пошкодженню пластику. Нагрівання матеріалу здійснюється за допомогою зовнішніх нагрівальних зон, які вбудовані в корпус машини. Кількість зон залежить від розміру використовуваного екструдера. Зазвичай вони розташовані вздовж машини; наприклад, у точці входу, центральній області гвинта та точці виходу. Ці позиції відповідають секції подачі та транспортування, зоні плавлення та дозування та, нарешті, зоні вихідної матриці. Це дозволяє забезпечувати задану температуру по всій довжині гвинта. Завдяки виділенню тепла при терті і переміщенню полімерний матеріал рівномірно розмягчується до рівня пластифікації, тобто отримання потоку розплаву з заданою вязкістю. Оскільки розплавлення завантажених пластівців відбувається за короткий проміжок часу, термодеструкція полімеру не встигає розвинути та забезпечується швидка гомогенізація розплаву. Система забезпечена вузлом дегазації, що є необхідною умовою для отримання щільної вторинної полімерної сировини. При гранулюванні з екструзійної головки розплав видавлюється через 200...300 отворів фільтрної решітки у вигляді джгутів (стренг) і тут же

розрізається на гранули ножами, які ковзають вздовж фільтрної решітки. Отримані при різанні гранули охолоджуються водою.

Широке застосування для грануляції термопластичних полімерів знайшли одношнекові екструдери з довжиною: $L = (25 \dots 30) D$, де D - діаметр шнека.

На таких екструдерах досить ефективно переробляються практично всі види вторинних термопластичних полімерів при насипній щільності подрібненого матеріалу в межах $50 \dots 300 \text{ кг/м}^3$. Модельний ряд ліній грануляції забезпечує продуктивність від 50 до 600 кг/год (діаметр шнеків від 40 до 120 мм, довжина шнека 1,5-3,2 м).

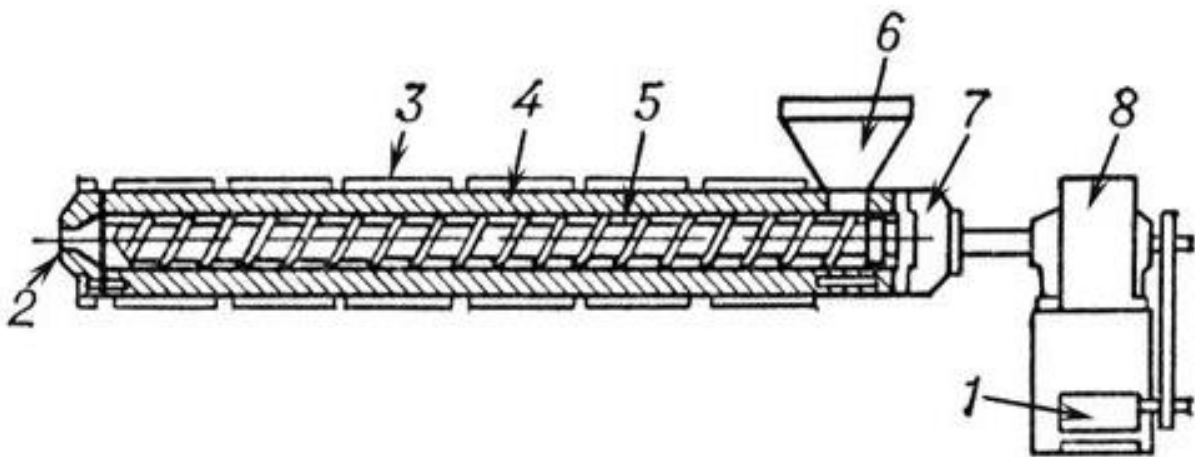


Рисунок 66 - Схема одношнекового горизонтального екструдера: 1 - двигун; 2 - екструзійна головка; 3 - нагрівач корпусу; 4 - корпус; 5 - шнек; 6 - завантажувальний пристрій; 7 – упорний підшипник; 8 - редуктор.



Рисунок 67 - Лінія грануляції термопластичних полімерів

Екструдери також можна використовувати для виготовлення готових виробів або напівфабрикатів, таких як суцільні профілі (бруски), порожнисті профілі (віконні рами), труби, плівки, листи та нитки. Тип утвореного профіля виробу залежить від форми отвору у матриці, через який витісняється пластик. Агломератори призначені для подрібнення, відмивання, агломерування, попереднього підсушування плівкових відходів полімерних матеріалів, а також технологічних відходів плівки. Агломерація являє собою процес спікання подрібнених шматків плівки в дрібні кульки неправильної форми. Агломерат це попередньо подрібнені ножами агломератора шматки плівки, спечені за рахунок термічного впливу в кульки неправильної форми. Розмір отриманого агломерату складає 0,5...5,0 мм в діаметрі (рис.68).

Відходи плівки завантажуються в робочу камеру агломератора через завантажувальне вікно. Обертливими ножами відходи подрібнюються та за рахунок тертя обрізків плівки по поверхні корпуса - агломеруються (розігріваються і згортаються в кульки неправильної форми). У той момент, коли перероблюємих пластик досягає консистенції злиплої кашоподібної густої маси, в робочий простір порційно подається вода. Під дією води маса агломерату розділяється на окремі частини та охолоджується, деякий час маса сушиться і потім вивантажується у підготовлену тару.



Рисунок 68 - Полімерний агломерат

Без попереднього розділення можуть перероблятися відходи термопластичних полімерів вальцево-каландровим методом. Метод полягає в вальцюванні і каландруванні подрібненого матеріалу відходів

термопластичних полімерів та отриманні плит і листів, які можуть бути використані для виготовлення лінолеуму. Як приклад, можна привести переробку відходів пластифікованого полівінілхлориду. Подріблені відходи подаються на вальці з температурою 150...160°C, на яких відбувається їх пластикація і гомогенізація впродовж 20...30 хв. Отримані листи використовують для виготовлення плиток для покриття підлоги.

На відміну від термопластичних полімерів термореактивні пластмаси при нагріванні не набувають пластичності. До недавнього часу відходи термореактивних пластмас вважали такими, що не підлягають вторинній переробці. Одним із можливих способів відновлення відходів термореактивних пластмас є використання порошків, які отримують після їх подрібнення, у якості наповнювача для термопластичних відходів. Порошкові термореактивні відходи можуть знайти застосування як матеріал, що утримується клейовими смолами, як наповнювач у термопластах або як частина нової незатверділої термореактивної матриці. Наповнювачі з подрібнених термореактивних полімерів є дешевшими за спеціальні полімерні наповнювачі і можуть забезпечити зниження вартості кінцевої суміші.

4.5. Приклади застосування вторинних полімерних матеріалів

На сьогодні накопичено значний досвід використання відновлених відходів термопластичних полімерів для перетворення на новий корисний продукт. У багатьох випадках відновлені пластмаси є конкурентноздатним сировинним матеріалом. Вторинні матеріали можуть використовуватись для виробництва предметів, властивості яких можуть бути дещо гіршими, ніж у аналогів, вироблених з використанням первинної сировини. Останнє рішення називається „каскадною” переробкою відходів. Така технологія з успіхом використовується, наприклад, компанією FIAT auto, що переробляє бампери автомобілів, що відслужили свій строк, у патрубки та килимки для нових машин. При цьому необхідно враховувати, що механічні характеристики і зовнішній вигляд виробів з вторинних пластмас, як правило, дещо гірші, ніж з первинних. Зазвичай вміст сировини з полімерних відходів в суміші з товарним продуктом не повинен перевищувати 20%, оскільки у випадку більшого вмісту вторинної сировини погіршується глянець поверхні виробів, а утворені поверхні характеризуються підвищеною шорсткістю. З вторинного грануляту отримують упаковки для товарів побутової хімії, кухонні та побутові дрібниці, деталі будівельного призначення, сільськогосподарський реманент, піддони для транспортування вантажів, витяжні труби, облицювання

дренажних каналів, безнапірні труби для меліорації тощо. Ці вироби мають достатні експлуатаційні параметри при їх виготовленні повністю з вторинної сировини. Однак більш перспективним є додавання вторинної сировини до первинного грануляту в кількості 20...30%.

Використання відходів полімерів дозволяє істотно економити первинну сировину (перш за все нафту) і електроенергію. Масштабна переробка пластику, який входить до складу твердих побутових відходів потребує будівництва окремих заводів. Багато переробників полімерних відходів відкрили бізнес по всьому світу, у цьому секторі створюється багато робочих місць для низькокваліфікованих працівників, включаючи сортування твердих побутових відходів. Це може завдавати шкоди навколишньому середовищу та призводити до збільшення споживання енергії для очищення, сортування, зберігання та транспортування відходів.

Продукти утилізації пластикових відходів мають широке застосування при виробництві пластикової продукції за винятком виробів, які входять в безпосередній контакт з харчовими продуктами, фармацевтичними препаратами тощо. З відходів поліетилену високого тиску виготовляють мішки для сміття, господарські відра, труби для підземної прокладки кабелю, ущільнювальні профілі, плівки, що застосовуються в сільському господарстві і будівництві. Є приклади вдалого використання вторинної сировини з відходів ливарного поліетилену низького тиску для виготовлення садових меблів, будівельних опалубних конструкцій, відер, каркасів світильників, а з поліпропіленових відходів - текстильні шпулі, деталі сантехніки, ручки для меблів, ящики.

Близько третини вторинного ПЕТ використовується для виготовлення волокна для килимів, синтетичних ниток, теплоізолюючих утеплювачів для курток, набивок для подушок і ковдр, одягу і геотекстилю. Значного поширення набуло використання волокнистих тканин з вторинного ПЕТ для виробництва захистних медичних масок та захистних костюмів для роботи в інфекційних відділеннях в період епідемії коронавірусу.

Одяг Pure Waste виготовляється із 100% волокон, що містять 60% переробленої бавовни та 40% переробленого поліетилентерефталату з пляшок. Одна футболка має водний слід 1,2 літра та вуглецевий слід 1,1 кілограма, тоді як та сама сорочка, виготовлена з первинних матеріалів, використовує 1426 літрів води та виробляє 2,1 кілограма CO₂. Одяг Pure Waste виготовлений із 100% перероблених волокон, які містять 60% переробленої бавовни та 40% переробленого поліестеру з пляшок. Одна футболка, яка виготовляється з такого волокна, має водний слід 1,2 літра та вуглецевий слід

1,1 кілограма, тоді як такий самий одяг, виготовлений з первинних матеріалів, використовує 1426 літрів води та утворюється 2,1 кілограма CO₂.

Широке застосування знаходять вторинні полімерні матеріали для виготовлення звукоізоляційних плит і панелей, а також герметиків, що застосовуються у будівництві. Фірма Reluma (Німеччина) виробляє із вторинного пластику берегові дамби для захисту від розмивання узбережжя на Балтиці. Раніше такі захисні елементи виготовляли з деревини, але їх швидко роз'їдали молюски. В цьому випадку пластмасові елементи продемонстрували значно вищу довговічність.

Геотекстильне полотно - це високоміцне полотно з нетканого текстилю на полімерно-волоконній основі з пробитими дрібними отворами (рис. 69). Геотекстиль є матеріалом, через який вільно проходить повітря і вода. Матеріал має високу біологічну, термічну, хімічну і механічну стійкість до впливу навколишнього середовища. Геотекстиль легкий і міцний матеріал, він виготовляється різної щільності і колірного окрасу. Геотекстиль знаходить широке застосування в дорожньому і гідротехнічному будівництві, транспортній та інженерно-комунікаційній галузях, територіальному благоустрою та ландшафтному дизайні, промисловості і сільському господарстві.

Геотекстиль широко застосовується у випадках штучного озеленення територій як розділювальна підкладка. Є велика кількість бідних ґрунтів, на яких не можливо вирощувати культурні рослини, оскільки відсоток гумусу в їх складі дуже низький. У таких випадках наноситься поверхневий шар родючого ґрунту. Щоб запобігти перемішування шарів бідного місцевого і привезеного родючого ґрунту, а також запобігти вимивання гумусу, між цими шарами укладають розділювальний шар геотекстильного полотна. Інтенсивно застосовується геотекстильне полотно в будівництві автомобільних та залізничних полотен, при прокладанні трубопроводів та зведенні гідротехнічних споруд - штучних водойм, дамб, декоративних ставків і т.д.

У теплий і холодний періоди геотекстиль можна використовувати як утеплювач для укриття рослин, оскільки він захищає як від морозів, так і від сонячних опіків, пропускає крізь себе повітря, не розкисає і не піддається гниттю.

Один з методів отримання будівельних виробів полягає в гарячому пресуванні суміші подрібнених відходів пластмас і піску в рівному співвідношенні. Пісок просіюють, нагрівають до 500°C, додають до подрібненої суміші полімерних відходів, змішують при 150°C впродовж 25 хв. Для поліпшення зовнішнього вигляду виробів в композицію на стадії змішування

додають пігменти. Підготовлену пластичну масу пресують у вироби або піддають екструзії.



Рисунок 69 - Приклади застосування геотекстильного полотна

Отримувані вироби - водостійкі будівельно-оздоблювальні матеріали з високими естетичними і споживчими властивостями: черепиця, облицювальна плитка, тротуарна плитка, а також інші вироби різноманітного призначення. Такі матеріали мають достатньо високі показники міцності і мають підвищену стійкість до стирання. Полімерно-піщана продукція має меншу щільність у порівнянні з аналогічними керамічними та цементними виробами, характеризуються волого- і морозостійкістю, а також еластичністю. Застосування полімерно-піщаної черепиці суттєво спрощує та здешевлює виготовлення покрівель у порівнянні з керамічним матеріалом.

Можливою заміною старих важких чавунних каналізаційних люків є люки, які виготовлені з полімерно – пісчаних сумішей. Перевагою таких люків є

можливість вибору будь-якого забарвлення, що дозволяє гармонійно доповнити існуючий ландшафт або навіть поліпшити його.

Будівельні матеріали також можна отримувати шляхом змішування у цементному розчині у якості наповнювача продуктів подрібнення до гранулоподібного стану відходів з поліетилену чи поліпропілену, з подальшим розливанням маси у форми. Виготовлені таким чином елементи будівельних конструкцій мають низьку теплопровідність, високу міцність і стійкість до горіння.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте недоліки полімерних матеріалів.
2. В чому полягає економічна ефективність утилізації полімерних матеріалів?
3. Охарактеризуйте основні технологічні етапи утилізації ПЕТ-пляшок.
4. Охарактеризуйте призначення і принцип роботи шредера.
5. Опишіть основний продукт утилізації термопластичних пластмас.
6. Опишіть, як зніюються властивості виробів при використанні для їх виробництва вторинних полімерів.
7. Наведіть приклади раціонального використання геотекстилю.
8. Яке застосування має пісчано-полімерна продукція?

5.Відновлення гумових відходів

До натуральних і синтетичних гумовмістних відходів відносяться зношені автотранспортні шини та інші гумові вироби.

Шини автотранспортних засобів, автомобільні камери та конвеєрні стрічки складають понад 70% обсягу гумових відходів. Шини виготовляються з суміші натурального та синтетичних каучуків. Синтетичні каучуки є різновидом полімерних сполук і складається з таких мономерів як бутадієн, стирол, пропілен, ізобутен, неопрен тощо. Пропорції інгредієнтів у складі сировини гумової суміші змінюються в основному залежно від цілей використання. Крім каучуків матеріали шин містять різноманітні органічні і неорганічні добавки (включаючи пластифікатори, антистаріючі речовини, оксиди сірки та цинку тощо). В результаті проведення вулканізації в гумі утворюються зшиті тривимірні хімічні структури, що забезпечує високі несучі, амортизаційні та протизносні властивості. Вулканізований каучук є термореактивним полімером, який складається з довгих ланцюгів (ізопрену, бутадієну та стиролу), які зшиті поперечними сірчаними зв'язками та додатково захищені антиоксидантами та антиозоновими агентами. Така будова підвищує довговічність, але ускладнює біодеградацію та фотохімічний розпад шин у природних умовах. Зношені шини являють собою цінну вторинну сировину, що містить до 60% каучуку, 25 - 35% технічного вуглецю, до 17% сталюого дроту (рис.70). Вченими докладаються значні зусилля до розробки екологічно чистих технологій і обладнання для відновлення гумотехнічних відходів.

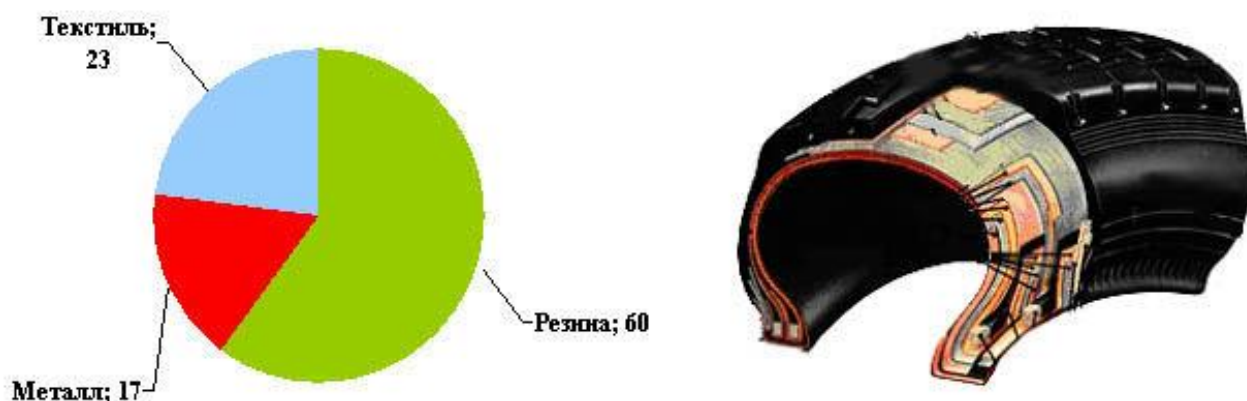


Рисунок 70 - Склад автомобільної шини

Шини є одним з найбільших і проблемних джерел відходів через великий обсяг, що виробляється всюди, і їх довговічність. Утворення гумових відходів є регулярним і передбачуваним, що викликає потребу створення систем збору

для переробки вторинної сировини. Відповідно до прогнозу, в найближчі роки проблеми відновлення гумовмістних відходів будуть лише поглиблюватися. Основна частина гумових відходів зазвичай збирається безпосередньо біля місць утворення, таких як автозаправні станції, гаражі та звалища. Накопичені на звалищах світові запаси зношених автомобільних шин складають близько 25 млн. т, а щорічний приріст становить понад 7 млн. т.

В Україні утворюється близько 150 тис. т в рік зношених шин, які переважно видаляються на звалища. В нашій країні проблема відновлення зношених автомобільних шин ускладнюється ще й тим, що на український ринок з країн ЄС поступають частково відпрацьовані покришки, і на нас перекладається частина європейських екологічних проблем. Зношені шини відносяться до відходів IV класу небезпеки і є одним із значних джерел забруднення навколишнього середовища оскільки:

- мають тривалий період розкладання (понад 100 років) в навколишньому середовищі;
- є вогнебезпечними, хоча і не легкозаймистими відходами, але у разі загоряння гасити пожежу досить складно;
- при складуванні у шинах після дощів накопичується вода, що робить їх місцем для розмноження гризунів і комах, які є переносниками інфекційних захворювань;
- контакт шин з дощовими опадами і ґрунтовими водами супроводжується вимиванням у ґрунт окремих токсичних органічних сполук.

Відновлення відходів гумових шин часто є проблематичним, що пов'язано з великою різноманітністю використовуваних гумових сумішей. Для задоволення потреб різних користувачів різні види шин вимагають використання сировини з різними властивостями. Відповідно, гумові суміші для їх виготовлення утворюють змішуванням ряду матеріалів, включаючи синтетичні каучуки. Один шинний завод може використовувати в технологічних процесах до 500 сумішей різного складу. Шини мають металеві та текстильні шари для посилення, які розділяють шари гумових сумішей. Використання композиції різних матеріалів ускладнює рециклінгове відновлення гуми з шин.

Встановлено наступну ієрархію найбільш прийнятних для збереження довкілля варіантів поводження зі зношеними шинами:

1. Скорочення. Рівень утворення використаних шин можна зменшити завдяки технологічним розробкам, які подовжують термін служби шин, і логістичним програмам, які заохочують до зменшення використання автомобілів.

2. Повторне використання шин. Зношені шини можна використовувати як каркас для відновлення протектора.

3. Використання зношених шин за новим призначенням. Прикладами цього застосування є штучні рифи, боротьба з ерозією ґрунтів, стабілізація поверхні шахтних хвостосховищ і відкосів доріг.

4. Переробка в продукти іншого призначення: може застосовуватися нарізання зношених шин на заготовки відповідної форми та збирання їх у нові вироби (наприклад, демпфери, підвіски для глушників тощо) або шляхом подрібнення шин у крихту та використання її у складі асфальтової суміші або гумово/пластикових сумішей для різноманітних формованих виробів.

5. Використання шин в проектах цивільного будівництва. Це включає їх розміщення в серцевині земляних валів, дренажних полів септиків тощо.

6. Відновлення сировинних матеріалів з шин. Матеріали, які використовуються для виробництва шин, складаються переважно з каучуку, сажі, тканини, сталевого дроту. Ці матеріали технологічно можна відновити і використовувати для виготовлення нових продуктів.

7. Відновлення шин в паливо. Гумові вироби не можна використовувати для виробництва нових гумових виробів після повторної переробки більше ніж три рази, що з рештою вимагає їх відновлення спалюванням. Після спалювання матеріал гума втрачається для відновлення матеріалу другого рівня, але це дозволяє забезпечити відновлення як сировини з високою паливною цінністю.

8. Складування, подрібнення та захоронення на спеціальних полігонах. Це стратегія утилізації, розроблена для усунення проблем, пов'язаних із захороненням шин у суміші з твердими побутовими відходами.

Поширеним методом видалення шин є їхнє зберігання на звалищах. Сьогодні кількість автомобільних шин, що знаходяться на звалищах у всьому світі, оцінюється у мільярди штук. Вивіз автомобільних шин на сміттєзвалища має негативні економічні та екологічні наслідки: даний спосіб використання шин можна прирівняти до знищення цінних вторинних ресурсів. Потреба постійного збільшення площ під такі звалища при дефіциті земельних ділянок веде до зростання витрат на вивезення та зберігання шин. Звалища шин створюють значну небезпеку для здоров'я людей та негативно впливають на ландшафт місцевості. Якщо у результаті майбутніх науково – технічних розробок технологій рециклінгу матеріал шин виявиться цінним ресурсом, збережену гуму можна буде видобувати для відновлення.

Сьогодні у світі поширення знаходять два основні способи роботи зі зношеними шинами: відновлення шин (накладення нового протектора) та переробка шин, що не підлягають використанню за прямим призначенням. Обсяги відновлення і використання зношених шин у Японії складають не

менше 87%, у Німеччині - 50%, до 30% у США. Аналіз ринку відновлення зношених автомобільних шин на прикладі США показав, що сьогодні 75% шин використовуються у вигляді палива, 10% – у вигляді продуктів подрібнення, 7% – постачання напівзношених шин на експорт, 5% – у цивільному будівництві та 2% - інші способи. У Німеччині переробляється 15% зношених шин, у Великій Британії та Франції – по 6%. Директиви Євросоюзу встановлюють завдання: збільшити до 60 % кількість шин, що переробляються, збільшити до 25 - 30% кількість відновлених шин, а розміщення шин на звалищах має бути припинене.

У глобальному масштабі утилізація гумовмістних відходів здійснюється наступним чином: до 15% відновленої сировини використовується у виробництві нової гумової продукції, до 25% знаходить інше застосування (наприклад, використання гумової крихти у дорожньому будівництві), понад 30% захоронюється на полігонах. Значна частина гумовмістних відходів спалюється з отриманням теплової енергії, що широко затребувана на енергоємних виробництвах (у цементній промисловості та на целюлозно - паперових комбінатах).

На теперішній час одним із найпростіших для реалізації методів відновлення шин є їх використання у якості палива. Шини мають високий вміст вуглецю і можуть виступати як різновид палива з високою теплотворною здатністю. В даному випадку шини використовуються як паливо – замітник вугілля та мазуту. При цьому виникають значні затрати на проведення попереднього розділення шин на шматки. В окремих країнах доля рекуперованої енергії з шинних відходів сягає до 60%. Даний метод утилізації шин впродовж довгих років залишався найдешевшим способом отримання енергії. Проте на сучасному етапі спалюванню шин відводиться менша роль. Це пов'язано з тим, що спалювання шин, з одного боку, не розв'язує проблеми циркулярної економіки та гальмує розробку нових методів їх рециклінгової переробки, а, з іншого боку, призводить до забруднення довкілля. При спалюванні шин у великих кількостях утворюються такі шкідливі речовини, як CO, CO₂, SO₂, Ств (сажа), хлорований діоксин, фуран тощо.

Методом подовження терміну використання шин є їх експорт у наповністю зношеному зношеному стані без проведення подальшої переробки. Основними покупцями таких шин є країни, що розвиваються, в яких пред'являються більш низькі вимоги до якості шин.

Для відновлення гумових виробів, переважно автомобільних шин, на даний момент знайшли розповсюдження механічний і термічний методи. На відміну від термопластичних полімерів гумові вироби, які є термореактивними полімерами, ускладнено піддаються рециклінговому відновленню. Це також

пов'язано з тим, що гума характеризується високою еластичністю та ускладнено подрібнюється.

У деяких країнах автомобільні шини піддають капітальному ремонту. При ремонті проводять відновлення протекторів шин. Таке відновлення шин є екологічним способом, що дозволяє продовжити термін експлуатації шини та економити ресурси (наприклад, на виготовлення нової шини витрачається 35 л нафти, а при відновленні – лише еквівалент 5 л нафти). Для відновлення протектора шин необхідно, щоб корпус шини перебував у неушкодженому стані. Відновлені шини автомобілів застосовують лише для легкових автомобілів економного і середнього класу. Вартість відновлення в середньому становить менше 50% вартості нової шини. Випробування показали, що відновлені шини можуть забезпечити до 50% пробігу, порівняно з новими шинами. Відновлення шини не може багаторазово повторюватися без впливу на її якість і безпеку експлуатації. На сьогодні у розвинутих країнах світу відновлення автомобільних шин практично не застосовується.

Використовують два способи відновлення протектора шини:

1) холодний, коли каркас шини піддається очищенню, вирівнюванню та утворення шорсткої поверхні, потім на каркас наклеюється тонка стрічка невулканізованої гуми, а зверху розміщується шар вулканізованої протекторної стрічки, далі проводиться вулканізація клейового шару при температурі 100°C впродовж 4-5 годин. При цьому фізичні властивості гумового каркаса залишаються незмінними. Метод холодного відновлення протектора призначений лише для відновлення шин вантажних автомобілів;

2) гарячий, коли каркас шини, як і при холодному способі, проходить процеси очищення від старого протектора, також наноситься клейовий шар та гумова суміш і все це встановлюється в гарячу форму (близько 170°C). В такій формі забезпечується формоутворення з невулканізованої гумової суміші протектора з відповідним малюнком. Після завершення процесу нанесення нового протектора шина додатково вулканізується впродовж 1,5 години. При такій технології відновлення протектора відбувається ослаблення зв'язків між металокордом і гумою через тривалий вплив підвищених температур вулканізації, ушкоджується структура каркаса шини.

До переваг методів відновлення протекторів шин відноситься:

- висока швидкість відновлення шини;
- відновлена шина є дешевшою за нову приблизно на 30-40 %;
- одну шину можна відновлювати до трьох разів;
- для процесу відновлення протектора використовується лише 20-30% нової сировини.

Недоліки метода відновлення протекторів шин:

- на відновленій шині не утворюється ідеальна циліндрична поверхня, що є результатом похибок після проведення процесів вулканізації;
- пошкоджені шини та ті, що мають термін «життя» понад сім років, не придатні для відновлення протектора;
- витрати теплової та механічної енергії для очищення та пресування вулканізованої шини;
- метод гарячого відновлення протектора вимагає використання окремих форм для кожного розміру шини та малюнка протектора.

В останнє десятиліття ХХ століття в Україні, з подоланням дефіциту автомобільних шин, проведення відновних ремонтів шин шляхом нанесення нового протектора практично перестало застосовуватися. В першу чергу це пов'язано з тим, що зник дефіцит нових шин, а відновлені шини мають нижчу надійність.

5.1. Відновлення зношених автомобільних шин шляхом спалювання

Шини на 60% складаються з вуглеводнів з запасом енергії, яку можна відновити в процесі спалювання. Вироблене тепло можна ефективно використовувати в процесах виробництва цементного клінкера. Зношені шини використовуються в цьому випадку як матеріал - заміник природного газу, вугілля і мазуту. Теплотворна здатність гуми становить до 32 ГДж/т, що відповідає характеристикам вугілля високої якості. При спалюванні однієї шини від легкового автомобіля виділяється енергія в кількості, яка є рівноцінною утвореній від спалювання 3 л нафти. Однак на виробництво однієї нової автомобільної шини витрачається енергії в 3-4 рази більше, ніж можна отримати при відновленні енергії спалюванням. Посилення вимог екологічного законодавства у сфері захисту навколишнього середовища, усвідомлення необхідності раціонального поводження з природними ресурсами, а також створення інноваційних технологій по переробці використаних автомобільних шин вимагають застосування більш ефективних рішень відновлення. Тому перевага віддається рециклінговому відновленню гумових відходів.

Продукти грубого подрібнення шин можуть додаватися у кількості до 10% до низькокалорійних палив для підвищення їх теплотворної здатності. Спроби рентабельного спалювання зношених шин на теплових електростанціях не знайшли розповсюдження, оскільки установки по спалюванню використаних шин повинні мати додаткове обладнання для очищення викидів шкідливих речовин в атмосферу. Високий вміст сірки у гумі ускладнює очистку продуктів

горіння. Крім того, при горінні гумових шин в атмосферу виділяється велика кількість кіптяви з високим вмістом небезпечних для здоров'я людини складних вуглеводнів. У процесі горіння гуми утворюються небезпечні для здоров'я канцерогенні органічні сполуки пірен, фенантрен, антрацен, флуорантен, біфеніл, флуорен, аценафтен, дібензоантрацен, бутадієн, стирол, діоксин, фуран, флуорентан та інші. Небезпека кожної з цих органічних речовин підвищується при їх спільній дії на людину. Необхідність значних капіталовкладень для установки фільтрів знижує економічну ефективність використання зношених автомобільних шин у якості енергоносія.

Кількість автомобільних шин, які допустимо використовувати у якості палива при виробництві цементу є технологічно обмеженою. Використання у цементному виробництві спалювання значної кількості зношених шин негативно відбивається на якості і кольорі отримуємого цементу.

Спалювання зношених шин при їх щорічному світовому виробництві на рівні 1 млрд шт може призвести до серйозних екологічних проблем. Процес спалювання сприяє посиленню парникового ефекту. Так, в процесі згорання 1 т шин утворюється близько 3700 кг вуглекислого газу.

5.2.Переробка гумових відходів у крихту

Зношені шини тривалий час вважалися матеріалом, який неможливо використовувати повторно, оскільки вони є композиційним поєднанням різних матеріалів. Також, не представлялося можливим використання переробленої гуми зі складу зношених шин у якості відновленого матеріалу. Відновлення зношених шин має включати їх розділення на складові компоненти (гуму, сталь, текстиль) та подальшу обробку з метою одержання нових матеріалів.

На сьогоднішній день основним напрямком раціональної переробки відходів гумотехнічних виробів є їх подрібнення і сепарація з отриманням гумової крихти. Переробка гуми за допомогою подрібнення зберігає технологічні властивості вихідного матеріалу. Подрібнення має перевагу у порівнянні зі спалюванням шин завдяки відсутності утворення токсичних викидів.

В основу технології механічної переробки закладене механічне подрібнення шин до невеликих шматків з подальшим механічним відділенням металевого і текстильного корду і отриманням тонко дисперсних гумових порошків. У процесі механічної переробки гумовий матеріал зберігає свої високі еластичні властивості, тому більшість енергії витрачається на деформацію матеріалу, а не на його руйнування. В результаті гумовий матеріал сильно нагрівається, що призводить до термічного окислення поверхні та виділення димових газів. Подрібнення шин вимагає спеціального устаткування і вважається

малопродуктивним та енергомістким способом переробки. Для подрібнення на 1 тонни гумових відходів потрібні витрати до 1000 кВт/год електроенергії. Для запобігання нагріванню гумового матеріалів застосовують примусове охолодження.

Механічні способи подрібнення можуть включати в себе додатковий нагрів або охолодження, але зміна температури в даному випадку має допоміжний характер, оскільки мета механічних способів - отримання гумової крихти або продукту, що не відрізняється кардинально від вихідної сировини за хімічними властивостями.

Усі технології подрібнення відпрацьованих автомобільних шин умовно поділяються на три групи:

- переробка при низькій температурі (в криогенному діапазоні);
- переробка при нормальній і підвищеній температурі;
- переробка при високій температурі.

Переробка автомобільних шин при нормальних (позитивних) температурах потребує застосування устаткування зі зносостійкими ріжучими інструментами і багатостадійного очищення гумової крихти від металу і текстильного корду. Швидке зношування різального інструменту з інструментальної сталі разом з низькою продуктивністю призводить до високої вартості отримуємої гумової крихти.

На сьогодні розроблені технологічні схеми та обладнання для переробки шин у гумову крихту, яка використовується у якості сировинної добавки при виробництві нових гумових виробів. Найбільш поширеним є використання ліній переробки зношених шин при нормальній температурі. Усі технологічні лінії подрібнення зношених шин є багатоступінчастими, технічно складними, потребують оснащення системами аспірації і пилогазоочищення.

У процесі підготовки відходів шин та інших гумових виробів до подрібнення на першому етапі проводять розрізання шин на шматки та їх подрібнення до розміру чіпсів. В умовах подальшого подрібнення відбувається перетворення матеріалу на більш тонкі частинки, що дозволяє використовувати як сировину для їх переробки методами екструзії та каландрування. При додатковій обробці гумової крихти в екструдері-подрібнювачі отримують тонкодисперсні гумові порошки з фракції до 0,2 мм з відокремленням текстильного корду.

Розглянемо переробку шин в гумову крихту на напівавтоматичній лінії ЛПШ-150 з продуктивністю 100-150 кг/год. Лінія включає в себе обладнання для поетапної обробки та подрібнення шин, сепарації частинок дрогового і текстильного корду, поділу частинок гуми на фракції. На першому етапі технологічного процесу зношені автомобільні шини подаються на ділянку підготовки, де вони миються і очищаються від сторонніх включень.

Лінія для переробки зношених шин та гуми включає:

1)Верстат для вирізання боковин проводить первинне оброблення шини, вирізаючи одну боковину.

2) Дискові механічні ножиці, які розрізають автомобільну шину на стрічку шириною від 30 до 70 мм.

3)Верстат для нарубки розділяє попередньо нарізану стрічку на чіпси розміром 35х35 мм.

4)Окремий верстат видавлює бортовий дріт з попередньо вирізаної боковини шини за рахунок руйнування зв'язків гума-металокорд-текстильний корд. Боковини після нарізки, а також бортове кільце, що залишився після нарізання смуг, поміщається між валками даного верстата. Верстат здійснює механічне навантаження на бортовий дріт до його повного відділення від гуми. Шматки гуми переміщуються на наступний етап переробки, дротяні кільця складаються.

5)Секція подрібнення та сепарації. Шматки гуми подаються в спеціальні вальці, де відбувається їхнє подрібнення до стану крихти.

6)Стрічковий транспортер подає крихту на вібростіл для первинної сепарації. Відбраковані за розміром частинки подаються на повторне подрібнення, частинки, які пройшли через сито, подаються на подальшу переробку.

7)Магнітний сепаратор здійснює відділення частинок сталевих дротів. При застосуванні даного методу досягається видалення при послідуєчій магнітній сепарації лише 50...70% корду, при цьому отримують корд, який забруднений залишками гуми.

8)Вібростіл проводить сепарацію гумової крихти на три фракції.

9)Повітряний сепаратор здійснює додаткове очищення гумової крихти від частинок текстильного корду. За допомогою стрічкових транспортерів очищена гумова крихта подається до обладнання для фасування у мішки.

Подрібнення гумових виробів спрощується в атмосфері озону, який сприяє швидкому руйнуванню структури гуми, полегшуючи подальше подрібнення відходів механічними методами. Для реалізації технології подрібнення в атмосфері озону використовують спеціальні камери, в яких автомобільні шини або їх фрагменти піддають одночасно впливу дії озону і деформуванню. Подрібнення гумових відходів в атмосфері озону ускладнюється високою токсичністю, вибухонебезпечністю, а також технологічною складністю процесу отримання озону. Крім того, ослаблена під дією озону гума знижує свої початкові властивості. Виникає необхідність рекуперації відпрацьованого озону, оскільки його підвищена концентрація в повітрі негативно впливає на стан здоров'я виробничого персоналу.



Рисунок 71 - Чіпси з подрібнених автомобільних шин

Термодеструкція ізопренових гум починається при температурах вище 140°C , для гум на основі етиленпропілендієнового каучуку при температурах вище 200°C . Термоактивований розпад міжмолекулярних зв'язків при таких підвищених температурах полегшує механічне руйнування гуми і призводить до зниження питомих енерговитрат на подрібнення. Подрібнення автомобільних шин при підвищених температурах супроводжується розпадом полісульфідних та інших міжмолекулярних зв'язків. Однак, процес подрібнення при підвищених температурах є ускладненим через поступове налипання гуми, що переробляється, на ріжучі леза і на стінки камери подрібнення.

При низькотемпературній (кріогенній) обробці зношених автомобільних шин подрібнення проводиться при температурах $-60...-90^{\circ}\text{C}$, коли гума знаходиться в псевдокрихкому стані. При температурах нижчих за температуру окрихчування гума втрачає свої еластичні властивості. Характер подрібнення охолодженої гуми є схожим на руйнування кристалічних мінералів. коли процес подрібнення протікає по крихкому механізму без виникнення пластичної деформації. Відповідно, технологія кріогенного подрібнення зношених автомобільних шин дозволяє одержати тонкодисперсний гумовий порошок. Оскільки окрихчування при охолодженні є зворотним процесом, то гума при кімнатній температурі повертає свої еластичні властивості і властивості кінцевого продукту будуть відповідати властивостям початкового матеріалу. Кріогенною технологією можуть перероблятися шини будь-якої конструкції та габаритних розмірів. При необхідності отримання у великих кількостях гумового пилу з розміром частинок менше $0,315\text{ мм}$ базовим може бути лише кріогенний метод. Дроблення при низьких температурах зменшує в $2,0...2,5$ рази енерговитрати на дроблення, покращує відділення металевого і текстильного корду від гуми, підвищує вихід гумового порошку. У всіх відомих установках для охолодження гуми перед подрібненням використовується рідкий азот з температурою -196°C у кількості $0,4 - 3,0\text{ кг}$ на 1 кг отриманої гумової крихти. При цьому виключаються пожежонебезпечні ситуації, оскільки подрібнення відбувається в середовищі інертного газу - азоту. При переробці шин кріогенним способом основним недоліком є підвищені енергетичні витрати на одержання рідкого азоту - від 2500 до $3000\text{ кВт}\cdot\text{год}$ для переробки 1 т покришок, які, як правило, перевищують економією від зниження енерговитрат на руйнування гуми.

Низькотемпературну обробку зношених автомобільних шин здійснюють у три стадії:

- попереднє подрібнення зношених автомобільних шин до шматків розміром $50...150\text{ мм}$;
- подрібнення до отримання крихти розміром $6...10\text{ мм}$;
- охолодження і тонкодисперсне подрібнення в кріогенних умовах.

Зношені автомобільні шини подаються в обладнання для видалення бортових кілець. Далі шини поступають в шинорізну машину і в роторну дробарку (рис.82). Порізані шматки гуми подаються в холодильну камеру, де охолоджуються до температури $-50...-90^{\circ}\text{C}$. Холодний газ для охолодження гуми подається від генератора холоду повітряної турбоохолоджувальної машини. Охолоджена гума потрапляє в роторно-лопатковий подрібнювач, звідки вона направляється на очистку в магнітний сепаратор і аеросепаратор, де відділяється гумова крихта розміром менше $1,0...0,5\text{ мм}$.

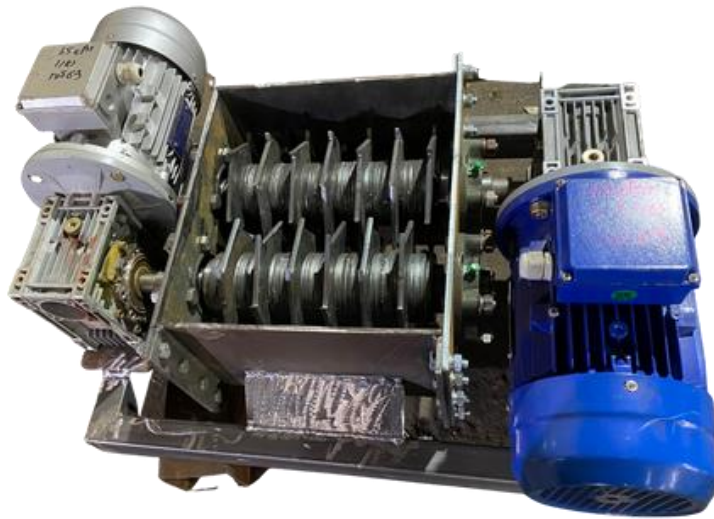


Рисунок 72 - Роторно - ножова двовалкова дробарка, яка використовується для подрібнення гумових відходів

Основна перевага ліній переробки зношених покриттів при криогенній температурі полягає у полегшеному відокремленні гуми від корду. Крім того, у результаті подрібнення при низьких температурах крихта має гладку поверхню, що погіршує її сумісність з іншими каучуками.

Високі енерговитрати на виробництво рідкого азоту в турбоохолоджувальних машинах, його висока вартість, складність його доставки, зберігання, є основними причинами, що стримують впровадження низькотемпературної технології.

При обробці бародеструкційним методом шини спочатку розрізають і подрібнюють, а потім в спеціальній камері під впливом високого тиску і температури доводять гуму до стану плинності. Розігріту пластичну гуму видавлюють з камери через отвори діаметром 1 мм. В результаті гума і текстильний корд відокремлюються від металевих кордів, а через отвори виходить дрібна гума - тканинна крихта з високорозвиненою поверхнею. По закінченню циклу обробки металокард виймається з пресової камери у вигляді спресованого брикету.

Для подрібнення автомобільних шин також пропонується застосовувати технології різки гуми скануючими водяними струменями високого тиску з абразивними зернами. Абразивні зерна за рахунок значної кінетичної енергії, при зіткненні з поверхнею гумової шини виконують роботу різання. Струмін рідини руйнує поверхневий шар гуми з наступним його віднесенням вторинним потоком, а абразивні частки, маючи запас кінетичної енергії, відокремлюють від оброблюваної поверхні мікро стружку і відділяють її від металічного корда (рис.73). Обладнання для різання гуми скануючими водяними струменями

високого тиску включає систему підготовки води, яка забезпечує очищення відпрацьованої води і повернення її в технологічний цикл.

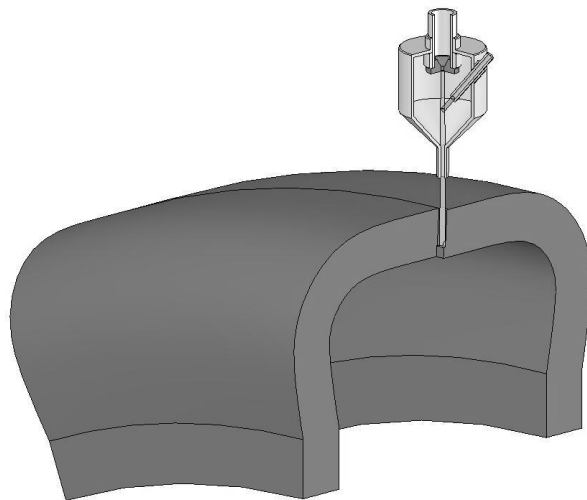


Рисунок 73 - Схема водоструменевого подрібнення шин

Перевагою методу гідроабразивного різання є відсутність нагріву гуми, що попереджує зміну будови та обгорання гуми в зоні різку. Гумова крихта, що утворилась, одразу вимивається водою з області різання і далі розділяється за розмірами у процесі фільтрування. Тепло, що генерується у процесі різання, миттєво відводиться водою. Важливим аспектом є високий ступінь екологічної безпеки такого процесу.

До недоліків гідравлічного різання відносяться конструктивні труднощі, що виникають при створенні високого тиску рідини (понад 100 МПа), невисока стійкість сопла, яке формує воду – абразивний струмінь.

Механічні способи переробки гуми в крихту дають вторинні продукти, які без додаткової обробки широко затребуваний на ринку. Подрібнена гума може застосовуватися у наступних напрямках:

- порошкова гума з розмірами часток від 0,2 до 0,45 мм є затребуваним на ринку вторинним матеріалом, що використовується в якості добавки (5...20%) до гумових сумішей при виготовленні нових автомобільних шин та інших гумотехнічних виробів. Застосування гумового порошку з високорозвиненою питомою поверхнею частинок, який одержують при механічному подрібненні, підвищує стійкість шин при згинаючих і ударних навантаженнях, збільшує термін їх експлуатації;

- порошкова гума з розмірами частинок до 0,6 мм використовується в якості добавки (до 50...70%) при виготовленні гумового взуття, гумових ковриків, покрівельних матеріалів та інших виробів. При цьому властивості таких гум

(міцність, деформованість) практично не відрізняються від властивостей гуми, виготовленої з сировинних каучуків;

- порошкову гуму з розмірами частинок до 1,0 мм застосовують для виготовлення підкладок під залізничні рейки та у якості компонента для виготовлення композиційних покрівельних матеріалів (рулонної покрівлі і гумового шиферу), вулканізованих і не вулканізованих рулонних гідроізоляційних матеріалів; гумо-бітумних мастик;

- порошкова гума з розмірами частинок від 0,5 до 1,0 мм застосовується в якості добавки для модифікації нафтового бітуму в асфальтобетонних сумішах. Частинки розміром менше 0,08 мм в процесі перемішування розпадаються та модифікують бітум, покращуючи його властивості. Оптимальний вміст подрібненої гуми в складі асфальтових покриттів складає близько 2% від маси мінерального матеріалу, тобто 60...70 т на 1 км дорожнього полотна. При цьому термін експлуатації дорожнього полотна збільшується в 1,5...2,0 рази. Асфальтобетонна суміш, яка містить добавки подрібнених гумових відходів, створює більш міцне, довговічніше, тихіше та безпечніше дорожнє покриття. Однак вартість асфальту, що містить порошкову гуму, є вищою від вартості звичайного асфальту. Застосування гумової крихти в асфальтобетоні вдвічі підвищує коефіцієнт зчеплення на мокрому покритті.

- гумові чіпси з розмірами частинок до 5 см застосовують як внутрішній наповнювач спортивного інвентарю, наприклад, боксерські груші (рис.65).

Поширеним використанням переробленої подрібненої шинної гуми є виготовлення килимків. Гумові килимки, сформовані за допомогою такого процесу, у житлових, комерційних приміщеннях і спортзалах утворюють стійкі до ковзання поверхні. Ці килимки зазвичай використовуються для підлоги спортзалах. Гумова крихта може застосовуватися як добавка при виробництві нових автомобільних покришок, гумотехнічних виробів для автомобілів, водовідштовхувальних покриттів для дахів, залізничних шпал та підрейкових прокладок, підошов для взуття, коліс для інвалідних колясок і ліжок. Також цей матеріал використовують у складі покриття доріг, футбольних полів, тенісних кортів та дитячих майданчиків. Створення з подрібнених гумових відходів синтетичних газонів спортивних полів забезпечує всепогодну поверхню, яка може збільшити використання поля, оскільки покриття не потребує періодів відпочинку для зменшення зносу та відновлення росту газонної трави. Синтетичний газон не потребує поливу, посіву чи внесення добрив і пестицидів.

Покращення доступності та безпеки для дитячих майданчиків є головною особливістю продукції для покриття на основі подрібнених шин. Традиційне

покриття, таке як деревна стружка або гравій, може обмежити доступ для людей з фізичними вадами. Завдяки використанню килимових покриттів з переробленої гуми, або плиткових поверхонь, ігрові майданчики можуть бути повністю доступними для людей будь-якого віку та здібностей.

З суміші гумової крихти та сполучної смоли, в результаті формування у нагрітих формах, виготовляються підлогові покриття та ландшафтні вироби. Кольорова мульча з подрібнених гумових відходів для озеленення зменшує споживання води та використання пестицидів, не вицвітає, не гниє.

Ефективним є застосування порошкової гуми у якості сорбенту для збору сирової нафти і рідких нафтопродуктів з поверхні води і ґрунту. Гумовий порошок має високу селективність, практично виключається утворення емульсії з водою в зібраних нафтопродуктах. Крім того, завдяки відсутності ефекту набухання, поглинуті нафтопродукти можуть бути віджатими від гуми під тиском, що дозволяє використовувати сорбент багаторазово, зменшуючи, тим самим, затрати на збір нафтопродуктів.

В цілому, споживання подрібненої гуми є невеликим і недостатнім для масового відновлення зношених гумових шин, що утворюються у великих кількостях щороку.

5.3.Регенерація гуми

Близько 30% відходів виробництва гумотехнічних виробів відновлюють, як правило, на підприємствах, що виготовляють вироби широкого вжитку. Ця технологія базується на використанні універсальної девулканізованої сировини – регенерату, який за властивостями близький до первинного каучуку. Одержуваний регенерат використовують у гумових сумішах як заміник каучуку.

В процесі девулканізації відбувається селективний розрив хімічних зв'язків сірка-сірка (S-S) і вуглець-сірка (C-S) без руйнування довгих полімерних ланцюгів каучуку та повернення матеріалу до термопластичного стану.

Напівпродуктом для виробництва регенерату є подрібнена гумова крихта розміром 1...2 мм, в якій вміст текстильних волокон може досягати 10%.

Поширення має процес девулканізації, який полягає в нагріванні подрібненої гуми з домішками до температури 160...190° С для проведення деполяризації полімерної основи. При цьому відбувається деструкція вулканізованого каучуку: його структура частково руйнується, виникають розриви в місцях приєднання сірки і безпосередньо в молекулярних ланцюгах. Напівпродуктом для виробництва регенерату є подрібнена гумова крихта розміром 1...2 мм, в якій вміст текстильних волокон може досягати 10%. При регенерації гумову

крихту змішують з добавками пом'якшувачів і активаторів процесу девулканізації, що сприяє переходу гуми в пластичний стан. Гумовий порошок попередньо обробляють в змішувачі впродовж 30 хвилин при температурі 150°C у присутності добавок таких хімічних речовин, як пентахлортіофенол, аміни, хлориди металів і технологічні масла. Призначенням добавок таких хімічних речовин є розщеплення сірчаних зшивок між гумовими ланцюгами та розрив ланцюгів вільних радикалів, утворених у результаті розщеплення зв'язків. Молекули пом'якшувача проникають між молекулами каучуку, що забезпечує збільшення міжмолекулярної відстані, і, відповідно, веде до послаблення міжмолекулярних зв'язків і набрякання гуми.

При кислотній регенерації гуми використовується гаряча сірчана кислота, що забезпечує руйнування тканинних волокон, які входять до складу шини. Розігріту гумову масу, яка утворилася в результаті безперервно змішування з пом'якшувачами, пропускають через шнековий екструдер. Одержаний девулканізований регенерат обробляють на вальцях з одержанням однорідного пластичного невулканізованого гумового регенерату. На сьогоднішній день галуззю застосування регенерату є виробництва маловідповідальних виробів, гідроізоляційних мастик, у якості порівняно дешевого сполучного матеріалу при виробництві деяких будівельних і технічних виробів із гумової крихти.

5.4. Піроліз гумових відходів

Процес піролізу привертає увагу фахівців у галузі поводження з відходами, оскільки дозволяє уникнути багатьох негативних забруднюючих наслідків спалювання гумових відходів у котлоагрегатах. Піроліз шин та полімерних матеріалів на даний момент розглядається як найбільш перспективний і екологічний метод їх відновлення. Кількість токсичних газів, що утворюються при піролізі і вимагають очищення, є набагато меншою, ніж при спалюванні відходів.

У випадку нагрівання органічних відходів без доступу кисню умови для горіння відсутні, а відбуваються складні хімічні процеси розпаду вуглеводневих складових. При піролізі вуглеводнів (від грец. *Pyr* - вогонь і *lysis* - розкладання, розпад) відбувається деполімеризація довгих молекул вуглеводнів на більш короткі, в результаті якої утворюється ряд рідких або газоподібних інгредієнтів. Технології піролізу на сьогодні поширені при виробництві сировини органічного синтезу синтетичних матеріалів. Так, на

піроліз припадає майже 100% світового виробництва з вуглеводнів та нафтопродуктів етилену, 67% - пропілену, 80% - бутадієну та 37% - бензолу.

Піролізна обробка є ефективною технологією для відновлення органічних складових відходів (пластмаса, гума, деревина, шкіра). При температурах піролізу ці фракції випаровуються, видаляються з тигля, охолоджуються і конденсуються у вигляді рідкого синтетичного палива. В результаті нагрівання утворюються високовуглецевий твердий залишок і парогазова суміш з парів горючої рідини і суміші горючих газів, які не конденсуються при охолодженні до кімнатної температури. Співвідношення кількостей одержуваних газоподібних, рідких і твердих продуктів, а також їх склад залежить від умов, при яких проводиться процес піролізу, і складу перероблюємих відходів.

Піроліз зношених автомобільних шин вважається перспективним, найбільш екологічним і безпечним методом відновлення матеріалу шин. В результаті проведення піролізу гумових відходів не утворюються токсичні залишки, які вимагають видалення. В процесі піролізної переробки утворюються вторинні продукти в умовах незначного забруднення довкілля і низьким вуглецевим слідом, у порівнянні з захороненням чи спалюванням для отримання енергії. Так, при проведенні піролізу гумових відходів утворюється вуглецевий слід на 80% менший, ніж при їх спалюванні, що сприяє досягненню кліматично-нейтральних цілей. Піроліз також розглядається як альтернативна технологія переробки твердих побутових відходів, а також нафтошламів, осадів стічних вод.

Піроліз зношених автомобільних шин є альтернативним методом відновлення шин, забезпечує досягнення циркулярності і можливість рециклінгу матеріалів. У процесі піролізу відбувається переробка відпрацьованих автопокришок з утворенням матеріалів, які відрізняються від складових компонентів гумових виробів. Тепло прискорює хімічні реакції руйнування вулканізаційних зв'язків та розриву довгих полімерних молекул у гумі. За рахунок глибоких необоротних деструктивних змін структури полімерів, які містяться у гумових відходах відбувається утворення синтетичного рідкого піролізного масла, подібного до сирової нафти, горючого синтетичного газу і побічних продуктів, таких як твердий вуглець (сажа). При температурах піролізу новоутворені фракції випаровуються, відводяться з тигля, охолоджуються і конденсуються у вигляді рідкого синтетичного палива. З 1 т перероблених гумових відходів можна отримати до 450 л синтетичної нафти, 300 кг сажі (з вмістом технічного вуглецю до 85%), 10 м³ піролізного синтез - газу. Піроліз однієї зношеної автомобільної шини дозволяє отримати до 30 л піролізного масла. Склад і кількість продуктів, які утворюються в процесі піролізу, може змінюватися у широких межах і залежать від типу

вихідної сировини та температурного режиму процесу піролізу. При переробці зношених шин, продуктами піролізу є піролізне масло (45%), сажа (30%), сталевий дріт (10%) і легкозаймистий піролізний синтез-газ (10%).

Піролізне масло являє собою чорну непрозору рідину з різким запахом. Піролізне масло містить вуглеводневі сполуки з довжиною молекул від C5 до C20. Це складна суміш в якій містяться ароматичні вуглеводні, включаючи бензол, толуол, ксилол, стирол та їх алкіловані гомологи та поліциклічні ароматичні вуглеводні з 2–5 кільцями. Піролізне масло має високу кислотність та низьку термічну стабільність. Вміст сірки в піролізному маслі зазвичай становить 1,0–2 мас. %.

Піролізне масло перед використанням у якості палива потребує проведення попередньої очищуючої обробки. Методи очищення включають гідроочищення, каталітичне очищення, фракціонування, адсорбцію активованим вугіллям тощо. У результаті перегонки з піролізного масла можуть вилучатися цінні хімічні продукти, такі як бензол, толуол, ксилол, фенольні сполуки. Важкі фракції піролізного масла, при використанні у якості добавки до бітуму в дорожньому будівництві, забезпечують підвищення його еластичності, морозостійкості і вологостійкості.

Питома теплота згорання піролізного масла складає близько 43 МДж/кг, що дозволяє використовувати його як котельне паливо або переробляти шляхом перегонки на мазут та дизельне паливо. Піролізний мазут здебільшого використовується у технологіях, які не потребують високоякісного палива, наприклад, сталеливарні заводи, котельні, цементні печі.

Піролізний синтез - газ містить у своєму складі алкани, олефіни, водень, монооксид вуглецю (CO), вуглекислий газ, а також сполуки сірки та азоту в низьких концентраціях. Синтез - газ є цінним продуктом, який можливо використовувати як проміжний продукт для створення синтетичного природного газу, метану, метанолу, диметилового ефіру або у якості сировини для перетворення у зелений водень. Значну частину синтез – газу, який утворюється в процесі піролізу, використовують у якості палива для підтримання на заданому рівні технологічних температур у піролізному реакторі.

Твердий вуглецевий залишок в тиглі по завершенню піролізу містить понад 70% вуглецю, є цінним альтернативним матеріалом, який придатний для використання при виробництві нових шин замість натуральної сажі, яка виробляється з викопного палива. Піролізна сажа є важливим зміцнювальним наповнювачем шин і виконує функції фарбування, зміцнення, проведення електричного заряду, теплопровідності, захисту від ультрафіолетових променів та має важливий вплив на фізико-механічні властивості гумової

суміші. Піролізна сажа може використовуватися як тверде паливо, а також у якості сорбента (замінника активованого вугілля) для виробництва модифікованого рідкого палива, як барвник для лакофарбових, цементних та інших виробництв, як наповнювач для гумобітумних мастик.

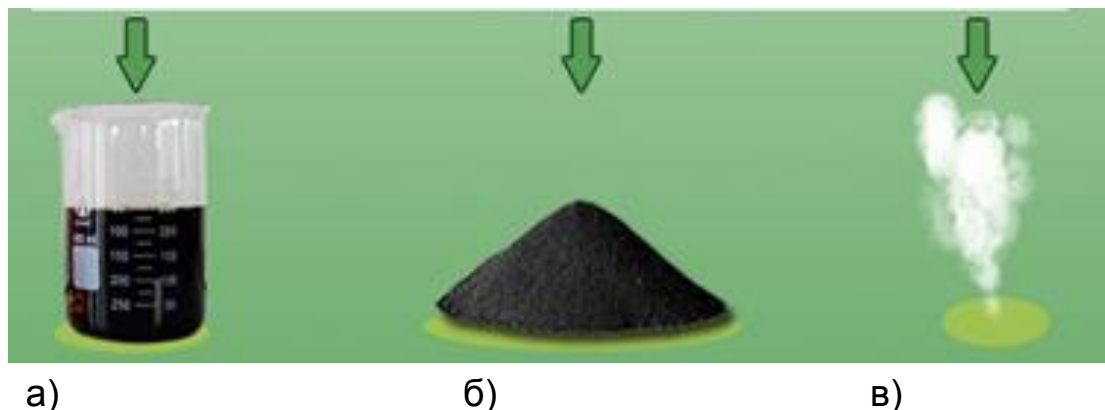


Рисунок 74 - Продукти піролізу гумових відходів: а) піролізне масло; б) сажа; в) піролізний синтез – газ

Сажа як чорний пігмент використовується в газетних, друкарських фарбах, чорнилах для принтерів та тонерів. Добавки сажі захищають від деструктивної дії ультрафіолетових променів і запобігають старінню пластику. Сажа у складі полімерів для їх виготовлення є високоефективним антистатиком. Добавка сажі в кількості 2% надає електропровідні властивості гумі, пакувальній плівці, волокнам тощо.

Відповідно до температурних умов проведення процеси піролізу поділяються на:

- низькотемпературний піроліз ($450...550^{\circ}\text{C}$), що характеризується мінімальним виходом газоподібних продуктів та максимальною кількістю утворюємих піролізного масла і твердого залишку. Зі збільшенням температури піролізу утворення піролізного масла зменшується, а утворення піролізного синтез - газу зростає;
- середньотемпературний піроліз ($550...800^{\circ}\text{C}$), при якому збільшується кількість одержуваного синтез - газу, а кількість смолистих речовин і масел зменшується;
- високотемпературний піроліз (понад 800°C) відрізняється максимальним виходом газоподібних продуктів і мінімальним - смолоподібних продуктів.

Оцінка енергоємності процесу свідчить, що енергетично більш доцільно проведення піролізу в області низьких температур. Крім того, при низькотемпературному піролізі відбувається трансформація хімічної структури гуми в більш м'яких умовах, що призводить до збільшення виходу у вигляді

цільового продукту рідких вуглеводнів. Енергетичний баланс процесу піролізу при температурах вище 1000°C є негативним, тобто витрати енергії на проведення процесу значно вищі, ніж теплотворна здатність утворених вторинних продуктів. Великий вплив на процес піролізу відіграє присутність каталізаторів, які прискорюють реакції деструкції відходів.

Для високотемпературного піролізу характерні наступні переваги:

- відбувається більш інтенсивне перетворення вихідного продукту;
- швидкість реакцій експонентно зростає з збільшенням температури, у той час як теплові втрати зростають лінійно;
- збільшується час теплового впливу на відходи, відбувається більш повний вихід летучих продуктів.

На сьогодні розроблено і пропонуються споживачам ряд піролізних установок різної продуктивності та ступеню автоматизації для відновлення гумових та твердих побутових відходів. Отримання паливних фракцій і цінних відновлених матеріалів шляхом низькотемпературного піролізу гумових, пластмасових та інших відходів розглядається як перспективна технологія. Заводи з переробки відходів (включаючи промислові, небезпечні медичні та тверді побутові) способом піролізу працюють починаючи з середини 70 років минулого століття у Франції, Данії, США, ФРН, Японії та Китаї.

До складу піролізних установок періодичної дії входить:

- жаростійкий тигель – ємність, в яку завантажується сировина для піролізу;
- піролізна піч - топкова камера, в яку для нагрівання встановлюють герметизований тигель з сировиною;
- теплообмінник, в якому піролізний газ, що утворюється в процесі піролізу, конденсується у рідке паливо.

Піролізна піч - вертикальна шахтна піч, яка футерована вогнетривким бетоном і високотемпературною теплоізоляцією (рис.75). У нижній частині шахти печі встановлені колосники для спалювання твердого палива і пальниковий пристрій для спалювання горючих газів. Інтенсифікація горіння палива і перемішування топкових газів досягається повітряним наддувом.

Тигель являє собою реакторну ємність, яка виготовляється з жаростійкої сталі (рис.70). Кожен тигель, після завантаження поза піччю відходами, закривається герметичною кришкою, яка закріплюється болтами по периметру. Потім тигель піднімається за допомогою кран-балки і встановлюється у топку. Розігрівання тигля полум'ям проходить рівномірно з усіх боків. Сировина прогрівається за рахунок теплопередачі через стінки тигля і піддається піролізу. Парогазова суміш виводиться з тигля по трубопроводу через швидкокорозійне з'єднання і сільфонний компенсатор

деформацій, охолоджується в конденсаторі - холодильнику, де пароподібні продукти конденсуються (рис.85).

Процес піролізу зношених гумових шин включає наступні етапи.

Етап 1: Підготовка вихідної сировини. Зношені очищені гумові шини розрізаються на шматки і, по можливості, подрібнюються до більш компактного стану гумових гранул розміром 10-50 мм для більш повного заповнення сировиною об'єму піролізного реактора (тигля). В результаті подрібнення з утвореної гумової крихти вдається попередньо видаляти значну частину подрібнених волокон і сталюого дроту.

Етап 2: Процес піролізу. Гумові відходи завантажують у піролізний тигель (рис.76), його внутрішній простір проходить інертизацію для унеможливлення горіння і вибухів сировини. Для цього в реактор подається порція інертного газу азоту. Встановлений в піч тигель розігрівається за рахунок спалювання дров або кам'яного вугілля до температур від 400...700°C. За рахунок підведеного тепла проходять реакції розкладання та випаровування. Частину гарячих газів, які утворюються в процесі роботи піролізного реактора, допалюють у топковій камері печі. Для піролізу 100 кг зношених шин тривалість нагрівання однієї партії становить 3...4 години, а для піролізу партії 500 кг зношених шин час обробки становить до 7...8 годин.

Після проходження через конденсатор більша частина газоподібних продуктів, які виходять з тигля, охолоджується і зріджується в піролізне масло, а неконденсований синтез - газ використовується як паливо для підтримання енергоємного процесу піролізу.

Етап 3: Заключні операції. По завершенню процесу піролізу тигель виймають з піролізної печі і залишають на підлозі цеху для охолодження. Цикл завершується вивантажуванням з тигля твердих продуктів піролізу

Частина летючих вуглеводнів при охолодженні не конденсується і виходить після охолодження у холодильнику у вигляді синтез - газу, що використовується для розігріву піролізної установки в якості палива. Додаткова енергія використовується лише для ініціювання процесу в першому реакторі. Для виробництва теплової енергії в наступному реакторі використовується синтез-газ, вироблений у першому реакторі, без необхідності використання в установці додаткового палива. Піролізне масло накопичується в збірнику рідкого продукту. Після закінчення циклу піролізу тигель виймають з печі і на зміну йому, встановлюють в піч інший тигель з сировиною.

Досвід експлуатації піролізних установок свідчить, що для виходу на робочий режим піролізу автомобільних шин витрачається від 15 до 25% рідкого палива, яке було раніше вироблене на наявній установці піролізу. При

завантаженні в тигель 500 кг гуми можна отримати до 300 літрів піролізного рідкого палива, з яких 75 літрів будуть витрачатися на попередній нагрів сировини. Після початку піролізу подача рідкого палива на спалювання відключається і протягом 4,5 годин прогрів тиглів відбувається вже за рахунок спалювання піролізного газу.



Рисунок 75 – Піролізна піч для відновлення зношених автомобільних шин методом низькотемпературного піролізу

Ефективна робота піролізних установок досягається при поєднанні кількох печей у модулях, коли надлишковий синтез - газ з першої печі може бути використаний для розігріву другої. У кожний період часу печі знаходяться на різних стадіях процесу. Зсув фази процесу між двома печами обирається таким чином, що друга піч проходить стадію максимального газоутворення в той момент, коли перша піч відчуває найбільшу потребу в паливі. Таким чином, усувається необхідність у додатковому твердому паливі, викиди в атмосферу істотно зменшуються, відпадає потреба у використанні газгольдерів для тимчасового зберігання піролізного газу. Модульні піролізні печі дозволяють проводити піроліз зношених автомобільних шин у безперервному режимі.

Після закінчення процесу піролізу тигель за допомогою кран-балки виймають з печі, опускають на підготовлену площадку та охолоджують її на відкритому повітрі до 120...140°C. Дроти та сажа з тигля видаляються вручну коли його температура опуститься нижче 40°C. Після охолодження тигля

продукти переробки вивантажують у піддон і від них на віброситі відокремлюють включення металевих дроту (табл.10). Після вібросита, переміщуючись на стрічковому конвеєрі з вбудованим магнітним сепаратором, фракція вуглецевого залишку додатково очищається від металевих включень і готова як напівпродукт для подальшої переробки.



Рисунок 76 - Тиглі для відновлення автомобільних шин методом низькотемпературного піролізу

Альтернативою установок піролізу періодичної дії є установки термічної деструкції безперервної дії з горизонтально розміщеним реактором (рис.79). Головною відмінністю цього обладнання від розглянутої вище установки з вертикально встановленим тиглем є усунення необхідності періодичного багатогодинного охолодження. В установках безперервної термічної деструкції гумової крихти подача і просування сировини по реактору проводиться за допомогою системи шнеків у просторі, який є ізольованим від навколишнього середовища. Установки термічної деструкції відрізняються низьким енергоспоживанням і енергетичною універсальністю, оскільки можуть працювати з використанням для підтримання процесу піролізу тепла від спалювання піролізного масла чи синтез - газу. Продуктивність таких установок може досягати 10 тс. автомобільних шин у рік.

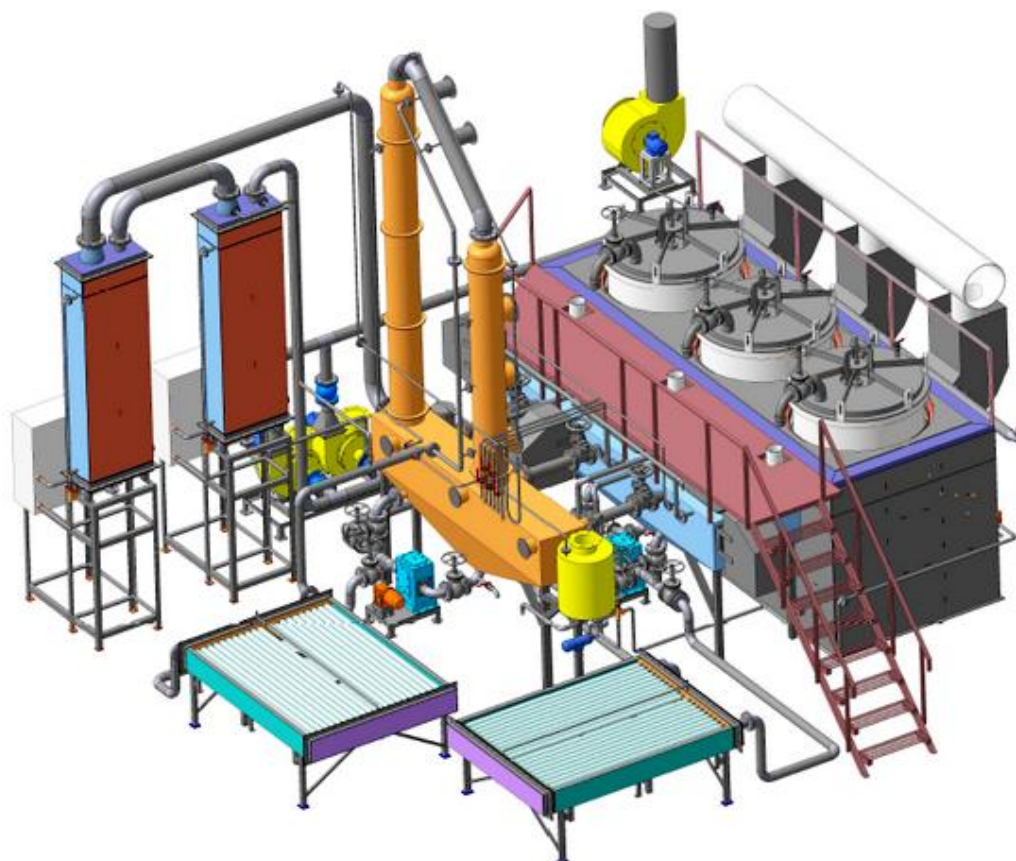


Рисунок 77 - Конструкція установки для відновлення зношених автомобільних шин методом низькотемпературного піролізу



Рисунок 78 - Тюк металевих бортів, які залишилися після проведення піролізу вантажних шин



Рисунок 79. Установка для безперервного піролізу гумової крихти

Таблиця 18

Продукти піролізу зношених автомобільних шин

Назва продукту	Використання продуктів
Піролізне рідке паливо	Застосовується в якості рідкого палива для котлоагрегатів, замінник пічного палива.
Технічний вуглець (92 - 99%С)	Застосовується в якості твердого палива, а також можливе використання при приготуванні модифікованого рідкого палива, в якості сорбенту, замінника активованого вугілля, в якості наповнювача при виготовленні нових гумотехнічних виробів невідповідального призначення, барвника для лакофарбових, а також наповнювач полімерних матеріалів
Піролізний газ	Використовується у якості палива для роботи піролізної установки
Металобрухт (металокорд)	Застосовується для подальшої переплавки в метал або як армуюча добавка до бетону

Піролізне рідке паливо можливо піддавати перегонці на фракції шляхом ректифікації. з метою отримання різних різних фракцій нафтопродуктів (бензинової, керосинової, солярної тощо). При ректифікації продуктів піролізу утворюються молекули ненасичених вуглеводнів, які містять значну кількість

подвійних зв'язків. Такі фракції швидко коксуються, осмолюються, набувають бурого кольору. Для доведення до якості моторного палива продукти ректифікації рідкої піролізної фракції повинні пройти малопродуктивну гідролізну обробку під тиском воднем в присутності каталізаторів.

Крім гумових відходів, у якості сировини для піролізних установок можуть використовуватися відходи різноманітних пластмас, промаслений картон тощо. Найбільш зручною полімервміщуючою сировиною для піролізу є RDF-гранули. Обмеження має використання полівінілхлоридних пластмас, з яких при піролізі утворюються токсичні продукти. Особливістю продуктів піролізу пластмас при температурах 400...550°C є додаткове утворення воскової фракції, яка забруднює осадами систему конденсації. Підвищений вміст воску знижує температуру застигання піролізної рідкої фракції до 50°C.

Піролізне відновлення відходів має наступні переваги:

- це ефективний, маловідходний метод відновлення органічних відходів;
- теплова енергія отримується більш чистішим способом, ніж на заводах для спалювання твердих побутових відходів, завдяки меншій кількості оксидів азоту (NO_x) і оксидів сірки (SO₂) у димових газах;
- отримання вторинних продуктів у вигляді паливних ресурсів;
- обробка на піролізних установках є більш гнучкою, ніж у випадку масового спалювання відходів. Менший об'єм пов'язаний із меншими газоочисними пристроями, що зменшує інвестиційні та експлуатаційні витрати;
- можливість отримання з відновлених відходів цінних сполук для хімічного синтезу (вуглеводні, органічні кислоти, смоли тощо);
- піролізне масло можна також переробляти в інші корисні продукти;
- застосування піролізу робить помітний внесок в захист екологічного середовища. Піролізні залишки не містять агресивних речовин, тому їх можна захороняти, причому такі відходи утворюються в меншій кількості, ніж після спалювання.

До недоліків піролізу відноситься:

- низька продуктивність, складність і висока енергозатратність процесу;
- використання складного дорогого обладнання, значні експлуатаційні витрати.
- при проведенні піролізу виникають проблеми забезпечення безпеки та герметизації транспортної системи реактора;

Питання для самоконтролю

1. Якими способами може проводитися переробка зношених автомобільних шин в кінцевий продукт.
2. Області застосування гумового гранулята, пилу і найдрібнішої гумової муки.
- 3.Опишіть обладнання, яке застосовується для подріблення зношених автомобільних шин.
- 4.В чому полягають особливості кріогенного подрібнення автомобільних шин
5. Застосування гумового пилу в області шинної індустрії.
6. Поясніть суть регенерації гуми
- 7.Суть утилізації зношених автомобільних шин в піролізних установках.
- 8.Охарактеризуйте продукти піролізної переробки зношених автомобільних шин.

6.Регенерація відпрацьованих олив

Робота сучасних машин передбачає використання олив для змащення рухомих з'єднань. Оливи, основою яких є високомолекулярні рідкі вуглеводні, утворюють плівку, що захищає поверхню рухомих елементів механізмів від сухого тертя та передчасного зносу. Крім цього, оливи оберігають металеві частини механізмів від появи корозії і впливу шкідливих сполук, які зазвичай утворюються при роботі двигунів. Розвиток техніки призвів до появи величезної кількості самих різних машин і механізмів, що вимагають індивідуального підходу до питання вибору мастила. Критеріями підбору марки змащуючої оливи можуть служити антикорозійні і протиокислювальні властивості, допустимий температурний режим експлуатації, в'язкість, хімічний склад і багато іншого.

В умовах підвищених температур при роботі механізмів протікають реакції окислення, в які вступають найбільш нестійкі вуглеводні зі складу олив. В результаті таких реакцій утворюються небажані продукти - кислоти, смоли, асфальтени, які призводять до погіршення фізико-хімічних властивостей олив, що негативно позначається на їх експлуатаційних якостях. В оливи також потрапляють залишки палива та волога. Відбувається збільшення їх в'язкості, кислотності, зольності, коксованості, знижується температура спалаху, в їх складі з'являються асфальто-смолисті речовини та шлам. Наявність води інтенсифікує корозійні процеси, збільшує ймовірність піноутворення та окислення, а також погіршує змащувальні властивості оливи. В процесі експлуатації моторне масло втрачає свої функціональні властивості. Для забезпечення тривалої надійної роботи у силових агрегатах проводять періодичну заміну олив. У зв'язку з постійним розширенням автомобільного парку помітно зростає і кількість відпрацьованих моторних олив, які вимагають проведення відновлення.

Відпрацьовані оливи - основна частина відходів нафтопродуктів, які утворюються і накопичуються на транспортних і промислових підприємствах. Світове споживання олив становить близько 60 млн. т на рік. Незважаючи на те, що застосування олив становить всього близько 1% від загального обсягу перероблених нафтопродуктів, питання їх утилізації з точки зору екології заслуговує значної уваги. Відпрацьовані оливи відносяться до небезпечних відходів, оскільки потрапляючи у ґрунт, поверхневі і ґрунтові води вони можуть наносити значну загрозу здоров'ю людей і природі. Використані оливи нерозчинні у воді, хімічно стійкі, в них можуть бути присутніми токсичні сполуки і важкі метали. В природних умовах відпрацьовані мастильні матеріали розкладаються досить тривалий час. У водоймах відпрацьовані оливи

розливаються по поверхні води і заважають її контакту з повітрям. Значна їх частина осідає на дно водоймищ, формуючи осади, які вбивають флору і фауну водойм. Відпрацьовані моторні мастила та трансмісійні оливи, що використовуються в автомобілях, якщо їх не переробити або не утилізувати належним чином, можуть забруднювати навколишнє середовище. Дослідниками встановлено, що відпрацьовані оливи становлять не менше 50% загальних забруднень від нафтопродуктів. Щоб запобігти забрудненню навколишнього середовища, місцеві органи управління відходами або автомобільні ремонтні майстерні повинні належним чином відновлювати відпрацьоване масло. Використані масляні фільтри викликають схожі проблеми з відходами відпрацьованих олив.



Рисунок 80 - Основні види забруднювачів моторних олив

Згідно з міжнародними стандартами відпрацьованою моторною оливою вважається хімічна речовина мінерального або синтетичного походження, яку забруднено різними домішками в процесі роботи до ступеня, яка не дозволяє використання речовини в технічних цілях надалі, і, відповідно, має бути замінено новою або регенованою речовиною.

Мастильні оливи складаються з базових масел і присадок. Базова олива це рідкий продукт, що повністю або частково складається з мінеральної або синтетичної оливи, що використовується як основний компонент для різних типів проданих мастильних матеріалів, включаючи моторні масла, рідини для автомобільних трансмісій, гідравлічні рідини, трансмісійні масла, масла для металообробки тощо. Відпрацьовані оливи після їх попередньої обробки можуть використовуватися в якості базової оливи у виробництві моторних, індустріальних, трансмісійних, гідравлічних та інших видів олив. Щоб виробити

1 літр повторно очищеної базової оливи, потрібно значно менші затрати енергії, ніж базової оливи із сирової нафти.

Відпрацьовані моторні оливи при правильній технології відновлення можуть бути використаними повторно на певних видах техніки і в деяких галузях хімічного та технічного виробництва. Цей процес називається регенерацією моторних олив. В економічно розвинених країнах регенерується до 90% відпрацьованих нафтопродуктів, збір яких забезпечується інфраструктурою, яка створена фірмами - виробниками. Так, в Канаді нафтопереробна фірма «Ессо» поставляє на ринок оливи, що містять до 50% регенованих продуктів. Вихід якісних вторинних базових олив з відпрацьованих становить 60...80%, в той час як при переробці сирової нафти вихід товарних олив не перевищує 10%.

Залежно від призначення всі відпрацьовані мастильні матеріали умовно поділяють на групи:

- оливи моторні відпрацьовані. До них належать моторні оливи, а також оливи, які використовуються в гідравлічних системах і трансмісіях;
- оливи індустріальні відпрацьовані. Ця група включає в себе трансформаторні, гідравлічні, компресорні і турбінні масла;
- суміші відпрацьованих нафтопродуктів. Сюди відносяться нафтопродукти, які збирають при очищенні резервуарів і трубопроводів, а також нафтопродукти, видалені зі стічних вод на очисних спорудах.

Відповідно до існуючої політики провідних держав світу, відпрацьовані оливи повинні повторно використовуватися як цінні матеріально-технічні ресурси. Тому всі підприємства і організації, діяльність яких тим чи іншим чином пов'язана з утворенням відпрацьованих олив, законодавчо зобов'язані збирати, вести облік, раціонально використовувати і здавати на регенерацію всі відпрацьовані мастильні матеріали, що відносяться до однієї з перерахованих вище груп. Регенерація дозволяє видалити з відпрацьованих олив хімічний осад, механічні включення, гази, водний конденсат, кислоти та інші домішки, а також надати очищеному продукту оригінальний колір.

Існує два основних способи відновлення відпрацьованих олив: переробка та спалювання.

Спалювання є менш бажаним варіантом відновлення, оскільки з продуктами згорання в повітря виділяються шкідливі забруднюючі речовини. Термічні методи відновлення відпрацьованих олив полягають в їх спалюванні в опалювальних установках в якості основного палива або добавок до топкового мазуту. Щорічно у світі збирається близько 15 млн т відпрацьованих олив, при цьому 70-90% цієї сировини використовується як паливо. Найбільш часто цей метод застосовують для опалення приміщень автотранспортних підприємств

та станцій технічного обслуговування автомобілів. Спалювання олив проводять в печах різної конструкції, топковий простір яких розділено на кілька зон. Процес спалювання протікає послідовно по стадіям: сушіння олив, газифікація, займання, горіння та допалювання. У зоні сушіння волога, що міститься у відходах, перетворюється на пар. У зоні газифікації відбувається перехід рідких горючих речовин у газоподібний стан. Потім в зоні займання вуглеводні, які знаходяться у газоподібному стані, спалахують і згорають. Висока теплота згорання відпрацьованих олив визначає привабливість цієї технології. Використання відпрацьованих олив як котельного палива вимагає використання спеціальних приміщень для зберігання відпрацьованих олив, також вимагає модифікації існуючих печей і спеціальних фільтрів для вирішення проблеми утворення осаду. Печі та котли потребують частого чищення від осідлої сажі та мають знижену теплову ефективність. Критичним параметром такої технології відновлення попередньо неочищених олив є утворення золи і високотоксичних димових газів. При спалюванні 1 т відпрацьованих олив утворюється близько 7 тис. м³ димових газів, в яких містяться оксиди азоту та сірки, хлористий водень, поліароматичні вуглеводні, хлорбензол і важкі метали. Останні сорбуються частинками летючої золи і в середньому містять: алюмінію - 3,1 мг/м³; цинку - 2,7; свинцю - 1,6; міді - 0,15; хрому - 1,4. З міркувань екології у ряді країн спалювання відпрацьованих моторних олив в печах заборонено законом. В Україні теж заборонено спалювання відпрацьованих олив з метою захисту навколишнього середовища від небезпечних викидів.

У великих кількостях відпрацьовані оливи застосовують в будівельній індустрії - як розділовий шар при виробництві залізобетонних виробів і монолітного залізобетону. В принципі, для змазування форм на заводах залізобетонних виробів і опалубки на будівництвах призначені спеціальні емульсії, але використання відпрацьованих олив обходиться на порядок дешевше.

Згідно з Директивою Ради 87/101/ЕЕС, від держав-членів вимагається вжити необхідних заходів для забезпечення надання пріоритету відновленню відпрацьованих олив шляхом регенерації. Регенерацією називають будь-який процес, за допомогою якого базові оливи можуть бути отримані шляхом очищення відпрацьованих олив, зокрема шляхом видалення забруднень, продуктів окислення та присадок, що містяться в таких оливах (ст. 1 Директиви Ради 87/101/ЕЕС). Термін «регенерація» для обробки, яка перетворює відпрацьовану оливу до рівня базової оливи є синонімом терміну повторне очищення. Регенерація олив – це яскравий приклад застосованої циркулярної економіки.

Індустрія регенерації є важливою частиною європейського виробництва мастильних матеріалів, яка становить одну третину загального європейського ринку мастильних матеріалів (4,3 млн т мастильних матеріалів в 2017 році). Внесок регенованих олив у незалежне виробництво є важливим для створення конкуренції з великими виробниками мастильних матеріалів і, таким чином, виживання незалежних компаній середнього розміру, які покладаються на додаткове джерело базової оливи.

Політика ЄС встановлює середню частку 70% від всіх зібраних відпрацьованих олив, які повинні підлягати регенерації до 2030 року. На сьогоднішні темпи збирання та регенерації відпрацьованих олив по країнах ЄС є нерівномірними. Так, у середньому по країнам ЄС регенується близько 60% відпрацьованих олив. Італія регенує 98% відпрацьованого мастила. Тим часом ряд країн Східної Європи взагалі не проводить регенерацію відпрацьованих олив. З 1,6 млн т зібраних відпрацьованих олив 61% пройшло регенерацію в базову оливу, що робить значний внесок у циркулярну економіку (зменшення залежності від природних ресурсів) та захист навколишнього середовища.

Європейська індустрія регенерації складається з 28 заводів, які переробляють відпрацьовані оливи. На кожному такому підприємстві працює 1000-1200 осіб на переробці та 2000-2500 людей на зборі відпрацьованого масла. Сімнадцять заводів виробляють базові оливи. Загальна потужність промисловості регенерації олив становить 1 300 000 т на рік, загальний обсяг виробництва регенованих олив становить 400 000 т на рік, а також ці підприємства виробляють до 500 000 т на рік іншої продукції, включаючи паливо, асфальт, газойль, флюсове масло тощо. Загальний оборот від реалізації додаткової продукції складає до 250 млн євро на рік.

Реагуючи на ринковий попит, європейська індустрія регенерації олив за останні роки досягла значних технологічних успіхів щодо якості регенованих продуктів, ефективності виробництва та зниження впливу на навколишнє середовище, поставивши їх нарівні з первинними базовими оливами та забезпечивши важливу економічну альтернативу. Європейська індустрія регенерації зробила значні інвестиції в розмірі приблизно 250 млн євро в покращення якості регенованих олив, підвищення ефективності та зменшення впливу на навколишнє середовище. Регенерація олив є пріоритетом не лише через її потенціал для збереження цінних природних ресурсів, але також через пом'якшення інших ключових впливів на навколишнє середовище, включаючи зменшення викидів дрібних часток, потенційного канцерогенного впливу на людський організм.

При роздільному зборі відпрацьованих олив можливе часткове відновлення їх первинних властивостей і повторне використання. Таке відновлення організовується на підприємствах, які утворюють ці відходи. Відновлення відпрацьованих олив також може проводитися на підприємствах нафтопереробки з одержанням вторинної сировини, яка надходить в початок процесу переробки нафти.

При зборі відпрацьованих олив необхідно дотримуватися певних правил: оливи збираються окремо за марками, сильно забруднені оливи збирають окремо. При збиранні відпрацьованих олив важливо забезпечувати використання чистого спеціального інвентарю - воронки, відер, бідонів, піддонів, бочок. Їмності для збору, транспортування та зберігання відпрацьованих олив рекомендується позначати написами, що вказують на певну марку зібраної оливи. Після того, як відпрацьоване масло було зібрано, його необхідно підготувати до очищення. Це передбачає видалення будь-яких забруднень, таких як вода, бруд і металева стружка.

Методи регенерації відпрацьованих олив поділяються на фізичні, фізико-хімічні та хімічні. На сьогоднішній день найбільш використовуваними є фізичні методи, до яких відносяться седиментація, фільтрація, центрифугування і вакуумне сушіння. Фізико-хімічні та хімічні методи більш складні, тому застосовуються лише при сильному забрудненні або сильних змінах у хімічному складі олив. За статистичними даними ЄС регенерація відпрацьованих олив проводиться наступним чином: приблизно 32% йде на гідроочищення, 46% на екстракцію розчинником і 22% на дистиляцію

Конкретний метод очищення відпрацьованих олив вибирається виходячи з характеру забруднення, загального складу оливи і необхідного ступеня очищення. Найбільш часто використовують поєднання кількох стадій очищення оливи з використанням різних методів. При очищенні олив використовується принцип проведення в першу чергу очистки від найбільш крупних і найбільш легко відокремлюваних забруднювачів, після чого проводяться стадії тонкого очищення. Якщо установка очищення орієнтована на роботу з різними сортами олив і різними видами їх забруднювачів, то до складу технологічного обладнання можуть входити апарати очистки різних конструкцій, що включаються в роботу по необхідності в залежності від конкретного випадку. Для певних видів олив достатньо простого очищення від механічних домішок, для інших необхідна глибока переробка з використанням хімічних реагентів. Зазвичай індустриальні оливи регенерують за простішою схемою, ніж моторні, трансформаторні, турбінні й компресорні. У регенеровані оливи додають присадки, а також іноді змішують їх зі свіжими масляними дистиляторами, які отримують з нафтопродуктів.

6.1 Фізичні методи регенерації відпрацьованих олив

При застосуванні фізичних методів регенерації з відпрацьованих олив видаляють лише механічні домішки (пил, пісок, частинки металу, воду, смолянисті, асфальтоподібні, коксоподібні речовини, а також залишки пального), не змінюючи хімічну вуглеводневу основу мастильних матеріалів. Ці методи проводяться на першому етапі регенерації відпрацьованих олив. Оливи обробляються в силовому полі з використанням гравітаційних, відцентрових, електричних, магнітних і вібраційних сил. Найбільш поширеними є наступні фізичні методи регенерації: відстоювання, сепарація (центрифугування), фільтрація, водна промивка, відгін легких фракцій і вакуумна перегонка. Проведення такої обробки дозволяє отримувати низькоякісні регенеровані оливи.

Відстоювання від механічних домішок і води є першою і обов'язковою операцією процесу регенерації відпрацьованих моторних олив. Відстоювання ґрунтується на пошаровому поділі оливи, води і механічних домішок за рахунок різної густини. Механічні домішки і вода, що знаходяться в оливі у зваженому стані, осідають під дією сили тяжіння при спокійному перебуванні оливи протягом тривалого часу (бажано не менше 10 діб). Ефективність застосування даного способу регенерації залежить від різниці питомих густин масляної складової і забруднюючих домішок, в'язкості оливи, а також від тривалості періоду відстоювання. Відповідно до закону Стокса швидкість осадження механічних частинок є тим більшою, чим більший їх розмір і питома густина і чим менша в'язкість рідини. Даний спосіб регенерації є малозатратним, оскільки немає потреби у використанні дорогого устаткування, проте характеризується низькою продуктивністю. Процес здійснюється в спеціальних масловідстійниках, де очищене масло і воду можна відводити пошарово по мірі розділення на фракції. Для прискорення відстоювання використовують підігрів оливи. Оптимальною для відстоювання приймають температуру 80...90°C, оскільки при температурі 100°C буде відбуватися закипання залишків води, що міститься в оливі, і її спінювання.

При відстоюванні відпрацьованої оливи в ній в першу чергу випадають в осад металеві частинки розміром 50...100 мкм, кокс, смолянисті речовини. Вони утворюють на дні ємності шар відкладень, густина якого залежить від природи забруднюючих домішок і тривалості відстоювання масла. Вода, присутня в маслі, утворює проміжний шар між забруднюючими домішками, що осіли, і оливою. Тонка очистка олив від часток розміром менше 50 мкм у даному випадку не відбувається. Проведення відстоювання є доцільним у

якості першого етапу очищення відпрацьованих олив з метою зниження навантаження на наступні апарати тонкого очищення.

Відстоювання відпрацьованих олив не завжди приводить до бажаного результату. Іноді навіть при проведенні тривалого процесу більшість домішок залишаються в підвішеному стані. Така ситуація найчастіше спостерігається при очищенні відпрацьованих моторних олив, до складу яких входять диспергуючі (миючі) присадки, а також олив, забруднених дрібнодисперсними домішками.

Більш ефективним при проведенні обезводнення олив і очищення від механічних домішок є процес сепарації (центрифугування). Якщо кінцевим продуктом має бути високоякісний вторинний матеріал, проведення такої обробки є обов'язковим. Робота центрифуги заснована на дії відцентрової сили, яка забезпечує розділення забрудненої рідини на різні фракції. Під впливом відцентрових сил найважчі забруднюючі домішки відтісняються до внутрішніх стінок барабану, утворюючи кільцевий шар відкладень. Наступний шар складається з води, що також виділяється, а третій кільцевий шар, розташований найближче до вісі обертання, є очищеним маслом. Конструкція центрифуг передбачає в процесі роботи безперервне відведення очищеної оливи і води, лише забруднюючі домішки залишаються в барабані сепаратора, звідки їх періодично видаляють по мірі накопичення. При цьому досягається видалення з оливи до 90% домішок і повне зневоднення. Обладнання для сепарації олив методом відцентрової сепарації є досить дорогим.

Фільтрація - це процес видалення частинок механічних домішок і смолистих з'єднань шляхом пропускання забрудненої оливи через сітчасті або пористі перегородки фільтрів. Відбувається процес розділення неоднорідних систем за допомогою пористих перегородок, які затримують крупніші фази цих систем і пропускають дрібніші. Рідина, що піддається фільтруванню, знаходиться по одну сторону фільтрувальної перегородки. Між розділеними частинами фільтру створюється різниця тиску, завдяки цьому рідина продавлюється через пори фільтрувальної перегородки, а тверді частинки затримуються в ній. Різницю тиску створюють стисненням повітрям за допомогою компресорів, вакуумними насосами, рідинними насосами (поршневими чи відцентровими) зі створенням різниці тиску до $5 \cdot 10^5$ Па, а також використовують гідростатичний тиск самої фільтрованої рідини. На практиці фільтрування олив переважно здійснюють за допомогою рідинних насосів.

Швидкість фільтрування знаходиться в прямій залежності від в'язкості оливи. При фільтруванні через паперовий фільтр моторної оливи з підвищенням температури з 100°C до 120°C при постійному тиску швидкість очищення зростає на 35%.

У якості фільтрувальних матеріалів використовують металеві та пластмасові сітки, повсть, тканини, папір, картон, композиційні матеріали і кераміку. Вибір фільтрувального матеріалу для перегородки залежить від параметрів домішок, що підлягають видаленню. Чим меншим є розмір частинок домішок, тим щільнішим має бути фільтруючий матеріал. На наступному етапі регенерації оливи проходять мікрофільтрацію через мембрани, що розрізняються як продуктивністю, так і термічної стійкістю. Збільшення питомої пропускної здатності мембран досягається при зниженні в'язкості рідини за рахунок підвищення температури. Значний вплив на продуктивність і ефективність фільтрування має наявність в оливі води, особливо коли фільтруючим матеріалом служить папір чи картон. Ці фільтрувальні матеріали насичуються вологою, розмокають, втрачають структуру і перестають фільтрувати оливу. Тому застосування фільтрування прийнятне лише для заздалегідь зневоднених олив.

Вуглецеві одноканальні мембрани здійснюють грубе очищення: у фільтрувальних елементах діаметр пор складає 0,1 мкм, однак ці мембрани термічно стійкі до 300°C. Металокерамічні мембрани є найбільш продуктивними - при діаметрі пор 0,07 мкм вони пропускають 1000 л /м²·год. Найбільш тонке очищення олив досягається за рахунок застосування керамічних одноканальних мембран із середнім діаметром пор 0,03 мкм. На практиці поширення знаходять полімерні мембрани, які здатні відфільтрувати близько 800 л/м²·год при діаметрі пор 0,07 мкм.

Властивість картону і паперу поглинати вологу використовують для видалення слідів вологи з трансформаторних олив. При цьому температура олив перед фільтром не повинна перевищувати 40°C, оскільки при вищій температурі поглинання вологи погіршується.

На практиці часто застосовують багатоступеневу фільтрацію, яка включає поетапну очистку відпрацьованих олив за допомогою різних типів фільтрів: спочатку грубого очищення, а потім тонкого очищення. Розроблено ряд регенераційних установок, які здійснюють фільтрування олив. Фільтри цих установок представляють собою циліндричну посудину з кришкою та патрубками для підведення і зливу оливи, а також з патрубком для зливу відстою (рис.81). Олива, нагнітається насосом під тиском 0,6 МПа у фільтр для тонкого очищення. В якості змінних фільтруючих елементів використовуються фільтраційні елементи з різною тонкістю фільтрації. Залежно від марки фільтрувального елемента фільтр забезпечує тонкість фільтрації від 5 до 60 мкм і пропускну здатність від 10 до 90 м/ч відповідно. Велика фільтруюча поверхню фільтрувальних елементів (від 9,4 до 14,3 м в залежності від марки) забезпечує значний ресурс їх роботи до заміни.

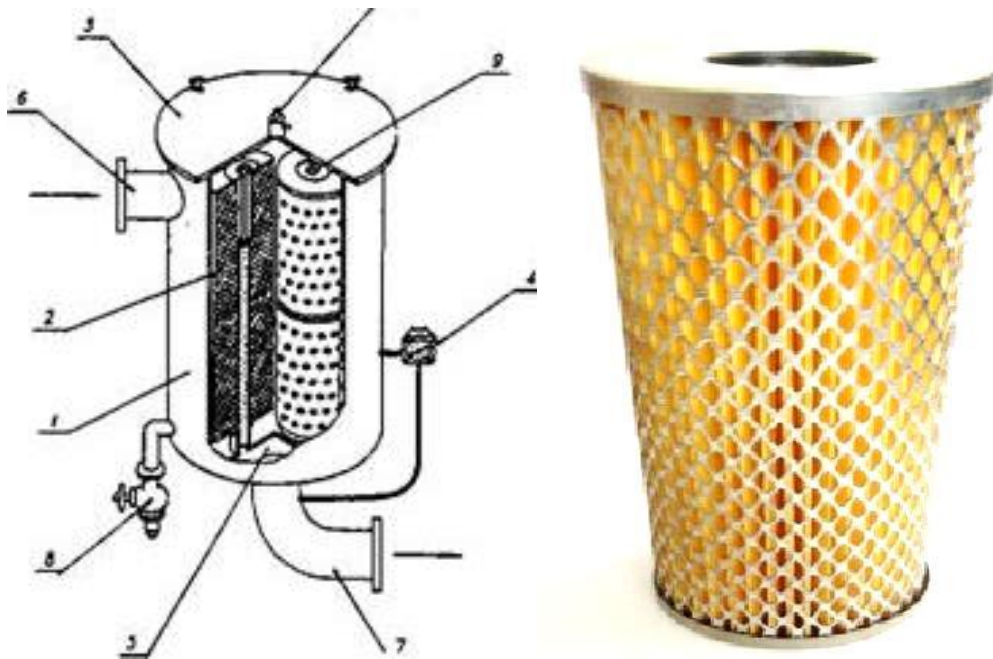


Рисунок 81 - Конструкція фільтра для тонкого очищення олив (а) та зовнішній вигляд фільтраційного елемента (б): 1 - корпус; 2 - фільтруючий елемент; 3 - кришка; 4 - манометр; 5 - маслоприймач; 6 - вхідний патрубок; 7 - вихідний патрубок; 8 - патрубок для зливу відстою; 9 - притискна гайка; 10 - видалення повітря

Наймасовішим є використання оливних фільтрів у двигунах внутрішнього згоряння транспортних засобів. Оливні фільтри також використовуються в різних типах гідравлічних систем. В автомобілях такі фільтри, як правило, виконані у вигляді картриджів. При забрудненні картриджі виймаються з фільтру і замінюються новими.

Основним недоліком процесу фільтрування є необхідність проведення періодичної регенерації фільтруючих перегородок, пори яких схильні до закупорювання в процесі роботи, або ж відновлення складових матеріалів шляхом розбирання, в разі не можливості відновлення працездатності.

Для регенерації відпрацьованих моторних олив також застосовують метод дистиляції - відділення легкокиплячих залишків пального, оскільки фракції палива, які потрапляють в оливу, розріджують і її знижують в'язкість. Фізичною основою методу дистиляції фракцій пального є наявність різниці у значеннях температур кипіння складових палива і оливи. Розрізняють два види дистиляції: атмосферну і вакуумну. Атмосферна дистиляція є відносно простим процесом, який відокремлює рідини з нижчою температурою кипіння при тиску навколишнього середовища. Відпрацьована олива нагрівається до 300°C і завантажується в дистиляційну башту. Вуглеводні з нижчою

температурою кипіння, присутні у відпрацьованій оливі (наприклад, газ, бензин і розчинники) і водяні пари, збираються у верхній частині башти. Деякі з цих вуглеводнів можуть бути конденсовані та зібрані для використання в якості палива в процесі подальшої переробки.

Вакуумна дистиляція є ключовим процесом переробки відпрацьованих олив. Після атмосферної дистиляції масло зазвичай додатково піддається вакуумній дистиляції. При зниженні тиску матеріали, які зазвичай киплять при температурах нижче 540°C при атмосферному тиску, випаровуються при значно нижчих температурах. Олива після атмосферної дистиляції підігрівається в печі і надходить у вигляді суміші рідини та пари вакуумної дистиляційної колони, де частина парів починає підніматися, а рідина осідає в нижній частині. В колоні підтримується вакуум (2-10 мм рт. ст.) за допомогою вакуумної системи, підключеної до верхньої частини башти. Коли гарячі пари піднімаються через колону, вони охолоджуються і частково конденсуються та стікають вниз колони. На різних рівнях у колоні встановлені спеціальні тарілчасті лотки, які дозволяють видаляти рідину з колони. Найважчі молекули, включно з деякими присадками до мастила та залишковими забрудненнями, які не википають навіть в умовах вакууму, збираються на дні вакуумної колони. Це ефективно відокремлює легкі вуглеводні, які можна використовувати як паливо, від важчих фракцій, які потім піддаються подальшому очищенню. В процесі вакуумної дистиляції забезпечується ефективне видалення з оливи залишків зносу, асфальтенових складових, воску, домішок, волог, відкладень вуглецю та оксидів. Основними властивостями, які контролюються вакуумною дистиляцією, є показники в'язкості, температури спалаху та вуглецевий залишок. Вакуумна регенерація є більш екологічно чистим методом відновлення оливи, оскільки він не виробляє жодних викидів або відходів.

Утилізацію відпрацьованих водних емульсій, які є основою мастильно – охолоджувальних рідин, проводять на установках для випарювання. Після відділення водяних парів, осад, що містить масла, може використовуватися як котельне паливо.

6.2 Фізико-хімічні методи регенерації відпрацьованих олив

Використання фізико-хімічних методів забезпечує більш глибоке і повне очищення відпрацьованих олив. Ця група методів регенерації дозволяє видаляти з відпрацьованих олив продукти окислення, а також смолисті і асфальтенові речовини, які разом з механічними домішками і елементами присадок, що втратили активність, знаходяться в оливі у зваженому стані і не

можуть бути видалені за допомогою фільтрування. Для регенерації олив при використанні фізико-хімічних методів застосовують додавання відповідних хімічних речовин. При цьому може відбуватися розчинення домішок або зміна їх фізико-хімічних характеристик. До найбільш поширених фізико-хімічних методів обробки моторних олив належать коагуляція, контактне очищення адсорбентами, а також очищення пропаном і фенолом.

Селективна очистка відпрацьованих олив заснована на вибіркового розчиненні розчинниками окремих забруднюючих речовин (кисневих, сірчистих і азотних сполук). У якості селективних розчинників застосовуються фурфурол, фенол, нітробензол, різні спирти, ацетон тощо. Селективна очистка може проводитися в апаратах типу «змішувач - відстійник» в поєднанні з випарниками для відгону розчинника (ступінчаста екстракція) або в двох колонах - екстракційній для видалення з відпрацьованої оливи забруднень і ректифікаційній для випаровування розчинника (безперервна екстракція).

Різновидом селективного очищення є обробка відпрацьованого масла пропаном, при якій вуглеводні зі складу оливи розчиняються в пропані, а асфальтосмолисті речовини, що знаходяться в оливі у колоїдному стані, випадають в осад. Процес деасфальтування рідким пропаном є важливою стадією попередньої обробки в процесі повторного очищення, у результаті чого отримують деасфальтовану мастильну оливу, яка стає сировиною для наступного етапу в установці повторного очищення. Процес деасфальтування рідким пропаном базується на більшій розчинності парафінових і нафтових (тобто, по суті, базової оливи) компонентів порівняно з забрудненим відходом у потоці пропану. Відокремлення базової фракції оливи від відпрацьованої оливи є безперервним процесом і проводиться в протитічній екстракційній (масообмінній) колоні при температурі 50-93°C та тиску до 45 атм. Відпрацьована олива закачується в екстракційну колону. Зріджений пропан, який виконує роль селективного розчинника, закачується в нижню частину колони. Нафта, яка має більшу питому густину за пропан, стікає в колоні вниз; пропан піднімається зустрічним потоком, що забезпечує змішування вхідних потоків всередині колони. Пропан, що піднімається, поглинає розчинні компоненти мастила, які відводяться з верхньої частини колони разом з пропаном, а нерозчинні у пропані складові опускаються для видалення в нижню частину колони. Деасфальтований розчин оливи у пропані передається на наступний етап переробки. Нерозчинені залишки, після випаровування пропанового розчинника, змішуються з залишками процесу вакуумної дистиляції і використовуються у якості добавки до асфальтового матеріалу.

Метод коагуляції є складовою частиною технологічного процесу регенерації відпрацьованих моторних олив, які містять багатофункціональні присадки, а також олив, в яких продукти зносу знаходяться в дрібнодисперсному стані, близькому за розміром до колоїдних частинок, що не піддаються відстоюванню і фільтрації. В основі методу коагуляції лежить принцип злипання та укрупнення забруднюючих колоїдних часток до розмірів, які після укрупнення вже можуть бути відокремлені фізичними методами. Створити умови для протікання даного процесу можна за допомогою додавання до оливи спеціальних агентів (електролітів і неелектролітів), механічного впливу (перемішування і струшування), нагрівання або сильного охолодження, пропускання електричного струму або впливу променевої енергії. Речовини, що викликають коагуляцію, умовно поділяються на чотири типи:

- електроліти, дія яких базується на створенні подвійного електричного поля на поверхні частинок;
- іоногенні поверхнево-активні речовини з активними органічними катіонами або аніонами;
- неіоногенні поверхнево-активні речовини;
- поверхнево-активні колоїдні та гідрофільні високомолекулярні з'єднання.

У кожному випадку коагуляція виникає за рахунок ослаблення зв'язку забруднюючих частинок з оточуючим їх дисперсним середовищем. Поверхнево-активні речовини, концентруючись на різних поверхнях розділу, утворюють тонкі адсорбційні шари, що різко змінюють молекулярну структуру і властивості поверхонь. При регенерації у якості коагулянтів моторних олив використовують електроліти на основі Na_2CO_3 (кальцинована сода), Na_3PO_4 (тринатрійфосфат), Na_3SiO_3 (рідке скло). Також, як коагулянт для олив, які не піддаються фільтруванню застосовуються невеликі добавки сірчаної кислоти.

Процес коагуляції проводиться у спеціальній мішалці, яка включає нагрівальний і перемішувачий пристрої, а також відстійник з конічним дном. Швидкість протікання процесу коагуляції залежить від кількості введенного коагулянту, тривалості його контакту з маслом, температури, ефективності перемішування тощо. Нагріта до температури 75...90°C олива обробляється при перемішуванні водним розчином коагулянта впродовж 20...30 хвилин. Витрата коагулянта становить 5% (мас.) від кількості відпрацьованої моторної оливи. Після чого проходить очистка оливи від укрупнених включень забруднень за допомогою відстоювання впродовж 1...2 діб, відцентрової очистки або фільтрування. Основною частиною центрифуги для відцентрового очищення є барабан. У ньому розташовуються тарілки, які кріпляться до валу паралельно одна одній. Відстань між тарілками дуже маленька, що дозволяє

розділити оливу на кілька тонких шарів, забезпечуючи таким чином ефективність відцентрового очищення

Адсорбцією називають процес концентрування і утримання домішок на поверхні речовини - адсорбента. Адсорбційна очистка відпрацьованих олив полягає у використанні властивостей певних речовин - адсорбентів утримувати забруднюючі продукти на зовнішній поверхні гранул і на поверхні капілярів всередині гранул адсорбента. Вибір адсорбентів визначається їх здатністю утримувати на своїй поверхні асфальто-смолисті речовини, кислотні з'єднання, ефіри та інші продукти старіння олив. У якості адсорбентів застосовують речовини природного походження (відбілюючі глини, боксити, природні цеоліти), а також отримані штучним шляхом (силікогель, оксид алюмінію, алюмосилікатні сполуки, синтетичні цеоліти). Вид адсорбенту вибирається виходячи з характеру задачі, що розв'язується. Якщо потрібно видалити з оливи воду – використовується цеоліт. Силікагелі підходять для відділення кислотних складових.

Для здійснення процесу адсорбційного очищення використовують періодичні або безперервні адсорбери. Найбільш перспективним методом є адсорбційне очищення олив в рухомому шарі адсорбенту, при якому процес протікає безперервно, без зупинки для періодичної заміни, регенерації або фільтрування сорбенту, однак застосування цього методу пов'язане з використанням досить складного обладнання, що стримує його широке поширення.

Метод адсорбційного очищення може застосовуватися для регенерації більшості видів відпрацьованих олив. До недоліків адсорбційного очищення слід віднести значні втрати оливи з забрудненим адсорбентом, а також необхідність утилізації великої кількості адсорбенту, що наносить забруднюючу шкоду навколишньому середовищу.

Метод іоно-обмінного очищення заснований на здатності іоно-обмінних смол притягувати забруднення, які дисоціювали у розчиненому стані на іони. Іоно-обмінні смоли - це тверді, не розчинні у воді і вуглеводнях гігроскопічні гелі, які одержують шляхом полімеризації і поліконденсації органічних речовин. Очищення здійснюють контактним методом при перемішуванні відпрацьованої оливи з зернами іоно-обмінних смол розміром 0,3...2,0 мм або при пропусканні оливи через заповнену іоно-обмінними смолами колону. У результаті іонообміну рухливі іони в просторовій решітці іоніту замінюються іонами забруднень. Застосування методу іоно-обмінного очищення дозволяє видаляти з олив кислотні забруднення, оксиди, нітрити, сірчані з'єднання, але не забезпечує відділення смолистих речовин.

6.3.Хімічні методи регенерації відпрацьованих олив

Хімічні методи очищення олив реалізуються шляхом взаємодії введених реагентів з речовинами, що забруднюють відпрацьовані оливи. При цьому у результаті хімічних реакцій утворюються сполуки, видалення яких вимагає менших зусиль. До хімічних методів очищення відносяться кислотне і лужне очищення, окиснення, гідрогенізація, а також осушення та очищення від забруднень за допомогою добавок оксидів, карбідів і гідридів металів. Хімічна регенерація – це швидкий та ефективний метод регенерації оливи, але він вимагає ретельного поводження з хімікатами та належної утилізації відходів.

За кількістю установок і обсягом сировини, що переробляється, найбільше поширення знайшла обробка відпрацьованих олив сірчаною кислотою. Сірчана кислота взаємодіє з асфальто-смолистими речовинами, які, разом з частиною непрореагованої кислоти, випадають в осад, утворюючи речовину, яка носить назву кислий гудрон. Після видалення осаду кислого гудрону оливи промиваються водним розчином NaOH. Їдкий натр утворює омилені солі натрію, які легко розчиняються в гарячій воді. Такий розчин здійснює нейтралізацію залишків кислоти і кислого гудрону. Процес очищення завершується промиванням оливи водою та її подальшим зневодненням. Для отримання оптимальних результатів після процесу лужної обробки мастильні матеріали проходять відстоювання. Однак, сірчано-кислотне очищення не забезпечує видалення з відпрацьованих олив поліциклічних аренів і високотоксичних сполук хлору. З точки зору екології, кислий гудрон є небезпечним відходом, який складається в спеціальних ставках-накопичувачах. До його складу входять смолисті речовини, органічні речовини, продукти полімеризації ненасичених вуглеводнів, залишки сірчаної кислоти, що робить накопичення кислого гудрону надзвичайно небезпечними для навколишнього середовища.

Лужне очищення відпрацьованих олив може бути як самостійним етапом очищення, так і завершальним – у випадку застосування попереднього кислотного очищення. Для лужного очищення відпрацьованих олив у якості реагентів зазвичай застосовують каустичну соду NaOH, кальциновану соду Na_2CO_3 і тринатрійфосфат Na_3PO_4 . На виході отримують натрієві солі (мила), які легко переходять у водний розчин. Після лужної очистки також в обов'язковому порядку проводять відстоювання оливи. Кінцеве осушення оливи проводиться за допомогою негашеного вапна та інших водопоглинаючих речовин.

Останнім часом все ширше при переробці відпрацьованих олив застосовується технологія гідрогенізації, яка відрізняється більшою

технологічністю та екологічною чистотою в порівнянні з кислотним і адсорбційним очищенням. Гідроочищення проводять в присутності водню H_2 і каталізаторів (оксидів хрому і молібдену, кобальту і молібдену) при тиску 1...4 МПа і температурі 375...415 ° С. В результаті гідрогенізації ненасичені вуглеводні перетворюються в граничні, що призводить до очищення масла від домішок і підвищення його стабільності при експлуатації. Сірчисті з'єднання під впливом водню переходять в газоподібні продукти, які видаляються з оливи. Оброблену олию піддають гідруванню у водневому газі під високим тиском та підвищеною температурою за допомогою каталізатора.

Недоліком процесу гідрогенізаційного очищення є значні витрати водню. Установка гідроочищення олив, як правило, блокується з відповідним нафтопереробним виробництвом, яке має надлишок водню і можливість його рециркуляції. Ця технологія також вимагає значних капітальних і поточних витрат на придбання складного обладнання.

За умови застосування сучасних технологічних процесів при регенерації відпрацьованих олив можливо отримувати базові масляні фракції, які за якістю ідентичні свіжим. Однією з проблем, що різко знижує економічну ефективність утилізації відпрацьованих моторних олив, є великі витрати, пов'язані з їх збиранням, зберіганням і транспортуванням до місця переробки.

Організація міні-комплексів по регенерації олив для задоволення потреб невеликих територій (краю, області або міста з населенням 1,0...1,5 млн. чоловік) дозволить знизити транспортні витрати та отримати високоякісних кінцевих очищених продуктів.

Для проведення регенерації олив сьогодні на ринку представлено ряд стаціонарних і пересувних регенераційних установок, робота яких заснована на використанні методів гравітаційного відстоювання, відцентрового і вакуумного очищення, мікрофільтрації тощо. Серед них є промислові стаціонарні установки з великою продуктивністю і невеликі установки, призначені для очищення дороговартісних трансформаторних олив (рис.82).

Установка GLOBE CMM-R призначена для регенерації олив безпосередньо під час роботи трансформатора, що робить її ідеальним вибором для обслуговування трансформаторної оливи та продовження терміну служби критично важливої електричної інфраструктури. Установка швидко підключається до резервуарів для чистої та брудної оливи за допомогою швидкоз'ємних з'єднань. Олива з трансформатора потрапляє в установку, де вона проходить ретельну регенерацію та дегазацію. Ця установка ефективно видаляє продукти окислення та забруднення з трансформаторної оливи, відновлюючи її властивості та запобігаючи деградації. Процес регенерації включає пропускання оливи через шість колон,

кожна з яких містить 75 кілограмів адсорбенту - речовини з мікропориною структурою. Всі шкідливі домішки та продукти старіння захоплюються в гранулах адсорбенту. Забруднювачі, що вбудувалися в паперову ізоляцію, витісняються та захоплюються адсорбентом. Оброблена олива повертається в систему поступово, за кілька циклів, очищаючи паперову ізоляцію трансформатора. Завдяки регенерації відпрацьована олива повертає властивості нової оливи та може бути повторно використана в трансформаторі для ізоляції обмоток та відведення тепла.

Після того як якість регенерації перестає відповідати вимогам, установку переключають в режим реактивації мінерального сорбенту. Сорбент регенерується шляхом спалювання, а потім знову використовується для регенерації трансформаторної оливи. Після проведення кількох циклів реактивації адсорбент може бути використаний як будівельний заповнювач або в сільському господарстві для розпушування ущільнених ґрунтів.



Рисунок 82 - Установка для регенерації відпрацьованих трансформаторних олив GLOBE CORE CMM-2,2

Робота установок GLOBE CORE CMM-2,2 заснована на комбінованому використанні методів фільтрації, коагуляції, відстоювання і випарювання. Відпрацьована трансформаторна олива, проходить фільтрування і підігрівається в електропечі до 200°C, подається у випарник, де з неї віддаляються вода і легколетючі домішки. Далі олива обробляється розчином коагулянту, який додається в кількості 2...3% до вихідної сировини. Після відстоювання в автоклав-відстійнику сліди води видаляються в другому випарнику. При подальшій обробці олива надходить на фільтрування для видалення механічних домішок з розміром частинок більше 1...2 мкм.

Таблиця 19

Характеристика основних способів регенерації відпрацьованих олив

Спосіб регенерації	Мета обробки	Технологічні особливості
Фізико-механічні способи		
Відстоювання	Видалення твердих домішок, крапель води, смолистих і коксоподібних речовин	Спосіб заснований на процесі природного осадження механічних частинок і води під дією сили тяжіння і різниці в щільності речовин
Випаровування, вакуумна дистиляція	Видалення легкокиплячих домішок	Спосіб заснований на зміні температури оливи, або при вакуумній дистиляції на випаровуванні легкокиплячих речовин в середовищі вакууму
Фільтрування	Видалення частинок механічних домішок, смолистих і коксоподібних речовин	Спосіб заснований на фільтрації масел через сітчасті або пористі фільтруючі елементи.
Відцентрове очищення	Видалення механічних домішок і води	Спосіб заснований на поділі різних фракцій неоднорідних сумішей під дією відцентрової сили в центрифугах
Фізико-хімічні способи		
Коагуляція	Видалення дисперсних домішок після укрупнення	Спосіб заснований на укрупненні частинок забруднюючих речовин, що знаходяться дрібнодисперсному стані, що досягається за допомогою спеціальних речовин - коагулятивів
Адсорбція	Видалення дрібнодисперсних частинок	Спосіб заснований на здатності адсорбентів, утримувати забруднюючі продукти на своїй поверхні і на поверхні всередині пор. Адсорбентами можуть бути речовини як природного (глини, боксити, природні цеоліти) так і штучного (окис алюмінію, алюмосилікатні з'єднання) походження
Іонно-обмінне очищення	Видалення дрібнодисперсних частинок	Спосіб заснований на здатності іонітів (іонообмінних смол) затримувати забруднення, диссоціюючі у розчиненому стані на іони

Селективне очищення	Видалення кислотних забруднень, і деяких інших хімічних сполук, що погіршують в'язкісно-температурні властивості олив	Спосіб заснований на властивості окремих речовин, які забруднюють оливи (кисневих, сірчистих і азотних сполук) вибірково розчинятися під дією певних реактивів
Хімічні способи		
Сірчаноокислотне очищення	Видалення хімічних забруднень	Спосіб заснований на взаємодії речовин, що забруднюють відпрацьовану оливу, з сірчаною кислотою
Гідрогенізація	Видалення хімічних забруднень	Спосіб заснований на взаємодії речовин, що забруднюють відпрацьоване масло з воднем

Питання для самоконтролю

1. З якою метою застосовують мастильні матеріали?
2. Назвіть основні причини втрати експлуатаційних властивостей олив.
3. З якою метою проводять регенерацію відпрацьованих масел?
4. Які методи включають фізичні способи очистки олив?
5. Основні види фільтрів для регенерації олив та їх раціональне застосування
6. Які речовини виконують роль адсорбентів при регенерації олив?
7. Які основні способи використовуються для хімічної регенерації олив?

7.Відновлення ртутьвмісних відходів

Ртуть є природним елементом, який міститься в повітрі, воді та ґрунті. Елементарна ртуть - це блискучий сріблясто-білий метал, рідкий за кімнатної температури, який використовується в термометрах, люмінесцентних лампочках і деяких електричних вимикачах, автономних джерелах живлення тощо. Ртуть є критичною загрозою для навколишнього середовища і відноситься до речовин першого класу небезпеки. Вдихання парів елементарної ртуті є найпоширенішим шляхом впливу на організм людини. Відходи, що містять ртуть, не підлягають захороненню на звалищах, компостуванню та потребують спеціального очищення перед спалюванням. Більшість країн ЄС мають системи роздільного збору відходів. Однак значна кількість ртуті все ж потрапляє на звалища або сміттєспалювальні заводи.

Вважалося, що здатність океанів поглинати та розбавляти відходи людства безмежна. Ртуть накопичується в тканинах риби і заражає птахів і ссавців, які їдять рибу. Протягом останніх десятиліть існує широке занепокоєння щодо токсичного впливу ртуті на екосистему через її рухливість, летючість і потенціал біоаккумуляції. Ртуть у рибі та водному середовищі є великою проблемою для Північного регіону Європейського Союзу. Звичайний медичний ртутний термометр містить достатньо ртуті, щоб забруднити водосховище площею 8 гектарів.

Вплив ртуті на здоров'я людини та навколишнє середовище залежить від її хімічних форм, наприклад, елементарної ртуті, неорганічного з'єднання ртуті (HgCl_2) та органічного з'єднання ртуті (метил-ртуть найпоширеніша в природі). Через низьку температуру кипіння (357°C при 1 атм) цей метал випаровується, і після потрапляння у водне середовище неорганічна ртуть трансформується в метил-ртутні сполуки через мікробну активність та біоакмулюється у водних харчових ланцюгах. Потрапляння метилртуті в організм людини викликає нервові розлади, рак, пошкодження мозку, труднощі із зором, слухом, ходьбою, тремор тощо.

Неорганічні сполуки ртуті у формі солей зазвичай використовуються як фунгіциди, антисептики або дезінфікуючі засоби. Органічні сполуки ртуті, такі як диметилмеркурій $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$, утворюються при з'єднанні ртуті з вуглецем і є найпоширенішою органічною сполукою ртуті в навколишньому середовищі.

В атмосфері великих міст спостерігається постійна присутність парів ртуті. Основну причину цього пов'язують з неправильною утилізацією різних ртутьвмісних виробів: люмінесцентних ламп, ртутних градусників та манометрів, гальванічних елементів, рідкокристалічних моніторів тощо.

Питання, пов'язані із забрудненням навколишнього середовища ртуттю, займають важливе місце серед актуальних проблем екології, що обумовлено, з одного боку, широким застосуванням ртуті в виробничих процесах, використанням ртутьвмісних виробів і приладів в побуті, а з іншого боку - високою токсичністю ртуті і її хімічних з'єднань. Діють наступні норми щодо граничної допустимої концентрації (ГДК) парів ртуті в повітрі:

- норма граничних разових викидів на робочих місцях промислових виробництв не повинна перевищувати $0,01 \text{ мг/м}^3$;
- середньозмінна норма на робочому місці – концентрація ртуті не повинна перевищувати $0,005 \text{ мг/м}^3$;
- для НДІ, вищих учбових закладів, лабораторій, що працюють із ртуттю, ГДК складає $0,0017 \text{ мг/м}^3$;
- для житлових приміщень ГДК складає $0,0003 \text{ мг/м}^3$.

Основна стратегічна лінія поводження з ртутьвмісними відходами - це запобігання їх попаданню в навколишнє середовище. Компанія «Lumex Instruments» пропонує для вирішення задач екологічного моніторингу довкілля аналізатор ртуті серії «RA-915M» із зеєманівською корекцією неселективного поглинання, який входить до складу аналітичного комплексу та може виконувати швидке, селективне вимірювання вмісту ртуті в газовому потоці, рідких та твердих зразках без накопичення токсиканту на сорбенті (рис. 83). Використання аналізатора ртуті «RA-915M» з приставкою «PYRO-915+» дозволяє швидко визначати загальний вміст ртуті для різних типів твердих, рідких та біологічних зразків за допомогою аналізатора ртуті «RA-915M».



Рисунок 83 - Портативний аналізатор ртуті RA-915M

Мінаматська конвенція – це міждержавний договір, який було підписано у 2013 році, регулює використання ртуті та поетапне скорочення виробництва деяких ртутьвмісних приладів. На сьогодні Мінаматську конвенцію про ртуть підписали 128 країн. Приєднання до цієї конвенції України відбулося у 2023

році. Положення конвенції спрямовані на захист здоров'я людини та навколишнього середовища від антропогенних викидів ртуті та її сполук. Зокрема, передбачається поступова заборона виробництва деяких приладів із вмістом ртуті, а також обов'язкове припинення її використання. Насамперед, це стосується заборони використання ртутних та люмінесцентних ламп та заміни їх на лампи нового покоління – світлодіодні (LED), неелектронних вимірювальних приладів (в тому числі термометри та барометри), деяких медичних препаратів. Деякі виробники зменшили використання ртуті, і екологічні організації заохочують споживачів вибирати продукти без ртуті, коли це можливо. Наприклад, у Європі з 2009 року заборонено виробництво і продаж ртутних градусників. Продукти з додаванням ртуті, знайдені в металобрухті, включали настільні ПК, ноутбуки, екрани, РК-, світлодіодні та плазмові екрани та монітори.

Порівняно з лампами розжарювання, сучасні люмінесцентні лампи використовують на 80% електроенергії менше. Звичайні лампи розжарювання продукують 12...15 лм (люмен - одиниця виміру світлового потоку) на 1 Вт спожитої електроенергії, тоді як компактні люмінесцентні лампи – 50...80 лм. Люмінесцентні лампи мають ряд переваг, які роблять їх більш ефективними перед звичайними лампами розжарювання. Так, люмінесцентні лампи здатні перетворювати більшу частину вхідної потужності у видиме світло, ніж лампи розжарювання, а також показали, що вони працюють у 10–20 разів довше, ніж еквівалентні лампи розжарювання, якщо працюють протягом кількох годин поспіль. Люмінесцентні лампи також виділяють менше тепла, ніж еквівалентна установка ламп розжарювання. На великих площах, наприклад в адміністративних будівлях, при застосуванні люмінісцентних ламп додаткова економія коштів досягається завдяки меншим витратам на заміну ламп та на охолодження приміщень кондиціонерами. Крім того, люмінесцентні лампи можуть мати різні форми та розміри.

Люмінесцентна лампа - це скляна трубка з електродами, яка наповнена парами ртуті низького тиску. В люмінесцентних лампах вміст ртуті складає від 3 до 300 мг. Внаслідок електричного розряду між електродами атоми ртуті іонізуються потоком електронів, що вириваються з гарячого катода, і в трубці виникає тліючий розряд. Енергія іонів ртуті перетворюється у випромінювання у синій, фіолетовій та ультрафіолетовій областях. Для перетворення ультрафіолетового випромінювання у тепле світло, що близьке до природного, на внутрішні стінки люмінесцентних ламп наносяться люмінофори - речовини, які активно випромінюють світло видимого спектру під дією ультрафіолетового випромінювання. Флуоресцентний порошок містить люмінофор, який є сумішшю, що містить фосфат кальцію, оксид алюмінію, поліетиленоксид і

дисперсійні агенти. Потрапляючи на звалище, а потім в ґрунтові води, люмінофор, що містить залишки ртуті, перетворюється небезпечно стійке з'єднання - метилртуть. Через воду і повітря, ця токсична речовина проникає з екосистему і може викликати значні порушення в біогеоценозах місцевості.

Сучасні світлодіодні освітлювальні прилади, які приходять на заміну люмінесцентних ламп, не містять ртуті, заощаджують на 30 відсотків більше енергії та працюють у середньому 50 000 годин. Незважаючи на ринок нових енергозберігаючих безртутних світлодіодних ламп, ртутьвмісні лампи досі ще активно використовуються для освітлення житлових приміщень, муніципальних будівель, промислових комплексів. Основна проблема полягає в тому, що відпрацьовані лампи повинні бути правильно відновлені, оскільки вони є потенційним джерелом отруєння середовища токсичною ртуттю. Близько 100 мільйонів люмінесцентних ламп щорічно приходить в непридатний стан, при цьому велика частина ламп не відновлюється як ртутьвмісні відходи, а відправляється на звалище, де відбувається руйнування скляних колб і вихід парів ртуті в атмосферу. У районах звалищ в навколишньому середовищі постійно відзначаються підвищені рівні концентрації ртуті в повітрі, що позначається на стані здоров'я населення, яке проживає в прилеглих мікрорайонах.



Рисунок 84 - Розбита люмінесцентна ртутьвмісна енергозберігаюча лампа

З огляду на неможливість швидкого масового переходу на безртутних технології, широку поширеність медичних і електротехнічних ртутьвмісних виробів, високу ймовірність ртутного забруднення при неправильному поводженні з ртутьвмісними відходами, проблема ртутної безпеки є в даний час однією із пріоритетних екологічних, медичних і соціальних проблем. Тому дуже важливо зберігати відпрацьовані лампи окремо від усіх інших відходів і,

ні в якому разі, не викидати їх у загальний контейнер. Одним з головних факторів низького рівня переробки є незручність системи збору, тобто відстань від окремих осіб до пункту збору надто велика, а пунктів збору мало.

Згідно зі статтею 35-1 Закону України «Про відходи» небезпечні відходи у складі побутових відходів збираються окремо від інших видів побутових відходів, а також мають відокремлюватися на етапі збирання чи сортування та передаватися спеціалізованим підприємствам, що одержали ліцензії на здійснення операцій у сфері поводження з небезпечними відходами. Люмінесцентні лампи та відходи, що містять ртуть, відносять до категорії відходів, які сортують і збирають окремо. Процес утилізації ртутьвмісних відходів називається демеркуризація.

Ртуть присутня в основному в ртутних лампах, а також в батареях, РК-дисплеях, вимикачах, термостатах і датчиках. Функція ртуті в освітлювальному обладнанні полягає в перетворенні електричної енергії в енергію випромінювання в ультрафіолетовому діапазоні. Потім відбувається перетворення променистої енергії люмінофором зі сполук фосфору, який нанесено на внутрішню поверхню скляної колби, у світло видимого спектру.

Існує два способи безпечного поводження з відходами ртуті: інкапсуляція та переробка. Переробка є більш ефективним, але не завжди можлива, оскільки вимагає відправлення відходів на хімічний завод, який обробляє такі матеріали.

Для безпечного видалення відходів ртуті, які утворюються в лабораторних умовах використовують метод інкапсуляції, яка спрямована на ізоляцію відпрацьованих сполук ртуті таким чином, щоб уникнути їх контакту з навколишнім середовищем. З'єднання герметизують у матеріалах, які не розкладаються, а потім зберігають у місці, де контейнери не руйнуються впродовж тривалого часу, наприклад на санітарних полігонах. Найзручнішими матеріалами для такого способу видалення є пластикові контейнери або скляні хімічні банки, в яких складають ртутьвмісні відходи. Періодично шари відходів заливають розплавленим парафіном, який є непроникним бар'єром для парів парафіну. В контейнер поміщають усі наявні ртутьвмісні відходи і періодично заливають шаром розплавленого парафіну в банку, щоб покрити вміст і заповнити проміжки. Коли контейнер наповниться поверхню покривають кількома шарами розплавленого парафіну, даючи кожному шару затвердіти перед нанесенням наступного.

Через свої фізичні властивості – легку рухливість і великий поверхневий натяг – металева ртуть після її проливання розбивається на дрібні краплі і розсіюється по приміщенню, легко проникаючи в тріщини підлоги, стін, меблів, устаткування, підпідлоговий простір тощо. Поступово випаровуючись, вона

забруднює повітря приміщень. Єдиним способом усунення небезпеки, викликаній підвищеним вмістом ртуті і її сполук у різних об'єктах, незалежно від причин, є демеркуризація. Порядок проведення демеркуризації визначено наказом Міністерства з питань надзвичайних ситуацій «Про затвердження Методичних рекомендацій з організації і проведення демеркуризації» від 08.07.2009 N 463. Демеркуризаційні роботи починаються з механічного очищення, під час якого видаляється видима ртуть, її сполуки, забруднені конструкції й елементи устаткування. Механічне видалення видимих часток ртуті здійснюється із застосуванням емальованих совків, вакуумного підсосу, амальгамування, термовипарювання. При незначних кількостях пролитої ртуті застосовують скляну трубку з гумовою грушею. Для збирання крапельок ртуті також використовують лейкопластир, що прикладають до поверхні, забрудненої ртуттю.

Ефективним методом демеркуризації поверхонь, у нерівностях яких знаходиться пролита або сорбована ртуть, є термічний метод. Метод полягає в тому, що поверхню нагрівають до 200–250°C і одночасно відсмоктують пари ртуті, що утворюються, пропускаючи їх через шар сорбенту, наприклад, фільтруючу коробку від протиртутного протигаза або шар активованого вугілля, оброблений хлором, йодом, перманганатом калію.

Наступним етапом демеркуризації є хімічна демеркуризація. При цьому використовуються хімічні речовини – демеркуризатори, що знижують швидкість випаровування (десорбції) ртуті і її сполук і полегшують механічне видалення ртуті з забруднених поверхонь. Фізико-хімічні процеси, що протікають при взаємодії ртуті або її сполук з демеркуризаторами, полягають в емульгуванні ртуті, її окислюванні, перетворенні в малолетючі речовини. Під час емульгування ртуть переводиться в більш вискодисперсний стан, тим самим збільшується активна поверхня і здатність ртуті взаємодіяти з іншими речовинами.

Надійний і перевірений спосіб демеркуризації полягає в наступному: на стіни і підлогу за допомогою обприскувача наноситься розчин кристалічного йодистого калію (на 1 л води 1 г йоду і 10 г йодистого калію). Через 30 хв, ця ж площа обробляється іншим розчином, приготованим змішуванням одного об'єму розчину CuSO_4 (30 г на 1 л води) і двох об'ємів сульфідру $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (180 г на 1 л води) і півтора об'єму бікарбонату NaHCO_3 , (40 г на 1 л води). При цьому спочатку змішуються CuSO_4 і $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ до повного розчинення осаду, що утворився, а потім до отриманого прозорого розчину додається зазначений обсяг бікарбонату NaHCO_3 .

Поводження з відпрацьованими люмінесцентними лампами на підприємствах України є законодавчо урегульованим. Після того як

люмінесцентні лампи стають відходами, слід дотримуватися встановлених законодавчих природоохоронних вимог щодо їх збору та зберігання, а також умов безпечної передачі їх ліцензованим організаціям з утилізації. Відповідно до вимог СанПіН 2.2.7.029-99 «Гігієнічні правила щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я людини» первинний збір відпрацьованих люмінесцентних ламп повинен здійснюватися роздільно від інших відходів у заводській упаковці у спеціальну тару, що представляє собою металевий контейнер, що відповідає вимогам DIN 30741-1-1992. На контейнер наноситься відповідне маркування у вигляді спеціальної наліпки «Ртуть. Небезпечно» та інформація із зазначенням виду, правил збору відходу і телефонами підприємства, що забезпечує оперативне вивезення та утилізацію. Контейнер для збирання та тимчасового зберігання відпрацьованих ламп повинен знаходитися у спеціально відведеному місці з твердим покриттям та обмеженим доступом для сторонніх осіб. В обов'язковому порядку на підприємстві ведеться журнал обліку відпрацьованих ламп. Організації, підприємства і установи, які використовуються ртутні лампи для освітлення, повинні мати паспорт відходу I класу небезпеки та місця розміщення небезпечних відходів. Юридичні особи зобов'язані звітувати перед державою про те, якій кількості і якому підприємству здали для утилізації цей вид відходів.

Транспортування відпрацьованих люмінесцентних ламп повинно проводитися у заводській упаковці або спеціальному контейнері ємністю не більше 100 штук, з обов'язковим укладанням ламп правильними рядами, щоб уникнути бою. Водій транспортного засобу повинен пройти інструктаж щодо безпеки поводження з небезпечним токсичним вантажем.

Пункти зберігання повинні бути розташовані на достатньому видаленні від громадських місць і житлових кварталів. Пункти збирання та зберігання відходів повинні бути обладнані газосигналізаторами для того, щоб виключити ймовірність випаровування ртуті.

Критеріями відбору спеціалізованих підприємств, що займаються збиранням, зберіганням і перевезенням відпрацьованих люмінесцентних ламп є наявність ліцензії та дозволів у сфері поводження з відходами на території України. Додатковими умовами є наявність технологічних, виробничих та організаційних можливостей здійснювати даний вид господарчої діяльності. За системи розширеної відповідальності виробники та імпортери повинні платити переробникам прямо чи опосередковано, стимулюючи їх інвестувати в нові технології та обладнання, водночас гарантуючи екологічно безпечну утилізацію власної продукції. Більшість країн та регіонів досягли високих показників переробки завдяки концепції розширеної відповідальності за

виробництво. Виробники є суб'єктом відповідальності. Продавці та користувачі також несуть певну відповідальність та несуть певні витрати. Наявність належної інфраструктури збору та переробки є важливою умовою для досягнення високого рівня переробки. Виробники мають нести відповідальність за управління відходами, яка розподіляється або шляхом суттєвого впровадження відновлювальних технологій, або шляхом відповідного фінансового внеску.

В Україні відсутній механізм організованого збору від населення та знешкодження відпрацьованих енергозберігаючих ламп. Мешканці українських міст і сіл на сьогодні переважно викидають відпрацьовані енергозберігаючі лампи на звалища, що призводить до значного забруднення довкілля парами ртуті. Правильний збір і проведення відновлювання запобігає викиду ртуті в навколишнє середовище. Якщо ртутьмістні відходи викинути у сміттєвий контейнер, компактор, на звалище чи сміттєспалювальний завод, ці лампи розіб'ються, що призведе до вивільнення парів ртуті в атмосферу. Лише в окремих містах встановлено спеціальні контейнери для збирання ртутьмісних відходів (рис.85). Середня відстань від будинку до пункту збору становить менше 1 км для високої зручності, 8 км для середньої зручності з кількома місцями розташування та більше 8 км для низької зручності в межах одного місця розташування.



Рисунок 85 - Контейнер для збирання ртутьмісних відходів

Утилізація ртутьвмісних відходів ґрунтується на розділенні їх на компоненти. В процесі утилізації люмінесцентні лампи поділяються на складові: скло, металевий цоколь і ртутьвмісний люмінофор. Виділена з ламп ртуть збирається, а очищені цокoli і бите скло можна використовувати як вторинну сировину в металургії та будівництві.

Сучасні установки дозволяють переробляти усі масові типи люмінесцентних ламп. При використанні методу демеркуризації необхідно враховувати, що в відпрацьованих лампах ртуть в основному знаходиться переважно у вигляді атомів, які сорбовані шаром люмінофору. Основні операції по демеркуризації ламп на таких установках включають операції прийому ламп на склад, завантаження в камеру установки, демеркуризацію, складування продуктів переробки, контроль аналізаторами рівня ртутного забруднення повітря у приміщеннях і на поверхнях, їх санітарна обробка.

Знайшли розповсюдження кілька методів відновлення ртутьвмісних відходів.

1) Хімічний метод полягає в обробці роздроблених виробів хімічними реагентами з метою переведення ртуті у нерозчинні хімічні з'єднання. Відповідно до цього способу використані лампи піддаються мокрому подрібненню та механічному розділенню скла і цокolів. Хімічний метод дозволяє відокремити ртуть від скла і елементів конструкції люмінесцентних ламп при температурах, близьких до кімнатної, та виключити викиди парів ртуті і її з'єднань в атмосферу.

Лампи завантажують в ізольований кульовий млин і піддають сухому дробленню протягом 30...180 хвилин, після чого у млин додають рідкий реагент наступного складу, г/л: йодистий калій 5...10; йод 1...23; їдкий натр 1...5; хлористий натрій 5...12, який зв'язує ртуть у хімічні з'єднання. Після завершення процесу переробки ламп, реагент, що містить солі ртуті, зливають з кульового млина і направляють на хімічне відділення ртуті. Дана технологія характеризується екологічною чистотою і забезпечує максимальний відсоток вилучення ртуті. Хімічна утилізація передбачає багатократне промивання відходів розчинами, що викликає необхідність створення дорогих систем очищення промивних вод.

Недоліки хімічного методу утилізації ртутьвмісних відходів:

- метод не дозволяє вести переробку в безперервному режимі, а в результаті демеркуризації утворюється значна кількість стічних вод;
- наявність технологічних стоків, що вимагають їх очищення від хімічних з'єднань ртуті і інших шкідливих компонентів;
- складність зберігання і переробки утворених ртутьвмісних продуктів.

2) Термічний метод демеркуризації люмінесцентних ламп заснований на нагріванні подрібнених відходів до температури вищої за температуру кипіння ртуті (357°C). В основі процесу відновлення лежить зростання тиску пари ртуті при підвищенні температури. В результаті термічної обробки алюмінієві цоколі повністю очищаються від забруднень ртуттю і можуть бути сировиною для металургійного виробництва.

Відділення люмінофора (головного носія ртуті), від скла здійснюється за рахунок видування його в протитечійній системі з накладенням вібраційного поля. Основна маса люмінофора уловлюється в циклоні і потрапляє у збірник люмінофора (металеву бочку з поліетиленовим мішком-вкладишем і спеціальною кришкою). Повітряний потік послідовно очищається від люмінофора в циклоні, рукавному фільтрі і адсорбері активованим вугіллям. Разом з люмінофором в металеві бочки упаковується відпрацьоване активоване вугілля, а також забруднені фільтри.

Термічна утилізація ламп в шнековій печі дозволяє працювати в безперервному режимі, технологія нечутлива до складу вихідної сировини. З точки економічної точки зору термічний метод утилізації ртутьвмісних відходів є найбільш доцільною технологією.

До недоліків термічного методу відновлення ртутьвмісних відходів відноситься складність систем конденсації парів ртуті та видалення сорбентів. Термічні установки знешкодження ртутних відходів складні в експлуатації, вимагають застосування надійних систем сорбції ртуті з утворюємих газів.

3) Термовакuumний метод базується на вакуумній дистиляції ртуті з виморожуванням її пари на поверхні кріогенного вловлювача. Оброблювані лампи подрібнюються у демеркуризаційній камері установки з розділенням на складові: подрібнене скло, металеві цоколі і ртутьвмістний люмінофор та нагріваються вище температури випаровування ртуті. Утворені пари ртуті відкачуються вакуумною системою установки через кріогенний вловлювач, на поверхні якого відбувається конденсація ртуті, що стікає в збірник у вигляді рідкого металу після розморожування вловлювача. Демеркуризований бій висипають, шляхом нахилу робочої камери установки. Після утилізації люмінесцентної лампи вагою 140 г отримують до 45 грамів скляного бою, який зазвичай використовують як сировину для варіння скла, і до 6 міліграм металевої ртуті. Продуктом процесу демеркуризації є металева ртуть, яка може бути повторно використана у промисловому виробництві. Склобій, що залишився після видалення ртуті, може використовуватися у якості засипки при виробництві будівельних і виконанні дорожніх робіт або підлягати видаленню на полігоні твердих побутових відходів або промислових відходів

(4-й клас небезпеки відходів). Крім того, виділяють майже 4 грами люмінофору, який підлягає захороненню.

Поєднання вакуумного принципу відгону з криогенною технологією конденсації парів ртуті на поверхні пастки дозволяє досягти високої швидкості демеркуризації склобою, низької залишкової концентрації ртуті у склобої при дуже низькому рівні концентрації парів ртуті у вихлопних газах установки. Усі технологічні процеси мають замкнутий цикл.

Таблиця 20

Технічні характеристики і показники установки термічної демеркуризації

Характеристика	Показник
Час виходу на режим	1 год
Продуктивність	до 200 ламп/год и 8000
Температура демеркуризації	до 450°C
Кінцевий вміст ртуті (не більше):	У відкачаних газах – не більше 0003 мг/м ³ скло бої – не більше 2,1 мг/кг
Вага установки	920 кг
Середня потужність електроспоживання	8 кВт



Рисунок 86 - Установка для вакуумної термічної демеркуризації люмінесцентних ламп



Рисунок 87 - Завантаження люмінесцентних ламп в установку вакуумної демеркуризації ртутьвмісних відходів.

Наявність ртуті усередині виробничого приміщення може бути пов'язана тільки з окремими розбитими лампами, отриманими для переробки від постачальника або внаслідок неакуратності оператора при завантаженні установки. Ефективність установок вакуумної дистиляції ртутьвмісних відходів дозволяє економічно вигідно утилізувати люмінесцентні лампи, починаючи з мінімальних об'ємів переробки 75...100 тис. в рік.

У 2016 році у селі Муроване, біля Львова відкрито завод з перероблення відпрацьованих люмінесцентних ламп. Постачальником обладнання для даного підприємства стала шведська фірма «MRT System AB», яка є світовим лідером з виробництва устаткування з перероблення небезпечних відходів. Завод приймає на перероблення від юридичних осіб компактні енергозберігаючі та трубчаті відпрацьовані люмінесцентні лампи, ртутні медичні термометри, що вийшли з ладу. Завод працює по технології «zero waste» з замкнутим циклом, що робить його першим та єдиним у своєму роді заводом, що функціонує в Україні. Потужності лінії складають 200 кг/год (500 трубчастих або ж 800 компактних люмінесцентних ламп).

Питання для самоконтролю

1. В чому полягає доцільність використання люмінесцентних ламп?
2. В чому полягає шкідливий вплив парів ртуті?
3. Який порядок збору ртутьвмісних відходів в Україні?
4. Які методи застосовують для утилізації ртутьвмісних відходів?
5. Які вторинні продукти отримують при утилізації люмінесцентних ламп?
6. Охарактеризуйте суть хімічної утилізації ртутьвмісних відходів.
7. Охарактеризуйте суть термічної утилізації ртутьвмісних відходів.
8. Опишіть суть термовакuumного методу рециклінгу люмінесцентних ламп.

8.Відновлення матеріалів автономних джерел живлення та електронного брукту

8.1. Особливості будови автономних джерел живлення

Більшість видів електронної апаратури та всі транспортні засоби передбачають використання автономних хімічних джерел струму. Хімічні джерела струму - джерела електричної енергії, яка виробляється шляхом перетворення хімічної енергії в електричну. Хімічні джерела струму поділяються на: джерела струму одноразової дії (гальванічні елементи), джерела струму багаторазової дії (акумулятори). Гальванічний елемент - це хімічне джерело струму призначене для одноразового чи багаторазового розряджання, яке складається з електродів і електроліту, вміщених в одну посудину. Гальванічна батарея це хімічне джерело струму, яке складається з двох або більше гальванічних елементів, сполучених між собою електричним ланцюгом для сумісного виробництва електричної енергії.

Сучасний ринок пропонує споживачу широкий спектр малих хімічних джерел струму: мангано-цинкові (сольові), мангано-цинкові (лужні), ртутно-цинкові (RTS), літєві,; а також акумулятори: нікель-кадмієві (Ni-Cd), нікель-металогідридні (Ni-MH), літій-іонні (Li-Ion), свинцево-кислотні герметичні (SLA).

Залежно від природи електроліту гальванічні елементи поділяють на сольові з аміачним електролітом та лужні з електролітом у вигляді пасту на основі гідроксиду калію KOH. З множини типів хімічних джерел струму найбільш поширеною є група лужних, сольових та вуглецево-цинкових елементів, сумарно – близько 80 %мас.

Найбільш уживаними гальванічними елементами в побутовій техніці є мангано-цинкові, світове виробництво яких становить понад 3 млрд штук у рік.



Рисунок 88 – Відпрацьовані гальванічні елементи

Сольові елементи (містять позначення R) є поширеними завдяки доступності сировини, простоті технології виготовлення, низькій собівартості, зручності використання, однак вони характеризуються низькою ємністю та швидким саморозрядом, мають низьку вартість. У мангано-цинкових (сольових) елементах цинковий стаканчик виконує роль аноду, суміш діоксиду марганцю з графітом - катоду та електроліту - водному розчину хлориду амонію або хлориду цинку. Вміст металевих складових у сольових гальванічних елементах становить більше ніж 1/3 їх маси, а відпрацьованого електроліту – $\sim 1/2$. Використання цинкового електроду в якості корпусу значно спрощує технологію виготовлення гальванічних елементів. Однак цинк піддається сильній корозії, що скорочує термін служби елемента.

На працездатність сольових мангано-цинкових гальванічних елементів значно впливає термін їх зберігання з моменту виготовлення до початку використання за призначенням. У кінці розряду, у результаті повільного розкладання мангану (II) оксиду, може також виділятися кисень, а в результаті корозії цинку – водень, що сприяє збільшенню внутрішнього об'єму батарейки. Причому на останній стадії розряду і після його закінчення можливе витікання з цинкового корпусу електроліту, що пов'язано з підвищенням об'єму активної маси додатного електрода.



а)



б)



Рисунок 89 – Будова сольового (а) та лужного (б) гальванічних елементів

Лужні елементи (LR) маркуються написом «Alkaline». Лужні гальванічні елементи містять порошкоподібний цинк як негативно заряджений електрод (анод), діоксид мангану з графітом (вуглецевий стрижень) як позитивно заряджений електрод (катод) та концентрований розчин гідроксиду калію в якості електроліта.

Негативний електрод має циліндричну форму та розміщений по осі елемента. На трубчастий латунний струмовідвід наноситься паста з цинкового порошку та загущеного електроліту. Для забезпечення великої питомої площі поверхні анода цинк використовують у порошкоподібному стані. Лужний гальванічний елемент розміщується у герметично закритому нікельованому сталевому корпусі. Корпус лужних гальванічних елементів є тільки виводом, а не електродом, як у сольових елементах. У відпрацьованих лужних елементах живлення на металеві складові припадає лише 1/4 їх маси, а електродна частина становить майже 3/4. Корпуси лужних елементів живлення виконуються з металу, тому шкідливі речовини в процесі транспортування, складування, продажу та експлуатації елементів живлення, залишаються всередині корпусу і назовні потрапити не можуть. Порівняно з сольовими лужні гальванічні елементи мають підвищену енергоємність, вищу вартість і більш тривалий термін зберігання.

Відпрацьовані лужні гальванічні елементи містять:

- анодна частина - металевий цинк, що не повністю прореагував, розчин гідроксиду калію, гелеутворюючі агенти та іонний цинк, який накопичується в процесі розрядження батарейки;
- катодна частина з манган-оксидів.

В дискових джерелах струму найчастіше використовують ламельні електроди, в яких активні маси запресовані в тонку металеву сітку. Електроди розміщують один над одним, розділяючи їх сепаратором.

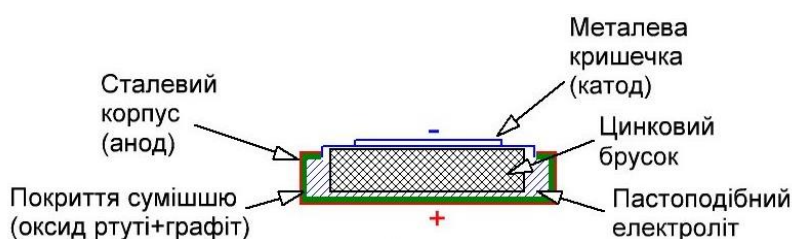
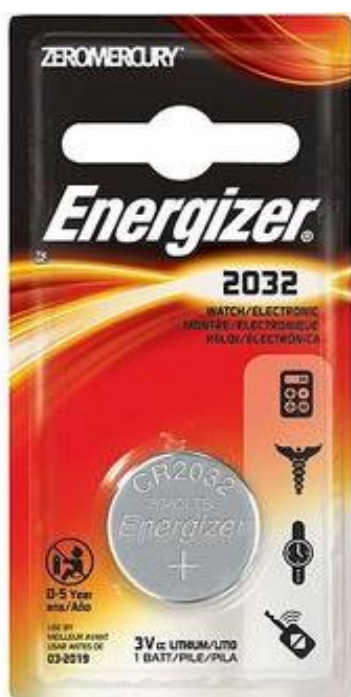


Рисунок 90 - Малогабаритне джерело струму дискової форми

На деяких типах гальванічних елементів наноситься позначення додаткового вмісту небезпечних для здоров'я людини хімічних елементів. За рівнем небезпеки для людини кадмій, ртуть, свинець, цинк віднесені до 1-го класу (особливо небезпечні), кобальт і нікель - до 2-гого. Отруєння цими речовинами може представляти серйозну загрозу для здоров'я і життя. Хімічний знак ртуті (Hg) або свинцю (Pb) вказує на вміст у гальванічному елементі 0,0005 % ртуті або 0004 % свинцю.

До найпоширеніших типів поширених в побуті акумуляторних батарей відносяться:

- нікель-кадмієві (Ni-Cd). У їх складі присутній кадмій - важкий метал підвищеної токсичності. Вони досить довговічні - при дотриманні визначених умов експлуатації здатні працювати до 10 років;

- нікель-металогідридні (Ni-MH). Цей тип акумуляторних батарей має велику питому ємність та не містить токсичних складових;

- літій-іонні (Li-Ion) мають значний електрохімічний потенціал та високу щільність енергії, низький рівень саморозряду при зберіганні та тривалий експлуатаційний ресурс. Однак вони втрачають ефективність при низьких температурах та є досить вартісними;

- літій-полімерні (Li-Pol) виготовлені на основі пластичного полімерного електроліту, завдяки чому можуть набувати задану форму. Вони є більш безпечними у використанні, порівняно з акумуляторами на основі іонів літію;

- срібно-цинкові (Ag-Zn) акумулятори характеризуються великою питомою енергоємністю. Вони здатні віддавати великі струми (до 50 А) й працюють при температурах від -40 до +50 °С. Однак вони мають високу вартість і застосовуються у побуті вкрай рідко.

В сучасних умовах особливо актуальною є проблема утилізації автономних джерел струму. Це пов'язано з наступними аспектами:

- масштабне збільшення обсягів використання гальванічних елементів;
- ускладнення конструкції енергоємних гальванічних елементів за рахунок добавок шкідливих для здоров'я людини хімічних елементів;
- посилення вимог до охорони навколишнього середовища;
- зростаюча роль використання вторинних ресурсів в умовах циркулярної економіки.

План переходу до циркулярної економіки передбачає:

- створення правил щодо вмісту вторинної сировини та вжиття заходів стосовно підвищення показників збору та переробки для гальванічних батарей усіх типів, забезпечення відновлення цінних матеріалів та надання рекомендацій споживачам товарів;

- поступове скорочення використання гальванічних батарей, що не мають можливості до перезарядження;
- забезпечення застосування етичних принципів видобутку сировини та безпеки постачання матеріалів для виготовлення гальванічних батарей.

Негативний вплив, який завдається довкіллю, важко визначити внаслідок відсутності точних даних про типи відпрацьованих батарейок, їх склад та терміни

У складі відпрацьованих елементів живлення містяться різноманітні хімічні елементи: залізо, марганець, цинк, нікель, кадмій, свинець, ртуть, срібло та їх сполуки, які є досить небезпечними як для здоров'я людини, так і для навколишнього середовища. У випадку, коли населення не звертає уваги на попереджуючі позначення, відпрацьовані гальванічні елементи викидаються у контейнери з побутовими відходами. Контейнери вивозяться на міські звалища, де через певний період під впливом опадів корпус батарейки починає іржавіти і руйнуватися. Луги, марганець, свинець, кадмій, цинк, літій, ртуть, хлор та інші небезпечні для здоров'я речовини попадають у ґрунт, і включаються у кругообіг токсичних речовин, який неможливо зупинити. З ґрунту ці хімічні елементи проникають у ґрунтові води та водойми, потім виявляються зараженими риби, рослини і тварини, і, врешті-решт, в організм людини. Важкі метали, які містяться в хімічних джерелах струму, мають токсичну дію навіть у малих концентраціях у результаті їх біоаккумуляції в живих організмах і природних екосистемах. Вони практично не виводяться з живих організмів і їх шкідлива дія може проявитися з часом у прояві важких захворювань. Підраховано, що один гальванічний елемент забруднює близько 20 м² землі - це територія зростання двох дерев, ареал проживання кількох тисяч дощових черв'яків. Шкідливі речовини з одного гальванічного елемента здатні забруднити 400 літрів ґрунтових вод.

Кожен рік у світі виробляється понад 22 млрд гальванічних елементів та акумуляторів і ця цифра має тенденції зростати. За підрахунками, кожен житель міста Кропивницький в середньому використовує 5 гальванічних елементів живлення в рік. Враховуючи кількість жителів, які використовують гальванічні елементи понад 200 тисяч, отримаємо цифру річного споживання 1 млн. штук. Ця кількість джерел живлення щорічно переміщується на міське звалище м. Кропивницький.

45 мільйонів жителів України викидали за рік майже 100 мільйонів батарейок. Враховуючи, що маса однієї батарейки складає 0,025 кг, отримуємо річне споживання 2500 тонн, що складає 35 залізничних вагонів.

Розвинуті країни світу, розуміючи масштабність проблеми накопичення хімічних джерел струму, проводять кардинальні заходи. Однією з ознак

цивілізованого міста чи сучасного торгового центру стає наявність пунктів збору використаних джерел струму, як пальчикових гальванічних елементів, так і акумуляторів від телефонів та планшетів (рис.91). В країнах ЄС у вартість батарейок закладається відсоток на утилізацію, а покупець, здавши використані батарейки в магазині, отримує знижку на придбання нових. Виробники і великі магазини, що продають елементи живлення, зобов'язані забезпечувати збір використаних батарейок (принцип відповідальності виробника). Багато європейських країн практикують збір відпрацьованих елементів живлення у спеціальні контейнери, які розміщують у супермаркетах.



Рисунок 91- Контейнер для збору відпрацьованих елементів живлення

Збір відпрацьованих елементів живлення строго контролюється законами ЄС. Починаючи з 2016 року в усіх країнах-членах ЄС встановлено рівень збору в 45% використаних гальванічних елементів (виходячи з обсягів, розміщених на ринку протягом попередніх трьох років). В Німеччині діє понад 170 000 пунктів приймання хімічних джерел струму, а на переробку надходить понад 50 % усіх проданих батарейок і акумуляторів.

При зборі батарейок фірми, що займаються утилізацією, активно взаємодіють з місцевими школами. Кожна школа, зібравши і передавши на підприємство певну кількість батарейок, отримує купон. Кілька купонів можна обміняти на подарунок: це може бути новий комп'ютер або інтерактивна дошка. Серед лідерів країн Євросоюзу виділяють Німеччину, де показник збору використаних батарейок становить близько 90%. Не в останню чергу це стало можливим завдяки санкціям, що передбачають штраф в 300 євро за викинуті в сміттєвий бак батарейки.

В 2006 році в Україні було прийнято Закон «Про хімічні джерела струму», де зазначено, що «заготівля відпрацьованих хімічних джерел струму здійснюється спеціалізованими виробництвами з утилізації та спеціалізованими підприємствами з утилізації безпосередно або через мережу приймальних пунктів». Але для малих побутових джерел живлення цей пункт Закону практично не виконується і налагодженої мережі приймальних пунктів для гальванічних елементів від населення в Україні не створено. Починаючи з 2016 року в усіх країнах-членах ЄС застосовується рівень збору в 45% використаних гальванічних елементів (виходячи з обсягів, розміщених на ринку протягом попередніх трьох років). В Німеччині діє понад 170 000 пунктів приймання хімічних джерел струму, а на переробку надходить більше 50 % усіх проданих батарейок і акумуляторів.

8.2. Технологія відновлення матеріалів автономних джерел живлення

Відновлення відпрацьованих хімічних джерел струму проводиться методами механічного та фізико-хімічного оброблення відпрацьованих хімічних джерел струму з метою отримання сировини для виробництва хімічних джерел струму та/або знешкодження відпрацьованих хімічних джерел струму чи їх складових частин. Відновлення відпрацьованих хімічних джерел струму здійснюється спеціалізованими виробництвами з утилізації та спеціалізованими підприємствами з дотриманням вимог нормативно-правових актів, екологічних вимог та норм.

Основна мета переробки автономних джерел живлення полягає в нейтралізації небезпечних речовин, запобіганні попаданню небезпечних речовин в навколишнє середовище, відновленні цінних металевих складових. В процесі відновлення з батарейок і акумуляторів відбирають вихідні матеріали, з яких можуть бути зроблені нові джерела струму та інша корисна продукція. З відпрацьованих гальванічних елементів при переробці отримують вторинний цинк, магній, марганець, графіт і залізо.

Зібрані гальванічні елементи в першу чергу підлягають сортуванню на типи (сольові, лужні, цинкові, нікель - кадмієві тощо) і далі в залежності від того, до якого типу вони належать, батареї відправляють на відповідне переробне підприємство.

Ручне сортування досить трудомісткий процес, при якому можуть допускатися значні похибки (рис.92). Для автоматизованого сортування батарейок перед утилізацією застосовують автоматизовані сортувальні машини. Прикладом може бути машина Optisort (Швеція) з штучним інтелектом, яка ефективно ідентифікує та відсортовує перед відновленням

суміш гальванічних елементів (рис.93). Машина використовує оптичну технологію розпізнавання типу джерела живлення, порівнюючи його у своїй базі даних з виглядом еталонних зразків. Продуктивність такої машини складає до 10 елементів за секунду.



Рисунок 92 - Ручне сортування автономних джерел струму



Рисунок 93 - Автоматизоване сортування автономних джерел струму

Автоматизоване оптичне сортування при забрудненні поверхні батарейок може давати похибки. Помилки в сортуванні ведуть до значного пігршення яккості вторинної сировини. Так, попадання кадмію з лужного гальванічного

елемента до суміші з сольових батарейок приведе до різкого зниження якості відновленого цинку.

Більш точне сортування досягається при застосуванні автоматичних рентгенівських аналізаторів. Оскільки відпрацьовані гальванічні елементи живлення містять у внутрішній частині цінні компоненти їх після сортування подрібнюють. На практиці використовують поєднання автоматичного сортування з додатковим контрольним ручним відбором з конвейєрної стрічки помилкових елементів.

На сьогодні рециклінговій переробці підлягають переважно автономні джерела струму.

Метою подрібнення відсортованих автономних джерел струму є зменшення розміру часток, отримання однорідного порошку для підвищення ефективності вилуговування та видалення залізної або сталевोї тирси. Стадія подрібнення сольових гальванічних елементів повинна забезпечити лише часткове їх подрібнення до розміру 5...7 мм для доступу розчинника до цинкових складових, що дозволяє знизити енергозатрати порівняно з повним помолом. Подрібнені батарейки стають сумішшю, по консистенції схожою на в'язку масу - шихту. З цієї суміші магнітним сепаратором відбираються чорні метали, а хімічні речовини, які залишаються в пастоподібному стані сортуються. Для цього шихта поміщається у вібросепаратор, де відсіюється вуглець, насичений хлорними сполуками цинку (рис.94). Далі суміш переміщується у магнітний барабан, який більш повно відокремлює залізо. Шляхом термічного окислення горючих матеріалів, за допомогою газового пальника, з шихти випалюються, такі органічні складові як пластмаса та паперова ізоляція.



Рисунок 94 - Подрібнена шихта «чорна маса», яка отримана з подрібнених гальванічних елементів

Лужні елементи живлення важче піддаються механічному розділенню. Це зумовлено розміщенням лужного елемента живлення у міцному сталевому корпусі. Первинне подрібнення здійснювалося у молоткових дробарках або на шредері, вторинне подрібнення – у шарових млинах, молоткових або щоккових дробарках до порошкоподібного стану. Папір та пластмаса з подрібненої маси відділяються на ситах. Оптимальний розмір часток після подрібнення складає 0,1–1,0 мм. Магнітною сепарацією видалялися феромагнітна тирса з подрібнених залізних конструктивних елементів. Брухт чорних металів після брикетування передається на переплавку на металургійні підприємства,

Існують два основних види технологій вилучення вторинної сировини з шихти, яка отримана з подрібнених відпрацьованих джерел живлення.

Гідрометалургійний метод передбачає виділення з'єднань металів з шихти за допомогою водних розчинів різних реагентів у вигляді сполук, розчинних у воді, з подальшою обробкою цих розчинів для виділення металевих з'єднань у вільному вигляді. Ефективність дій розчинника при вилуговуванні визначається його концентрацією, температурою та тривалістю обробки, крупністю сировини.

Вода є найбільш доступним та ефективним агентом при вилученні розчинних сульфатів, хлоридів металів та продуктів обпалювання. Водні розчини солей (сульфати та хлориди феруму (III), ціанати, хромати, сульфід натрію) найчастіше використовуються в технологіях переробки батарейок. Відсорваний при подрібненні матеріал з гальванічних елементів заливається сірчаною кислотою. В результаті хімічної взаємодії утворюється соляний розчин, після випаровування якого отримують кристалічні сульфати. Для вилучення металів також застосовують методи осадження важкорозчинних осадів, сорбцію, екстракцію, мембранні технології; іонну флотацію; дистиляцію; електрохімічне осадження. При цьому також можуть реалізуватися хімічні процеси вилучення кольорових металів (залізо, мідь, алюміній), оксидів металів активних елементів (Mn_2O_3 , $NiMnCoAlO_2$, $FePO_4$), карбонату літію. З решти поліметалевої маси виділяють сульфати цинку, марганцю і графіт.

Пірометалургійний метод передбачає високотемпературну обробку подрібненої маси. Наприклад, при проведенні вакуумної дистиляції від маси відділяється легкоплавкий кадмій. Для відновлення деяких металів, які можна повторно використовувати в промисловості, матеріал подрібнених батарей переплавляють у високотемпературних печах з відновлювальною атмосферою. У результаті отримують проміжний сплав, що містить переважно мідь, нікель і кобальт, який потім піддається подальшій хімічній обробці. При

використанні пірометалургійного методу пластмасова складова і графіт з подрібнених електродів повністю вигорають в печі. Відновлений цинк при температурах понад 950⁰C випаровується, а при конденсації відведені пари цинку окислюються з утворенням оксиду цинку, який служить сировиною при виготовленні фарб.

Кінцеві вторинні продукти - метали Mn, Ni, Co, Fe, Al і Li також будуть знаходитися в складі шлаку, який в подальшому можливо використовувати у ролі реагентів в хімічній промисловості, а також в якості добавок до мінеральних добрив в сільському господарстві.

Утилізація джерел струму це енергоємний процес, в якому для вилучення металів витрачається від 6 до 10 разів більше енергії, ніж потрібно для виробництва подібних матеріалів іншими способами в металургійній промисловості. Переробники орієнтуються на відновлення таких катодних метали, як кобальт і нікель, оскільки вони мають високу ціну, але їх над мала кількість робить процес переробки та відновлення складним та енерговитратним. Нікель-металогідридні батареї економічно найбільш вигідні для утилізації, оскільки при переробці отримують нікель в такій кількості, що окуплює затрати на проведення процесу. Переробка гальванічних елементів на сьогодні в країнах ЄС є збитковою діяльністю і дотується виробниками. Переробка 1 т гальванічних елементів коштує від 400 до 600 євро. З цієї причини, з усього обсягу світового виробництва батарейок і акумуляторів переробляється тільки 3%. У країнах, що розвиваються переробкою практично не займаються і батареї викидаються зі звичайними побутовими відходами, створюючи значне забруднення навколишнього середовища.

Підприємств, які переробляють хімічні джерела струму, у світі налічується сотні, але повним циклом переробки відпрацьованих елементів живлення володіють одиниці. Основна маса підприємств займається лише первинним обробленням вмісту джерел струму: розділенням їх на фракції і переробкою тих складових, що дозволяє наявна на підприємстві технологія, решту відділених складових передають на подальшу переробку на спеціалізовані підприємства.

Повністю безпечна технологія переробки елементів живлення до цього часу відсутня. Навіть у передових країнах ці процеси утилізації досі залишаються не достатньо екологічно чистими. У багатьох країнах зібрані елементи живлення зберігаються ізольовано на складах, що називається, «до кращих часів», коли технології їх переробки вийдуть на якісно новий рівень і за ступенем вилучення корисних компонентів, і по дешевизні процесу.

Складність реалізації переробки відпрацьованих джерел струму в Україні полягає у низькому рівні екологічного світогляду, відсутність наукового підходу

до переробки і технологічній складності процесів переробки через велику кількість різних типів батарейок, відмінністю в конструкції та хімічному складі, а також у відсутності фінансування. Через відсутність переробки відпрацьованих елементів живлення втрачається велика кількість кольорових металів, які, в першу чергу, можна використовувати на виробництво нових джерел струму, а головне – мінімізувати забруднення навколишнього природного середовища.

Одним з нових ефективних способів відновлення лужних джерел живлення є їх використання в якості добрив під сільськогосподарські культури. Доведено, що хімічні елементи з таких відходів позитивно впливають на ріст і розвиток рослин та підвищують їх стійкість до хвороб. З цинку, калію та магнію виробляють добриво, яке вносять під посіви кукурудзи. Додавання марганцю до складу азотних добрив забезпечує підвищення врожайності культур на 10%. У 2019 році Великобританія почала виробництво добрив з використаних батарейок, які компенсують нестачу у ґрунті марганцю та цинку при вирощуванні сільськогосподарських культур.

В Україні утилізація елементів живлення до недавнього часу здійснювалася на львівському державному підприємстві «Аргентум». В першу чергу це підприємство проводить відновлення відходів вторинної сировини, яка містить дорогоцінні метали та їх сплави, в основному "електронний брухт" (транзистори, мікросхеми, роз'єми, конденсатори, тощо скрап), металевий брухт з позолотою, відпрацьовані розчини і шлами, золотовмісний пил, відходи фотоматеріалів і відпрацьовані каталізатори. На підприємстві створені технологічні процеси рециклінгу золота, срібла, платини, паладію, родію, іридію та ін. З отриманих металів можуть бути виготовлено - сплави, припої, електричні контакти, хімічно чисті сполуки для одержання каталізаторів, дрібнодисперсні метали для порошкової металургії та ін.

На державному підприємстві "Аргентум" було створено дослідно-виробничу дільницю по відновленню гальванічних елементів, яка займала площу близько 50 м², а установка відновлення дозволяла переробляти до 300 кг батарейок в день. Спочатку відсортовані батарейки подрібнювалися на шредері. Потім шихта поміщувалася у вібросепаратор, де відсіюється порошок графіту. Далі, шихта подавалася до магнітного сепаратора, який відокремлював залізні ошурки від цинкових. На наявному обладнанні в здійснювався відбір чорних металів і не проводилося відновлення хімічних з'єднань.

Відпрацьовані батарейки та побутові акумулятори для передачі на відновлення підприємству «Аргентум» пункти збору мали запакувати в поліетиленовий пакет, помістити в картонний ящик і переслати поштою. Пряма фінансова вигода від збору батарейок для утилізації була відсутньою і

будувалася на ентузіазмі екологічних волонтерів. Державне підприємство «Аргентум» за отримані елементи живлення жодних коштів пунктам збору не виплачувало.

Екологічна ініціатива «Батарейки, здавайтеся» була заснована у 2013 році в Дніпрі громадською організацією «ЕкоДніпро». У 2016 році екологічним рухом «Батарейки, здавайтеся» було запущено компанію зі збору коштів на утилізацію і переробку батарейок в Україні. З моменту запуску ініціативи були створені регіональні філії та понад 1 500 пунктів прийому батарейок у всіх областях України. Організація уклала договори про партнерство з трьома підприємствами по утилізації батарейок в Європі - Redux в Німеччині, Resourç в Польщі і GreenWEEE в Румунії. Проте передача відпрацьованих гальванічних елементів для утилізації на європейські підприємства є вкрай ускладненим процесом. Це пов'язано зі складністю оформлення дозвільної документації на транскордонне перевезення небезпечних відходів.

8.3. Відновлення матеріалу свинцево-кислотних акумуляторів

Свинцево-кислотні акумулятори застосовуються в автомобілях, електромобілях, мотоциклах, джерелах безперебійного живлення, різноманітному промисловому устаткуванні. Свинцево-кислотні батареї виробляються в різному конструктивному виконанні для різних цілей, включаючи автотракторну техніку і стаціонарні накопичувачі енергії. Стартерні батареї для автотракторної техніки забезпечують короткочасні потужні сплески живлення, а не розраховані на тривале постачання живлення з невеликою силою струму. Стартерні свинцево-кислотні акумулятори слугують для живлення електричним струмом стартера автомобіля під час пуску двигуна, а також усіх інших приладів електрообладнання, коли генератор не працює.

Автомобільні свинцево-кислотні акумулятори не ефективні при використанні у складі сонячних електростанцій. Якщо стартерні батареї використовуються у якості накопичувачів енергії в альтернативній енергетиці, термін служби акумуляторів в такому режимі роботи зазвичай не перевищує 2 роки. Незважаючи на цей недолік, автомобільні стартерні батареї часто використовуються на сонячних електростанціях, куплених і встановлених приватними споживачами, які працюють незалежно від проектів доступу до енергії. В основному це пов'язано з широкою доступністю, а також нижчими цінами стартерних свинцево-кислотних акумуляторів. Для застосувань сонячній енергетиці розроблені свинцево-кислотні акумулятори глибокого циклу. Ціни на такі батареї зазвичай приблизно на 20% вищі, ніж на

автомобільні свинцево-кислотні акумулятори. Однак, термін служби таких акумуляторів зазвичай становить від 3 до 5 років.

Для виробництва автомобільних свинцево-кислотних акумуляторних батарей витрачається від 30 до 45% світового виробництва свинцю. Такі акумуляторні батареї складаються з шести свинцево-кислотних двовольтових акумуляторів, з'єднаних між собою послідовно, що забезпечує робочу напругу 12 В в електричній мережі автомобіля (рис.95). Поліпропіленовий корпус акумуляторної батареї поділено перегородками на шість відділень. Акумулятор складається з півблоків позитивних 10 і негативних 9 пластин, ізольованих одна від одної пористими сепараторами зі скловолокна або пористих пластмас 14. Пластини акумуляторів виготовляють у вигляді решіток із свинцю з додаванням для механічної міцності до 2% сурми. У пористі решітки пластин запресовують активну масу з оксидів свинцю Pb_3O_4 та PbO - для позитивних пластин і свинцевого порошку - для негативних. Півблоки з позитивними й негативними пластинами збирають у блок так, що позитивні пластини розміщуються між негативними.

Акумуляторні блоки з'єднують між собою свинцевими перемичками 7. Поліусні штирі 4, 13 крайніх акумуляторів (плюсовий та мінусовий) призначаються для підключення батареї в мережу електрообладнання автомобіля. Зібрані акумуляторні пластини встановлюють в окремі відділення пластмасового корпуса та закривають кришкою, що має два отвори для виходу полюсних штирів, а також отвір 3 для заливання електроліту з різьбовою пробкою 5. В банки акумулятора заливають електроліт, що складається з хімічно чистої сірчаної кислоти (H_2SO_4) і дистильованої води.

Автомобільні акумулятори складаються на 50-60% зі свинцю, 12-18% різних пластмас і розчину сірчаної кислоти - 10-15% від загальної маси автомобільного акумулятора. Середній термін служби автомобільних свинцево-кислотних акумуляторів складає близько 3-х років. На етапі використання небезпечні складові батареї зазвичай добре захищені, тому викиди в навколишнє середовище та прямий контакт з людиною є малоімовірними. Використання свинцево-кислотних акумуляторів є порівняно безпечним, оскільки існує низький ризик перегріву та пожежі.

В процесі експлуатації така батарея не несе в собі небезпеки до того часу, поки її не пошкодять або не викинуть на звалище внаслідок вичерпання свого ресурсу. В цьому випадку відпрацьована акумуляторна батарея перетворюється на забруднювача довкілля з тяжкими наслідками. Свинець є отруйним важким металом, який при ковтанні або вдиханні має численні негативні ефекти на різні органи людини. Підвищений вплив свинцю може спричинити серйозні пошкодження мозку та нирок, особливо дитячого.

Сірчана кислота може викликати опіки шкіри та пошкодження очей при прямому контакті.

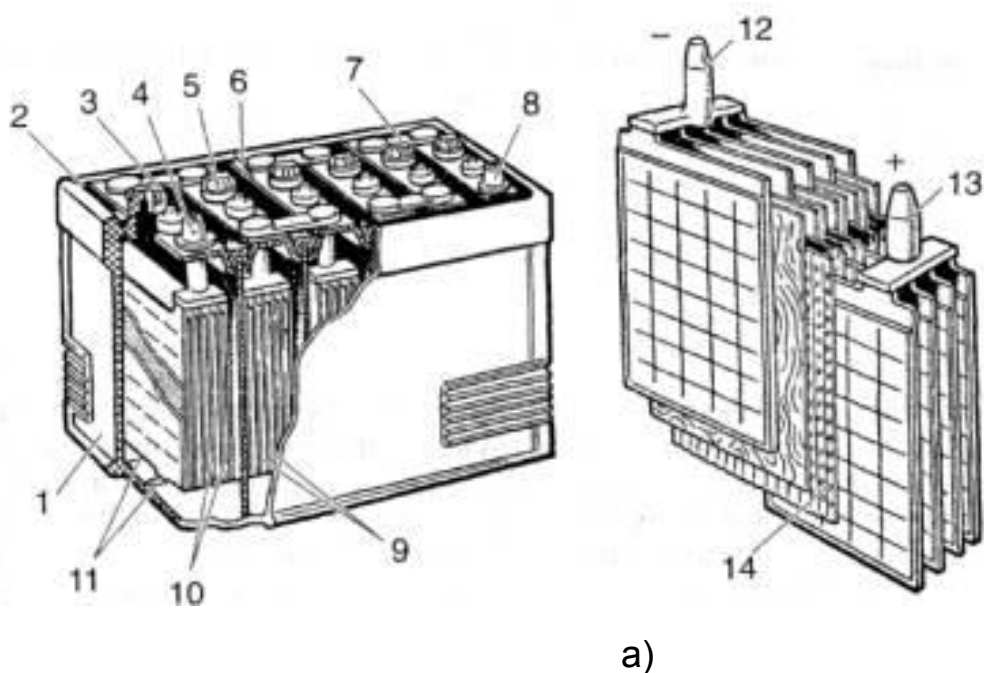


Рисунок 95 - Будова свинцево-кислотної акумуляторної батареї: а - загальний вигляд; б - блок пластин; 1 - бак; 2 - мастика; 3 - заливний отвір; 4, 8, 12, 13 - полюсні штирі; 5 - пробка заливного отвору; 6 - кришка; 7 - перемичка; 9, 10 - відповідно негативні й позитивні пластини; 11 - ребра; 14 - сепаратори

Завдяки високому вмісту свинцю та досить стабільним і привабливим світовим ринковим цінам на свинець відпрацьовані свинцево-кислотні акумулятори та свинцевий брухт збираються та переробляються по всьому світу. На ринках закупівельна ціна відпрацьованих акумуляторів виражається у відсотках від ціни на свинець Лондонської біржі металів і може досягати 40 %. Цей ринковий збір є основною причиною досить високих показників переробки свинцево-кислотних акумуляторів, які досягають понад 50% у всьому світі. На сьогоднішній день у США, Японії та практично всіх країнах Європи переробляється 100% свинцево-кислотних акумуляторів, процес дозволяє відновити до 98% матеріалів, придатних для повторного використання.

Свинцево-кислотні автомобільні акумуляторні батареї відносяться до другого класу небезпеки. Збір відпрацьованих автомобільних акумуляторів слід проводити окремо від іншої вторинної сировини. Вони повинні зберігатися у спеціально відведеному місці. Піддон під автомобільні акумулятори повинен бути обладнаний таким чином, щоб запобігти витоку електроліту на поверхню

грунту. При розташуванні піддону додатковими вимогами виступають: наявність твердого покриття і присутність навісу.

Незважаючи на те, що виробники акумуляторів застосовують високі екологічні стандарти, які ефективно мінімізують викиди свинцю на робочому місці та в навколишнє середовище, відновлювальна переробка свинцево-кислотних батарей є серйозною екологічною проблемою. Типові ризики для здоров'я та викиди є результатом переробки свинцево-кислотних батарей:

- неконтрольований злив і утилізація акумуляторної кислоти (часто вже під час збору);
- нестандартне поводження з акумуляторними батареями та процеси руйнування, які спричиняють викиди частинок свинцю та кислоти;
- нестандартні процеси плавлення та рафінування з відсутністю або недостатнім контролем викидів;
- неконтрольована утилізація шкідливих пічних шлаків;
- недостатній рівень промислової гігієни та небезпечні умови праці.

У більшості розвинених країн організація збору та переробки відпрацьованих акумуляторних батарей знаходиться під контролем державних і громадських екологічних організацій. В ЄС, США і Японії прийняті спеціальні законодавчі акти та урядові постанови про щодо організації рециклінгу матеріалів відпрацьованих свинцевих акумуляторних батарей на переробних підприємствах. Так, в Швеції та Італії введена система збору застави при імпорті та купівлі акумуляторних батарей, а зібрані кошти надходять безпосередньо підприємству-переробнику. Ці заходи дозволили забезпечити переробку акумуляторного брухту (в Німеччині до 95%, в Швеції понад 98%, в Японії понад 90%, в США не менше 97%) і частку повернення вторинного свинцю в загальному балансі його виробництва понад 60%.

У зарубіжних країнах відпрацьовані свинцево-кислотні акумуляторні батареї приймаються заповненими електролітом. Їх транспортують за допомогою завантаження в спеціальні герметичні контейнери, які навіть у разі аварії гарантовано захистять довкілля від витікання електроліту.

Згідно даних проведеного в Україні опитування щодо практики поводження з відпрацьованими свинцево-кислотними акумуляторами лише незначна частина населення України здає їх для утилізації у спеціалізовані приймальні пункти, понад 20% батарей викидають на сміттєзвалища, 50% - зливають електроліт на землю, і 14% - зберігають відпрацьовані акумулятори тривалий час у гаражах. Електроліт, який зливається з цих батарей, витікає в ґрунт та з часом може потрапити у ґрунтові води.

Отримані при відновленні вторинні матеріали можуть успішно використовуватися для виробництва нових акумуляторних батарей.

Переробка акумуляторів відбувається в кілька етапів: спочатку зливається електроліт на основі сірчаної кислоти. Рідкий електроліт після фільтрування і очищення від різних домішок може бути знову використаний як товарна продукція. Забруднений та загущений частинками осаду електроліт нейтралізують гашеним вапном, кальцинованою содою. Переробка перетворює кислоту на сульфат натрію, який можна використовувати як добавки для м'яких засобів, виробництва скла та текстилю.

Застосовують два варіанти виконання процесу відновлення матеріалів свинцево-кислотних батарей:

1) корпуси акумуляторів розрізаються, щоб відокремити пластини зі свинцю від поліпропіленового корпусу, а потім вже окремо подрібнюються;

2) проводиться суцільне подрібнення виробу без попередньої підготовки. Для подрібнення акумуляторів у якості обладнання застосовують молоткові дробарки.

Після подрібнення акумуляторів отримують три фракції - металеву (свинець з решіток), полімерну (корпус і сепаратор) і шламову (оксид свинцю). Отриману масу поділяють за допомогою водної флотації, в процесі якої шматочки пластику спливають на поверхню, а металеві елементи та осад опускаються на дно ванни. Шламова маса відділяється за допомогою процесу фільтрації. Перед наступним етапом утилізації свинцевовмісна маса проходить просушування. Зібраний свинець, пластик, кислота та інші матеріали потім переробляються окремо.

Відділений вторинний поліпропілен використовують для виготовлення нових корпусів акумуляторних батарей та інших промислових виробів. Пластик миють, сушать та розплавляють в екструдері. Розплавлений пластик проходить грануляцію, в результаті якої утворюються однорідні пластикові гранули, які придатні для повторного використання.

Існує два типи технології відновлення свинцю: піро- та гідрометалургійний методи.

Пірометалургійні процедури відновлення свинцю включають кілька підходів термічної плавки, які передбачають нагрівання відходів у різноманітних печах для видалення свинцю. З точки зору ефективності використання матеріалів, 100-відсоткова переробка може бути досягнута шляхом оптимізації процесу. Термічний метод підходить для металевих компонентів свинцево-кислотних акумуляторів. Свинцеві відходи очищають і нагрівають у плавильних печах при температурі від 1000 до 1250°C. Для переробки свинцевого акумуляторного лому застосовують електричні тигельні печі, технологічний процес в яких зводиться до розплавлення свинцевого металобрухту. В результаті переплаву свинцевих відходів з добавками кальцинованої соди отримують чорновий

свинець з незначними домішками сурми. Видалення цих домішок забезпечує підвищення якості свинцю. Частина домішок по мірі розплавлення свинцю спливають на його поверхню, оскільки вони мають меншу густину і вищу температуру плавлення. Втрати свинцю при такій переробці не перевищують 1,5%. Розплавлений свинець заливають у форми для злиwkів, де домішки спливають на поверхню і видаляються. Коли злитки охолонуть, їх транспортують до виробників батарей, де їх переплавляють та використовують для виготовлення елементів нових батарей (рис.92). Вторинний свинець відрізняється досить високою чистотою, щоб бути знову з економічною вигодою використаним для виробництва акумуляторів.

Свинцева оксидна шламова фракція, яка складається з сульфатів та оксидів, піддається відновленню в присутності каталізаторів при температурі понад 1100°C в високотемпературних газополумених печах, в результаті чого отримують чорновий свинець.



Рисунок 96 - Злитки вторинного свинцю

При гідрометалургійному методі використовуються процеси електрохімічного вилучення свинцю. Гідрометалургійні процедури з подальшим електрохімічним вилученням є кращими для відновлення свинцю із хімічних з'єднань свинцю, таких як сульфат свинцю та оксид свинцю з осаду батареї, оскільки при цьому виключається необхідність розплавлення неметалевих компонентів свинцю при високих температурах. Сульфатно-

оксидні фракції для розчинення обробляють в розчинах гідроксиду або карбонату натрію з подальшим виділенням свинцю з отриманого електроліту електрохімічним рафінуванням. Під час процедури гальванічної переробки в результаті електрохімічної реакції на катоді з розчину осаджується свинець. До недоліків електрохімічних технологій переробки відноситься низька продуктивність процесу рафінування.

Варто зазначити, що відходи свинцево-кислотних акумуляторів, а також свинцевий брухт від операцій з розбивання акумуляторів класифікуються як небезпечні відходи відповідно до Базельської конвенції. Навпаки, свинцеві злитки (сирі та рафіновані) не підпадають під це визначення та не вимагають повідомлення згідно з процедурами Базельської конвенції при транспортуванні через кордон.

З 2012 року в м. Дніпро почав працювати перший в Україні завод ТОВ «Рекуперація свинцю» з безвідходної переробки використаних акумуляторних батарей. Проектна потужність підприємства дозволяє здійснювати відновлювальну переробку 3 млн акумуляторних батарей на рік. На заводі використовується закритий технологічний цикл, що дозволяє переробляти всі складові акумуляторних батарей, в тому числі і електроліт. Свинець, який отримують в процесі переробки акумуляторів на виробничих потужностях заводу, використовується при виготовленні нових акумуляторів, кристалічний сульфат натрію - при виготовленні скла, шлак - у будівництві доріг.

8.4. Рециклінгова переробка літійових акумуляторів

Літій-іонні акумулятори - це тип акумуляторних батарей, в яких використовуються іони літію як основний носій заряду. Літій – іонні акумулятори є найбільш поширеним типом акумуляторів в таких пристроях як стільникові телефони, ноутбуки, цифрові фотоапарати, відеокамери і електромобілі.

Літій-іонні акумулятори складаються з трьох основних компонентів: анода, катода та електроліту. Анод і катод є електродами (клемами батареї), а електроліт - середовищем, яке забезпечує протікання електричного струму між ними. Літій-іонний акумулятор складається з електродів (катодного матеріалу на алюмінієвій фользі і анодного матеріалу на мідній фользі), розділених пористим сепаратором, просоченим електролітом. Анод виготовляється з графіту, а катод зазвичай виготовляється з оксиду металу, наприклад оксиду літію, кобальту, фосфату літію. Роль електроліту виконує гель, що містить солі літію, такі як гексафторфосфат літію, перхлорат літію або тетрафторборат літію. Пакет електродів поміщається в герметичний корпус.

Різні типи літєвих гальванічних елементів мають відміни за складом своїх внутрішніх компонентів. В даний час в масовому виробництві літій-іонних акумуляторів використовуються три класи катодних матеріалів: кобальтат літію LiCoO_2 (позначення LCO); літій-марганцева шпінель LiMn_2O_4 (NMC); літій-феррофосфат LiFePO_4 (LFP). Хімічні речовини, що містять кобальт, мають вищу щільність енергії порівняно з іншими Li-батареями, але є дорогими. Вони переважно використовуються в смартфонах та електромобілях, де вага та щільність енергії мають підвищене значення. Багато виробників акумуляторів все частіше переходять на різні склади, багаті нікелем, щоб зменшити залежність від найбільш дефіцитного елементу - кобальту.

Небезпека даних літєвих джерел живлення полягає в їх потенційній вибухонебезпечності. Літій-іонні батареї, які отримують механічні пошкодження при зберіганні, при попаданні вологи можуть розігріватися до температури 450°C . Цей процес може викликати вибух або стати джерелом пожежі.

Акумуляторна літій-іонна батарея є складною конструкцією, яка складається з великої кількості пакетних елементів, згрупованих разом у модулі, які, у свою чергу, встановлюються у великий корпус блоку. Всі елементи батареї з'єднуються за певною схемою, а роботу пакету елементів регулює електронна система керування батареєю. Конфігурація, розмір і форма елементів, модулів і пакетів відрізняються у кожного виробника і навіть від моделі до моделі в межах одного виробництва. Наприклад, фірма Tesla використовує циліндричні елементи, подібні до тих, що широко використовуються в багатьох електронних пристроях.



Рисунок 97 - Акумулятор автомобіля моделі Chevrolet Bolt

Небезпека поводження з літійєвими акумуляторами полягає в їх потенційній вибухонебезпечності. Літій-іонні батареї, які отримали механічні пошкодження, при попаданні вологи можуть розігріватися до температури 450°C. Цей процес може викликати вибух або стати джерелом пожежі.

Розширення ринку електромобілів помітно вплинуло не лише на автомобільну промисловість, але й на ринок металів. Електромобілі потребують більш широкого спектру матеріалів для двигунів і акумуляторів порівняно зі звичайними автомобілями. Літій, нікель, кобальт, марганець і графіт мають вирішальне значення для роботи тягових акумуляторів, їх довговічності та щільності енергії. Акумуляторні батареї для електромобілів стали найбільшими споживачами літію. За прогнозами аналітиків, середні темпи зростання ринку літійєвих акумуляторів у період з 2021 по 2027 рік становитимуть не менше 18% на рік. Також зростає використання нікелю. Продажі електромобілів стрімко зростають, і ріст попиту на корисні копалини, які використовуються в електромобілях, створює виклик для гірничодобувної промисловості.



Рисунок 98 - Типове розташування літій-іонних елементів для акумуляторної батареї, що використовується на сонячних електростанціях

Сонячні електростанції також обов'язково використовують акумуляторні батареї, які дозволяють накопичувати для нічного споживання електроенергію, яка була вироблена вдень. Для великих сонячних електростанцій необхідна ємність акумуляторів може складати до 1 МВт·год. До недавнього часу на сонячних електростанціях переважно використовували

свинцево-кислотні акумулятори, які є широко доступними, надійними та дешевими. В останні роки розвиток технологій літій-іонних акумуляторів, а також падіння цін на них, спричинили ситуацію, коли почали розширено використовувати літій-іонні акумулятори. Ціни на Li-батареї швидко змінюються і в середньому за останні роки ціни знижувалися приблизно на 20% щорічно.

На сьогодні основна частка літій-іонних акумуляторів надходить у відходи від побутової електроніки, а не від електромобілів з тієї причини, що більшість електромобілів ще не відпрацювали гарантійний термін. У той час як традиційні свинцево-кислотні акумулятори, що використовуються у звичайних автомобілях, ефективно переробляють у вторинну сировину, про літій-іонні батареї цього сказати не можна. Батарея електрокарів – більша й важча, вона складається з кількох сотень окремих літій-іонних елементів, кожен з яких доцільно розбирати окремо.

Електромобільні акумулятори можуть працювати до 20 років, обсяги утворених від них відходів будуть величезні, оскільки очікується, що продажі електромобілів з року в рік будуть стрімко зростати. Один мільйон електромобілів, проданих по всьому світу в 2017 році, в кінцевому підсумку призведе до 250000 т відходів акумуляторних батарей, з якими світовій інфраструктурі рециклінгу буде важко впоратися. В Європі на сьогоднішній день переробляється лише 5% відпрацьованих літій-іонних акумуляторів. Вартість переробки літій-іонних акумуляторів, яка сьогодні наближається до 1 євро за 1 кг, що приблизно в три рази вище, ніж вартість одержуваних після утилізації матеріалів.

Стрімке розширення використання викликає потребу розробки технологій, які б забезпечили ресурсоефективну та економічно доцільну систему переробки літій-іонних батарей і, таким чином, забезпечила майбутні поставки матеріалів для компонентів. Переробка відпрацьованих автомобільних літій-іонних акумуляторів для відновлення дефіцитних матеріалів є глобальною довгостроковою стратегією. Протягом терміну служби акумуляторної батареї іони літію хімічно зв'язуються, що в подальшому призводить до зменшення ємності акумулятора. Очікується, що ресурс батареї складатиме приблизно 10 років для двигунів і, можливо, ще 5–10 років для використання в системах другого терміну служби, наприклад, для вирівнювання комунального навантаження електромереж. Лавиноподібна кількість батарей має надійти для переробки через 10–20 років після виходу на масовий ринок. Очікується, що кількість літій – іонних батарей з вичерпаним терміном служби у всьому світі в 2030 році досягне 820 тис т. Тим

часом очікується, що попит продовжуватиме стрімко зростати, вимагаючи набагато більше матеріалу, ніж може забезпечити переробка.

Літієві батареї перед початком переробки насамперед мають бути повністю розряджені та замкнуті накоротко. Розрядження забезпечує безпечну подальшу переробку та зменшує ризик виникнення неконтрольованого теплоутворення.

Процедура переробки літій – іонних акумуляторів відбувається в кілька етапів:

- демонтаж корпусу в окремому сухому приміщенні;
- розрядка від залишкової електроенергії шляхом замочування батарей у розсолі, що є найдешевшим методом (заряджений акумулятор може вибухнути під час подрібнення);
- витягання вмісту акумулятора з корпусу;
- вимивання електроліту і солей літію;
- відокремлення анодних сегментів від катодних;
- очищення пластин від продуктів адгезії;
- переплавлення отриманих металів - міді та алюмінію;
- подрібнення і переробка корпусу.

Передові технології переробки літієвих акумуляторів безперервно розробляються та вдосконалюються, щоб підвищити ефективність процесу, що в підсумку зменшує вплив переробки акумуляторів електромобілів на навколишнє середовище. Зараз в США, Європі та Китаї вже створено ряд вузькоспеціалізованих підприємств, що займаються рециклінгом літієвих джерел живлення. Переробка літій-іонних акумуляторних батарей здійснюється спеціалізованими підприємствами, в розпорядженні яких є відповідне обладнання. На сучасних заводах, що переробляють літієві акумулятори, їх спочатку подрібнюють, унаслідок чого виникає порошкоподібна суміш «чорна маса» з усіх використовуваних матеріалів. Подрібнення літієвих батарей здійснюють в атмосфері азоту, щоб уникнути спалаху. На цьому етапі утворюється так звана «чорна маса», яка включає такі цінні матеріали, як літій, нікель та кобальт. Подрібнення є важливим етапом процесу механічної переробки, оскільки воно перетворює елементи літій – іонні акумулятори або модулі на тонкий сипкий матеріал, який зручно зберігати і транспортувати. Цей процес відокремлює активні матеріали від корпусних компонентів. Сухе подрібнення переважно проводять в інертній атмосфері. Використання інертних газів знижує ризик виникнення вибухів і пожеж. Мокре подрібнення проводять у водному середовищі, збагаченому активними матеріалами та електролітом. Для подальших процесів переробки отримана сировина підлягає сушінню. Сушіння може здійснюватися шляхом

вакуумування, контактного сушіння, конвекційного сушіння та/або інфрачервоного сушіння.

Застосовують різні методи поділу подрібненої маси на анодну та катодну фракції, включаючи пінну флотацію та гравітаційне розділення з використанням щільних рідин. Розділення подрібненого матеріалу за щільністю використовується для відділення частинок низької щільності від частинок високої щільності. Пряма переробка відокремлює різні компоненти «чорної маси» за допомогою фізичних процесів, таких як гравітаційне розділення, яке не спричиняє хімічні зміни. Розділення за щільністю здійснюють за допомогою розподільних відсадок у рідині середньої щільності, а також пінної флотації або шляхом поділу у потоці повітря. Така обробка робить можливим відновлення матеріалу катода, який можна повторно використовувати з мінімальною обробкою. Завдяки видаленню частинок графіту з чорної маси вторинний матеріал стає більш однорідним і менш об'ємним, що є перевагою для наступних гідрометалургійних процесів.

На послідовному етапі процесу повторної переробки проводиться просіювання подрібненої маси, подрібнений матеріал акумулятора класифікується відповідно до розміру частинок.

Більшість підприємств, які сьогодні займаються переробкою літій-іонних батарей застосовують варіанти гідрометалургійних процесів. Гідрометалургія використовує кислоти для розчинення іонів із твердих речовин, утворюючи суміш іонних форм у розчині. Їх відновлюють електролітичним осадженням або осадженням при реагуванні з іншими відновленими матеріалами для отримання нового катодного матеріалу. Вилуговування використовується для перетворення металів із катодного матеріалу на іони у водному розчині за допомогою кислоти, щоб метали могли бути відновлені в наступних процесах за допомогою ряду хімічних методів (наприклад, осадження, екстракція розчинником). Екстракція розчинником - це метод розділення, у якому використовується різна розчинність речовин у двох незмішуваних розчинниках. Кілька етапів екстракції розчинником, як правило, необхідні для розділення іонів кобальту та нікелю, які мають схожі властивості, тому їх важко відокремити один від одного. Найпоширенішим процесом відділення солей металів з літій-іонних акумуляторів є кристалізація в процесі випаровування. Отримані після екстракції розчинником солі при нагріванні до температури 350°C швидко утворюють кристали сульфатів Ni (NiSO_4), Co (CoSO_4) і Mn (MnSO_4).

Із цієї суміші складові метали виділяють шляхом переплаву у плавильному агрегаті (пірометалургія) або розчинення у кислоті (гідрометалургія). Не зважаючи на те, що виробничі технології можуть легко відновлювати багато

металів, вони не можуть безпосередньо відновити чистий літій, який потрапляє у змішаний побічний продукт. Процес переробки літій-іонних акумуляторів, поки не дозволяє виділяти літій, який залишається в складі «побічного продукту». Для отримання літію з цих залишкових хімічних з'єднань потрібний подальший розвиток технологій і значні інвестиції. Є позитивні результати застосування електродіалізу для відділення солей літію - це електромембранний процес розділення, який використовує іонообмінні мембрани та різницю електричних потенціалів як рушійну силу для транспортування іонів солей. Дана технологія забезпечує ефективну та сталу переробку для відновлення ключових матеріалів з усіх типів літій-іонних акумуляторів.

Концерн Volkswagen відкрив у німецькому місті Зальцгіттер перший завод з інноваційної переробки відпрацьованих акумуляторів, де отримують сировину для виробництва нових акумуляторів: мідь, алюміній, літій, марганець, кобальт і графіт. Основним завданням спеціального електролізера є перетворення Li_2SO_4 з вихідного розчину, що містить сліди різних іонів, в товарний Li_2CO_3 .

Пірометалургія використовує високотемпературні процеси при температурі 1200...1450°C, у яких такі перехідні метали, як Co та Ni, відновлюються з оксидів у метали та концентруються у змішаному металевому сплаві. Інші матеріали, включаючи алюміній і літій, окислюються в процесі плавлення, вносячи в процес плавлення значну частину енергії за рахунок окислення. Оксиди алюмінію та літію потрапляють до складу шлаку і зазвичай не відновлюються.

Термічна плазма використовується як у гідрометалургійних, так і в пірометалургійних хімічних процесах для вилучення важких металів завдяки своїй високій щільності енергії та здатності підвищувати реакційну здатність. При проведенні пірометалургічних процесів в піч з плазмовим нагрівом подаються цілі клітини з літій - іонними елементами, мідь переходить у змішаний сплав, а оксиди алюмінію і літію переходять у шлак. Їх у подальшому можна відновити шляхом викугування, але витрати енергії роблять не доцільним таку переробку. Полімерні сепаратори (тонка пориста плівка) згорають у плавильних печах. Матеріал анода (графіт) є менш цінним, ніж катодний матеріал, але його доцільно відокремити. При використанні для плавлення електродугової печі більша частина літію переходить у пиловидні з'єднання, з яких у подальшому можливо відновити літій.

Порівняно з процесом подрібнення, попереднє розбирання батарей полегшує розділення та покращує якість отриманих вторинних матеріалів. Глибоке розбирання може дозволяє досягнути економії коштів на всьому циклі переробки, оскільки це призводить до утворення потоків продуктів вищої

чистоти та більшого виходу продуктів, а також до спрощення технологічних схем подальшої переробки. Автоматизація процесу розбирання за допомогою роботів дозволяє зменшити для працівників ризики враження високою напругою та витікання електролітів, але в даний час все виникає багато проблем через відсутність стандартів на проектування акумуляторних систем. Велика кількість варіантів конструкцій літій – іонних акумуляторних батарей ускладнює автоматизацію процесу розбирання.

Оскільки ціна на літій протягом тривалого часу була значно нижчою за ціну на нікель і кобальт, переробка зосереджено насамперед на цих двох елементах катода та на легко відновлюваних матеріалах корпусів батарей, таких як сталь та алюміній. На сьогодні головною метою переробки літій-іонних акумуляторів є відновлення кобальту через його високу цінність. Однак, оскільки вміст кобальту в сучасних батареях зменшується, а в Європейському Союзі набувають чинності обов'язкові правила переробки, які вимагають відновлення понад 50% матеріалів, інтерес до відновлення решти матеріалів зростає. Відновлення кобальту з катода шляхом плавлення або вилуговування дозволяє відновити близько 70% вартості матеріалів катода, цей відсоток різко падає для інших за хімічним складом катодів, що містять менше кобальту.

З 2027 року технологічні процеси переробки повинні досягати рівня відновлення 50% літію, 90% кобальту, 90% нікелю та 90% міді. До 2031 року планується відновлювати 80% літію, у той час як мідь, нікель і кобальт повинні досягати рівня відновлення 95%. Незважаючи на те, що катодні матеріали становлять лише трохи менше 20% від загальної ваги матеріалу, на них припадає майже 70% усієї матеріальної цінності катодів літійових акумуляторів. Тому переробка батарей зосереджена насамперед на відновленні катодних матеріалів.

8.5.Відновлення електронних та електротехнічних відходів

З розвитком технологічного прогресу все більше типів електронного та електротехнічного обладнання знаходять поширення на ринку, а поводження з їх різноманітними відходами стало глобальною екологічною проблемою. Інтенсивне збільшення обсягу електронних відходів є наслідком швидкого розвитку глобального інформаційного суспільства. З кожним роком насиченість життя людей електронною технікою зростає, знижується її вартість. У багатьох людей є більше ніж один пристрій на базі інформаційно-комунікаційних технологій, а цикли заміни мобільних телефонів, комп'ютерів, інших ІТ - пристроїв і устаткування стають все коротшими. Розвиток Інтернету та мобільних мереж, часте оновлення поколінь електронної техніки

призводить до зростання кількості електронних приладів та, як наслідок, електронних відходів. Якщо комп'ютери, випущені у 1992 р. вважалися морально застарілим через 4,5 роки, то комп'ютери, зібрані у 2015 р. стали визнавати застарілими вже через 2 роки. Кожні шість місяців на ринок поступають більш досконалі моделі, а середньостатистичний житель Європи повністю або частково оновлює свій комп'ютер кожні 2..3 роки. Щороку у Великій Британії оновлюється 15 мільйонів мобільних телефонів. Відповідно, в Європі щорічно утворюється приблизно 16,2 кг електронних відходів на людину.

Електронні відходи – це особливий потік відходів, поводження з якими регламентується європейським законодавством. Термін «Електронні відходи» охоплює п'ять категорій:

- 1.Теплорегулююче обладнання, яке включає холодильники, морозилки, кондиціонери та теплові насоси;
- 2.Екрани та монітори, яке включає телевізори, монітори, портативні комп'ютери, ноутбуки і планшетні комп'ютери;
- 3.Великогабаритне обладнання, яке включає пральні машини, посудомийні машини, електричні печі, великогабаритне обладнання для друку, копіювальне обладнання та фотоелектричні панелі;
- 4.Малогабаритне обладнання, яке включає пилососи, мікрохвильові печі, вентилятори, тостери, електричні чайники, електричні бритви, ваги, калькулятори, радіоприлади, електричні та електронні іграшки, малогабаритні електричні та електронні інструменти, малогабаритні медичні пристрої тощо;
- 5.Малогабаритне обладнання для інформаційних технологій та електрозв'язку, яке включає мобільні телефони, глобальні системи визначення місцезнаходження (GPS), персональні комп'ютери, кишенькові калькулятори, принтери тощо.

До новітніх видів електронних відходів відносять морально чи фізично застарілу комп'ютерну техніку, радіопристрої, телекомунікаційне обладнання, а також їх деталі та комплектуючі, які не можливо повторно використовувати. Такі електронні відходи є джерелом цінних елементів або матеріалів, які доцільно піддавати рециклінговому відновленню.

У кожного виду електронних відходів, що підпадає під одну з цих п'яти категорій, є свій термін служби, свій обсяг відходів, своя економічна цінність, а також свій потенційний вплив на навколишнє середовище і здоров'я людини при неналежній утилізації. Методи збору, логістичні процеси і технології утилізації відрізняються для кожної категорії електронних відходів. Електронний брутто є динамічно зростаючим видом відходів, відповідно, розробці ефективних технологій його відновлення приділяється значна увага.

Через складність і швидкий розвиток технологій відходи електричного та електронного обладнання важко згрупувати у однорідні технологічні категорії для відновлення. Часто такі відходи змішуються із фракціями муніципальних відходів, які спрямовуються на звалища без проведення будь-якого відновлення чи рециклінгу.

Плани з досягнення циркулярної економіки стосовно електроніки та комп'ютерної техніки передбачають:

- запровадження ініціативи для циркулярної електроніки з метою подовження строків служби товарів;
- застосування додаткових регуляторних заходів для електроніки та комп'ютерної техніки, включаючи мобільні телефони, планшети та ноутбуки;
- встановлення пріоритетом «право на ремонт»;
- створення в ЄС схеми оборотності або повернення старих мобільних телефонів, планшетів і зарядних пристроїв;
- перегляд рекомендацій ЄС щодо небезпечних речовин.

Щорічно в розвинених країнах світу утворюється близько 50 млн т електронних відходів, що становить до 5% загальної кількості відходів. Самий великий об'єм електронних відходів за даними 2016 року генерує азіатський регіон (41%), за ним слідує Європа (28%), Північна та Південна Америка (25%). Відповідно, лише у США у 2013 р. на звалища було відправлено 250 млн. персональних комп'ютерів. Щорічно в Німеччині виводиться з експлуатації і передається на відновлення 2,2 млн. комп'ютерів, принтерів і моніторів. У 2018 році світовий обсяг електронних відходів досяг 48,5 млн. т., що складає понад 6 кілограмів на одного жителя нашої планети. За даними експертів, на кожного жителя Євросоюзу утворюється щорічно по 14 кг електронних відходів. До них додається застаріла електрична побутова техніка. Типовий металевий брухт електронних відходів складається з міді (20%), заліза (8%), олова (4%), нікелю (2%), свинцю (2%), цинку (1%), срібла (0,02%), золота (0,1%) і паладію (0,005%). Загальна вартість всіх сировинних матеріалів, які наявні в електронних відходах, в 2016 р. оцінювалася близько до 55 млрд. євро. З іншої сторони, токсичні хімічні елементи, що містяться у відходах електроніки, без забезпечення правильного поводження можуть завдавати непоправної шкоди навколишньому середовищу.

Ціни продажу нових електронних пристроїв слабо відображають вартість матеріалів, які входять до їх складу. У зв'язку з розвитком мініатюризації електронних пристроїв і впровадженням нових сплавів, використання дорогоцінних металів у виробництві одиниці техніки знижується. Наприклад, в новому мобільному телефоні вагою 90 гр з ціною близько 200 євро, вартість цінних металів і пластмас, що містяться у його складі становить лише 2 євро.

До 75% внутрішньої цінності електронних відходів визначається вмістом золота, міді та паладію. Переробка та відновлення одного мільйона мобільних телефонів призведе до отримання лише 24 кг золота, 250 кг срібла, 9 кг паладію та 9000 кг міді. Кількість дорогоцінних металів у електронному обладнанні має вирішальне значення для економічної доцільності процесів переробки та відновлення. В той же час в комп'ютерній та телекомунікаційній техніці поступово зростає вміст рідкоземельних металів.



Рисунок 99 - Звалище електронних відходів

В економічно розвинутих країнах забруднення оточуючого середовища електронним бруктом попереджують шляхом зобов'язання імпортерів і виробників техніки приймати у споживачів на утилізацію продукцію після закінчення терміну її служби. Самий високий відсоток збору електронних відходів має місце у Європі (40%), де діє директива № 2012/19 / ЄС Європейського парламенту «Про відходи електричного та електронного обладнання»). Згідно цієї Директиви усі європейські виробники зобов'язані безкоштовно приймати для рециклінгу свою електронну продукцію. Починаючи з 2019 року, мінімальний показник збирання, якого необхідно досягати щорічно, становить 65% середньої маси електричного та електронного обладнання, введеного в обіг у відповідній державі протягом трьох попередніх років. У 2018 році Держави - члени Міжнародного союзу електрозв'язку встановили глобальний цільовий показник по електронним

відходам на 2023 рік - збільшити глобальний коефіцієнт рециклінгу матеріалів електронних відходів до 30%.

На сучасному етапі для утилізації відходів електронного та електричного обладнання відбувається створення нових високоефективних виробництв із застосуванням найсучасніших технологій по переробці і вторинному використанню, переважно на підприємствах, які виробляють цю продукцію. Найбільші виробники мобільних телефонів - Nokia, Sony Ericsson, Моторола, Samsung, Siemens, Philips і LG - підписали офіційний документ - Базельську конвенцію, виходячи з якої вони зобов'язуються приймати від користувачів старі, не потрібні мобільні телефонні апарати і «утилізувати їх відповідно до законів про охорону навколишнього середовища». Фірма Nokia, наприклад, має пункти збору своїх мобільних телефонів більш ніж в 80 країнах світу. Додатково до цього в країнах ЄС діє директива з електротехніки та електронного лому, яка зобов'язує продавців техніки і дилерів стільникового зв'язку займатися прийомом відпрацьованих електроприладів.

Таблиця 21

Наявність металів у складі різних видів електронного та електротехнічного обладнання

Електричне та електронне обладнання	Дорогоцінні метали
Сонячні панелі	Кадмій, телур, індій і галій
Рідкокристалічні дисплеї, катоди електронно - променевих трубок і світловипромінюючих діодів	Індій, галій і германій
Друковані плати	Золото, срібло, платина, мідь, алюміній, залізо, сурма, миш'як, ртуть і свинець
Ноутбуки та планшети	Золото, срібло, паладій і мідь
Жорсткі диски	Неодим, празеодим, алюміній, залізо, мідь, олово, нікель, срібло, золото і паладій
Мобільні телефони та смартфони	Мідь, срібло, золото, паладій, літій, алюміній, кобальт, свинець, нікель і цинк

На відміну від інших видів відходів, електронні відходи складаються з багатьох елементів, які часто вбудовані один в одний і поєднують різні метали, пластик, скло тощо. Електронний та електротехнічний брухт може містити у своєму складі: канцерогенні важкі метали (ртуть, кадмій, свинець, хром); токсичні сполуки алюмінію, кремнію, миш'яку, ніобію, ітрію, титану, кобальту, ванадію, танталу, берилію, селену (табл.22). Також ці відходи можуть містити

галогенізовані речовини - хлорфторкарбони, фреони, поліхлоровані біфеніли, полівінілхлорид і бромовмістні антипірени, азбест.

Таблиця 22

Токсичні речовини, які входять до складу електронних та електротехнічних відходів

Хімічний елемент, матеріал	Складові, до складу яких входять хімічні елементи
Сурма	Скло електронно – променевих трубок, пластикові деталі корпусів комп'ютерів, а також входить до складу припоїв і кабелів
Миш'як	Арсенід галію використовується у світловипромінювальних діодах діоди
Барій	Газопоглинаюча речовина в люмінесцентних лампах та у електровакуумних приладах
Берилій	Материнські плати, реле і затискачі
Бром	Бромовані вогнезахисні речовини, які використовуються для зменшення горючості в друкованих платах та пластикових корпусах та ізоляція кабелів
Кадмій	Нікель – кадмієві акумулятори, напівпровідникові мікросхеми, інфрачервоні детектори, чорнила та тонери для принтерів
Хлорфторуглеводні (фреони)	Холодильні агрегати та теплоізоляційна піна
Хром шестивалентний	Пластикові корпуси комп'ютерів, жорсткі диски, антикорозійні покриття
Свинець	Припой, скло електронно – променевих трубок, свинцево-кислотні акумулятори, кабелі
Ртуть	Батареї, лампи підсвічування або плоскі панельні дисплеї, вимикачі та термостати, люмінісцентні лампи
Поліхлоровані біфеніли (ПХБ)	Електроізолюючі рідини в конденсаторах, трансформаторах
Полівінілхлорид (ПВХ)	Монітори, клавіатури, кабелі та корпуси комп'ютерів
Селен	Старі фотокопіювальні машини

Для охорони від забруднень навколишнього середовища, електронні відходи обов'язково потрібно направляти на переробку та відновлення. Тенденцією останніх років є вкладання значних інвестицій у розробку нових електронних продуктів з мінімальним використанням токсичних металів та їх

сполук, дорогоцінних металів, а також пластикових компонентів з обмеженим викидом токсичних побічних продуктів при спалюванні. Головна складність їх відновлення полягає у наявності комплексу речовин, що вимагають різних методів переробки. У більшості випадків електронні електронні відходи містять більший відсоток ряду металів у порівнянні з їх вмістом у рудній сировині. Серед способів позбавлення від електронних і комп'ютерних відходів найменш ефективним є захоронення на полігонах. У вологому середовищі небезпечні метали з електронного брухту перетворюються в розчинні сполуки і стають отрутами. Наприклад, монітори, плати, роз'єми і схеми містять миш'як, свинець і ртуть, полімерна ізоляція дротів здатні виділяти при розкладанні хлор і діоксини, а тонер картриджів – ціанідні сполуки, що створює серйозні загрози здоров'ю населення та стану навколишнього середовища.

Знайшли розповсюдження чотири основних способи переробки електронного брухту:

- фізичний (багаторазове дроблення і сепарація отриманої суміші в гідроциклонах і методами флотації);
- гідрометалургійний або використання електролітичних методів;
- механічний в поєднанні з гідрометалургійною переробкою концентрату;
- пірометалургійна переробка подрібнених відходів.

Відновлювальна переробка побутової техніки, комп'ютерів і електроніки передбачає багатоступінчастий процес, який включає етапи складування, сортування і переробки електронного брухту, попередні етапу безпосереднього вилучення дорогоцінних металів. Технологічні процеси сучасної переробки електронного брухту, як правило, включають в себе ручне диференційоване оброблення, механічне подрібнення, збагачення отриманих концентратів і послідовна переробка їх у вторинні матеріали. Диференційована ручна обробка, передбачає розбирання блоків, вузлів виробів з максимальним використанням інструменту для вилучення навісного монтажу та отримання різних концентратів. Продуктивність таких робіт за зміну одним працівником не перевищує 150...200 кг, що є основним стримуючим фактором рециклінгу. На сьогодні розвинені країни, як правило, обмежено переробляють електронні відходи через відсутність спеціалізовано обладнання, високу вартість робочої сили та суворі екологічні норми, і цей потік відходів захоронюється на звалищах або вивозиться до країн, що розвиваються.

Першим етапом відновлювальної переробки електронної техніки є видалення небезпечних компонентів ручним способом - кінескопів з моніторів і телевізорів, акумуляторних батарей з ноутбуків, екранів з інших пристроїв.

Дрібні вузли проходять ручне і механізоване розділення з відділенням окремих виробів (трансформаторів, конденсаторів тощо), а також деталей, що містять дорогоцінні метали, брухт із сплавів кольорових і чорних металів. Видалення з електронних відходів компонентів, частин та/або групи частин, прикріплених за допомогою кріплення гвинтами та заклепками, вставляння, зварювання, зв'язування, обгортання, покриття та покриття систематичним чином, називається демонтажем. Розпаювання відбувається шляхом нагрівання припою вище температури плавлення та відділення окремих елементів багаторазового використання для повторного використання. Найчастіше з електронних плат виокремлюють найбільш цінні радіодеталі (транзистори, діоди, платино-паладієві конденсатори, мікросхеми з зовнішньою позолотою). При цьому застосовують технології переробки як змішаного брухту, так і його окремих вузлів (наприклад, друкованих плат) і окремих радіоелектронних елементів. Демонтаж також проводиться для видалення небезпечних компонентів, щоб мінімізувати кількість токсичних матеріалів у потоці переробки та відокремити частини, які можна використовувати повторно.

На першому етапі відпрацьовані мобільні телефони розділяються на три складові - акумулятор, пластиковий корпус і друкована плата. Акумулятори через великий вміст токсичних речовин утилізуються на спеціалізованих підприємствах з виробництва акумуляторних батарей. Друкована плата, яка містить у своєму складі дорогоцінні метали, від'єднується від елементів корпусу і передається на подрібнення. Подрібнення здійснюють в ножових або в молоткових дробарках (млинах), при цьому текстолітову (склотекстолітову) підкладку, яка містить кольорові метали з залишками дорогоцінних матеріалів направляють на випал в випалювальну піч з системою допалювання і газоочистки.

Методи фізичного розділення проводяться для розділення металеві та неметалічної фракцій без будь-яких втрат цінних металів. Практикуються наступні методи фізичного поділу: поділ за щільністю або поділ на основі форми частинок, поділ в електростатичному полі та за допомогою вихрових струмів, і магнітна сепарація.

Розроблено ряд технологій й устаткування для механізованого вилучення кольорових і благородних металів з вузлів застарілої комп'ютерної техніки: панелей, друкованих плат, сполучних елементів тощо. Лом попередньо подрібнюють в двовалковій дробарці або в молотковому млині. Однорідність за геометричними розмірами подрібнених частинок електронного брухту забезпечують ножові подрібнювачі. Достатню однорідність подрібнення також забезпечують шредерні установки при багаторазовому подрібненні.

Для більш тонкого подрібнення матеріал, з метою підвищення крихкості полімерних складових, застосовують кріогенне охолодження рідким азотом. Охолоджений матеріал подрібнюється в молотковій дробарці до фракції менше 3 мм, що дозволяє більш точно розділити суміші на кольорові метали і пластмасу.

Подрібнені електронні відходи спочатку сортуються в окремі потоки продуктів з брухту заліза, фракцій кольорових металів, компонентів корпусів комп'ютерів і телевізорів (дерево та пластик), гранулятів із змішаних пластмас, електронно-променевих трубок, друкованих плат, мідних кабелів, компонентів, що містять органічні забруднювачі, таких як батареї та конденсатори та дрібні пилові частки.

Феромагнітні метали виділяються за допомогою магнітного сепаратора, легка фракція - за допомогою повітряної сепарації. Магнітна сепарація призводить до відновлення приблизно від 90% до 95% чорного металу з електронних відходів. Подальша обробка немагнітної фракції за допомогою електростатичної або вихорострумової сепарації дозволяє розділити неметали і метали.

Для відділення від подрібненої маси немагнітних металів застосовують вихорострумові сепаратори кольорових металів (рис.100). Вихорострумовий сепаратор являє собою систему з двох механізмів, встановлених на одній рамі - віброживильника і стрічкового транспортера з вбудованим магнітним ротором. У вихорострумовому сепараторі використовується магнітний ротор змінної полярності, що швидко обертається всередині неметалевого барабана. Коли подрібнені частинки кольорового металу розміром 5 – 15 мм проходять над барабаном, змінне магнітне поле створює в них вихрові струми, перпендикулярні магнітному потоку змінного електромагнітного поля. Ці вихрові струми, в свою чергу, породжують магнітне поле, протилежне полю, створеному ротором, яке виштовхує частинки провідника через роздільник. Решту матеріалу - пластик, скло та інші сухі вторинні матеріали – проходять повз ротор і падають під дією власної ваги, окремо від виштовхнутих металевих частинок. Відповідно, вихрові струми впливають на траєкторію польоту кольорових металів, які скидаються з конвейерної стрічки. Відокремлення за допомогою вихрових струмів призводить до відновлення понад 90 % кольорових металів із подрібнених електронних відходів.

Гравітаційне розділення вважається ефективним фізичним варіантом відділення подрібнених неметалів від металів за різною щільністю. В'язкі рідини, такі як тетрабромметан, можуть служити середовищем для розділення, де метали можуть бути відокремлені від пластмаси чи кераміки. Методи розділення за щільністю застосовуються для переробки подрібнених

пластмасових електронних відходів, які містять різні види пластмас із щільністю менше $2,0 \text{ г/см}^3$; легкі метали, переважно Al, скла, щільністю $2,7 \text{ г/см}^3$.

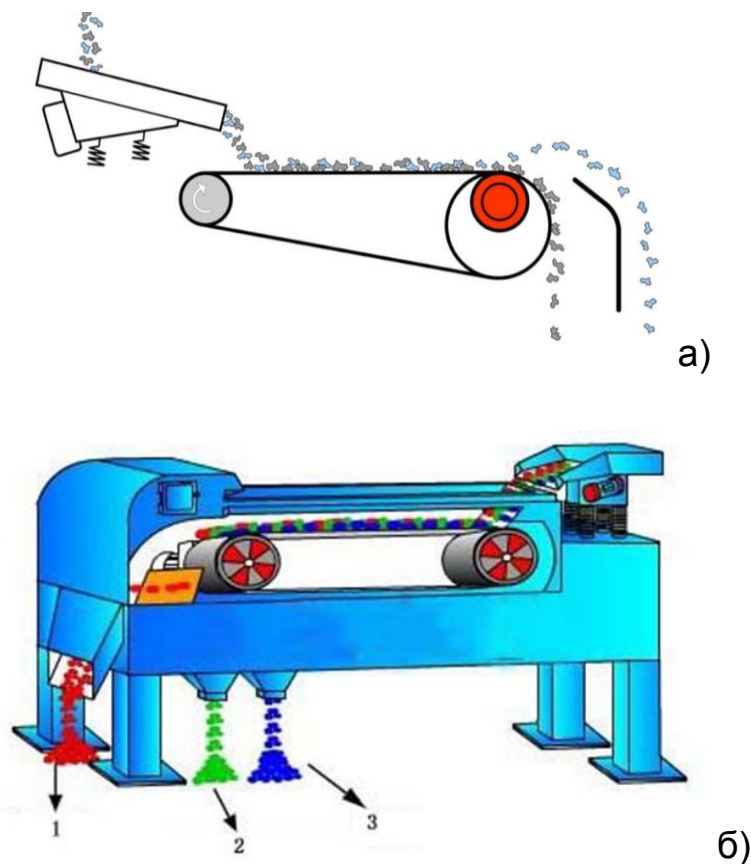


Рисунок 100 - Вихрострумний сепаратор: а) схема роботи; б) зовнішній вигляд установки: 1- немагнітний електропровідний металевий матеріал; 2- неметалеві матеріали; 3 -пил

Якісне сортування електронних відходів досягається при використанні установок ідентифікації з використанням сенсорів. Роботизоване сортування електронних відходів розділяється на три етапи: сприйняття, висновок і маніпулювання. В основу таких установок покладено датчики для збору різноманітних характеристик відходів, комп'ютерну обробку даних для ідентифікації відходів і подальше використання машин або робототехніки для сортування. Початкова фаза методу сортування зосереджена на ідентифікації відходів, включаючи вибір відповідних датчиків, пристосованих для фіксації основних характеристик конкретних складових відходів.

Спочатку дані, які отримані від сенсорів, надходять до блоку обробки з моделлю штучного інтелекту для ідентифікації об'єкта. Потім обчислюються відповідні місця захоплення, і команди управління надсилаються роботу. Відходи розділяються за допомогою роботизованого обладнання, яке має

відповідний алгоритм, здатний маневрувати кінцевим захватом роботизованої системи з точною орієнтацією. Захватний пристрій має відібрати зі стрічки конвеєра цільовий відхідний матеріал та точно розміщувати його у визначеному місці. Захвати та присоски є двома основними типами робочих органів, які використовуються для обробки відходів (рис.101).

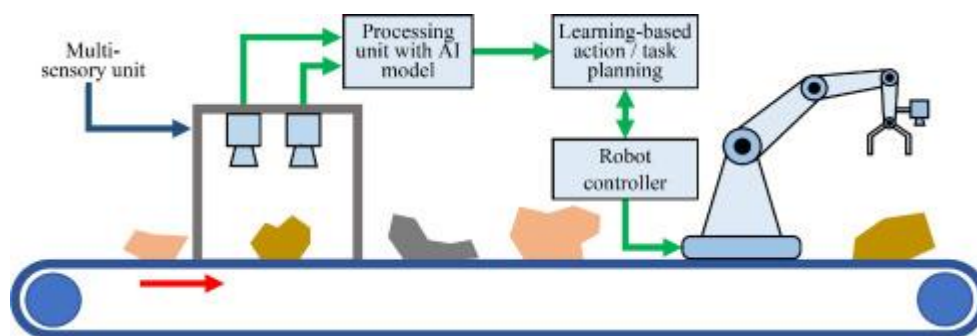


Рисунок 101 - Принципова схема системи роботизованого сортування.

Проведення масштабного ручного розбирання електронних відходів є не вигідним у промислово-розвинених країнах, оскільки організація їх роздільного збору є високозатратною, а ефективна рециклінгова переробка вимагає значних інвестицій. Однак, механізована переробка електронних відходів не в змозі витримати конкуренцію в ефективності з вилученням корисних елементів неформальними переробниками з слаборозвинутих країн.

У світовому масштабі від 50 до 80 % електронних відходів експортується в Азію та Африку. Відсутність екологічного контролю в цих країнах та екологічних норми для галузі переробки електронних відходів дозволили економічно ефективно проводити утилізацію примітивними методами, переважно випалюванням. Масове спалювання електронного брухту у слаборозвинутих країнах з метою швидкого відділення металевих складових наносить надзвичайну шкоду людському здоров'ю і навколишньому середовищу. Базельська конвенція про контроль за транскордонним перевезенням небезпечних відходів та їх видаленням забороняє експорт токсичних і небезпечних відходів до бідних країн, а національні правила поводження з відходами розвинених країн обмежують захоронення відходів з метою сприяння переробці та утилізації. Однак, велика кількість електронних відходів продовжує напівлегально вивозитися до країн, що розвиваються. Індія, Китай, Філіппіни, Гонконг, Індонезія, Шрі-Ланка, Пакистан, Бангладеш, Малайзія, В'єтнам і Нігерія є країнами, що дозволяють ввезення на звалища на своїй території електронних відходів. Ділянки, на яких проводиться демонтаж електронних відходів, в країнах Азії та Африки сильно забруднені

такими стійкими органічними забруднювачами, як: поліхлоровані дибензодіоксини та фурани, поліхлоровані біфеніли, полібромовані дифенілові ефіри, важкі метали (кадмій, ртуть, свинець, хром). Застарілі холодильники можуть містити гази, такі як хлорфторвуглеці або гідрохлорфторвуглеці, які руйнують озоновий шар.

Електронні пристрої містять ряд легко відновлюваних матеріалів, включаючи такі метали, як алюміній і мідь. Свинець широко використовується у складі паяльних сплавів. Одними з найпоширеніших легуючих елементів у складі свинцевих припоїв є олово, миш'як, сурма та кальцій. Додавання від 2 до 5% сурми надає олов'яно-свинцевим сплавам підвищену твердість та міцність. Сурма, яка міститься переважно в друкованих платах, є токсичною, летючою.

Таблиця 23

Технологія переробки електронних відходів комп'ютерної техніки та периферійних пристроїв

Пристрій	Компонент електронних відходів	Технологія оброблення	Потенційна небезпека та вплив
Ноутбук або настільний комп'ютер	Монтажні плати	Зняття мікросхем комп'ютера - відпаювання, відпалювання або кислотні ванни	Забруднення повітря парами кадмію, ртуті, берилію
Пам'ять та інші комп'ютери процесори	Комп'ютерні мікросхеми	Хімічне очищення кислотою, обпалювання	Пари свинцю, олова
Комп'ютерний монітор/екран	електронно-променева трубка	Руйнування/зняти електродів, викидання на звалище	Забруднення повітря та води свинцем, барієм, ртуттю
Кабелі та проводка	Комп'ютерні дроти	Обпалювання і зачищення	Забруднення повітря, води та ґрунту
Корпуси системних блоків, клавіатури, монітори, принтери	Пластмасові деталі	Подрібнення, плавлення	Забруднення повітря

Кадмій широко використовується в електронній промисловості - зазвичай він міститься у вигляді сполук оксиду кадмію в Ni-Cd акумуляторах, тонерах і картриджах. Цей метал також присутній в припоях для друкованих плат,

резисторах мікросхем, інфрачервоних детекторах і напівпровідниках. Як стабілізатор кадмій додається до пластмас у вигляді різних солей. Окремі полімерні матеріали можуть містити до 100 мг/кг кадмію.

Таблиця 22

Орієнтовний термін служби та склад матеріалів автономних сонячних електростанцій та електронних приладів

Групи компонентів	Очікувана тривалість використання	Типові склади матеріалів
Фотоелектричні панелі	> 10 років	Кристалічний кремній, скло, алюміній, мідь, мікроелементи (індій, олово, галій)
Контролюючі пристрої (контролери заряду, інвертори, прилади обліку)	5-15 років	Друковані плати, паяльна паста, різні електричні та електронні компоненти, пластмаси...
Батареї	2–6 років	Свинцево-кислотні батареї: свинець і свинцеві сполуки; пластмаси, електроліт (сірчана кислота) Li-іон акумулятори: графіт, різні органічні речовини, мідь, алюміній, літій, пластмаси
Кабелі	> 10 років	Мідь, пластикова ізоляція
Обладнання (лампи, радіоапаратура, вентилятори, телевізори)	2 – 10 років	Різні види пластику, алюміній, мідь, різні електричні та електронні компоненти, мікросхеми
Сонячні ліхтарі	3-5 років	Фотоелектричні панелі, Li-іон акумулятори, світлодіоди

Найбільш дієвим і безпечним методом утилізації є комплексна переробка електронного брухту. З 1 кілограма старих мобільних телефонів можна отримати 200 міліграмів чистого золота. Певна кількість дорогоцінних металів міститься в напівпровідникових приладах (оптронах, стабілітронах, діодах, транзисторах, тиристорах тощо).

За статистикою більше 80% срібла, яке використовується у промисловості, споживає електротехнічна галузь для виробництва електро- і радіотехніки. Рекордсменом за вмістом дорогоцінних металів є конденсатори в апаратурі для військової техніки. У техніці відповідального призначення широко використовують посріблені контактні штирі і гнізда, роз'єми, радіочастотні з'єднувачі тощо.

Технології отримання чистих і благородних металів при відновленні електронних відходів є рентабельним бізнесом. Витяг дорогоцінних металів із відходів радіоелектронної промисловості гідрометалургійним методом є перспективним напрямком у галузі переробки та виробництва вторинних дорогоцінних металів.

Друковані плати є однією з основних складових електронного обладнання, і в більшості вони містять припій Pb-Sn. Припій використовується для з'єднання різних електронних компонентів на поверхні друкованої плати. В останні роки стало досить поширеним використання безсвинцевих припоїв на основі срібла та олова.

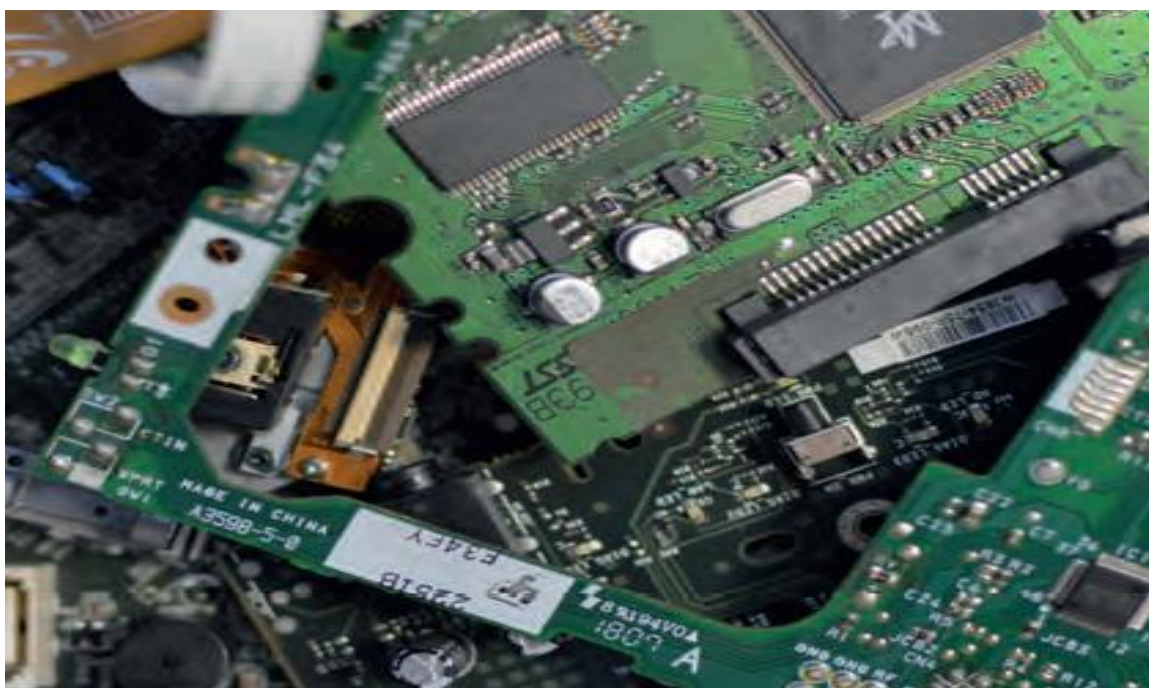


Рисунок 102 - Відпрацьовані друковані плати

Переробка друкованих плат також можлива за допомогою процесів гідрометалургійного вилуговування при зосередженні на вилученні одного або двох елементів, зазвичай тих, що мають високу економічну цінність, наприклад срібло і золото. Способи добування золота з друкованих плат зводяться до травлення брухту в розчині з суміші сірчаної, азотної і соляної кислот. Пристрій для вилучення золота і платини включає в себе резервуар, заповнений водним розчином сірчаної кислоти і царської горілки, і два перфорованих циліндричних барабана, заповнених подрібненим ломом. Барабани обертаються в розчині, в який поступово переходить золото і платина. Ступінь вилучення дорогоцінних металів при застосуванні такої технології становить 99%. Проведення гідрометалургійних процесів для відновлення ряду

дорогоцінних металів є ускладненим з причини використання високотоксичних хімічних речовин, таких як ціанід і ртуть.

Відділення благородних металів від кольорових металів і отримання продуктів з вмістом благородних металів здійснюють шляхом застосування гідрометалургійних методів.

Основні операції гідрометалургійного процесу:

- виділення методами електролізу або хімічного осадження покриттів із золота і срібла, що дозволяє відділити до 70% золота і 90% срібла;
- переробка транзисторів, провідників струму з покриттям з благородних металів шляхом виділення міді шляхом її розчинення в азотній кислоті (без розчинення благородних металів) з подальшим виділенням міді з розчину.

У той час як показники вторинної переробки для деяких класичних електронних товарів є досить високими, багато критичних металів з них майже повністю втрачаються. Це особливо характерно для тих елементів, які використовуються як «спеціальні метали» з дуже низькою концентрацією щодо загального складу продукту. Типовими прикладами може бути тантал в конденсаторах електронного обладнання або індій у рідкокристалічних панелях моніторів.

Свинець широко застосовувався в телевізійних електронно-променевих трубках. Старі кінескопи все ще використовуються в країнах, що розвиваються, і в країнах третього світу, і вони складають значну частину електронних відходів. Передня панель електронно-променевих трубок містить до 3% свинцю, а їх воронка містить до 25 мас.% оксиду свинцю. Однак, ера використання кінескопів вже практично закінчилася, а на зміну їм приходять більш досконалі енергозберігаючі рідкокристалічні дисплеї. Зворотною стороною цього прогресу стало накопичення для відновлення значної кількості моніторів і телевізорів з електронно-променевими трубками. Перший етап утилізації моніторів і телевізорів завжди проводиться вручну. При виконанні цієї операції демонтується корпус, друковані плати, динаміки, дроти, захисний металевий кожух, відхиляюча система кінескопа. Також в цілях безпеки на цій операції з кінескопа прибирається вакуум шляхом утворення отвору на місці високовольтного виведення або через горловину електронної гармати. Захисний залізний хомут поверх з'єднання конуса кінескопа з екраном зрізується. Усі відділені компоненти передаються на подальше відновлення. У результаті залишається лише кінескоп, який розділяють на конус і екран, які мають різний хімічний склад використовуваного скла. На практиці розділення конуса і екрану виконується за допомогою алмазної пилки, або розжареного ніхромового дроту.

Існуючі методи відновлення свинцевого скла зводяться до його використання для виготовлення будівельних матеріалів (піноскло) або в якості подрібнених добавок в такі будівельні матеріали як силікатна цегла, бетон, цемент, декоративна плитка тощо. Будівельні матеріали з підвищеним вмістом свинцевого скла можуть використовуватися в матеріалах для захисту від рентгенівського випромінювання.

З 2009 року розпочався швидкий перехід на панельні екрани зі світлодіодним підсвічуванням, що містять до 3,5 мг ртуті. Однією з головних проблем, пов'язаних з переробкою та відновленням плоских панелей після закінчення терміну служби, є наявність ртутьвмісних флуоресцентних ламп підсвічування, необхідних для освітлення ззаду рідкокристалічних екранів ноутбуків і настільних моніторів. Нині основним варіантом відновлення моніторів є ручне розбирання, щоб видалити ртутьвмісний шар для спеціальної обробки та відокремлення потоків, що залишилися.

Швидко розширюється потреба в утилізації застарілих ноутбуків. При їх утилізації спочатку видаляються усі великі пластикові частини. Пластик сортується залежно від типу і подрібнюється для того, щоб надалі його можна було використати повторно. У більшості випадків ця операція здійснюється вручну. Частини, що залишилися після розбирання, відправляють у шредерний подрібнювач. Усі подальші операції з подрібленими відходами проводяться на автоматизованому обладнанні. Подрібнені в гранули залишки комп'ютерів піддаються сортуванню.

Комп'ютери складають понад 38% загального річного обсягу електронних відходів, які виробляються, і вважаються найціннішою категорією електронних відходів через високий вміст металевих елементів. Значна кількість міді міститься в друкованих платах застарілих комп'ютерів. Відпрацьовані друковані плати, а також інші електронні компоненти переробляють піротермічним методом на підприємствах кольорової металургії. Таким методом відновлюють мідь, золото, срібло, паладій та широкий спектр інших кольорових металів. Пластмаси друкованих плат при згоранні у металургійній печі є джерелом енергії та відновлювачем у процесі плавки. Залишкові матеріали, включаючи залізо, алюміній, кремній і кераміка, переходять у шлакову фазу. Утворені шлаки можуть використовуватися в будівельній промисловості, наприклад, при будівництві доріг.

Цінною сировиною для відновлення є використана кабельно - провідникова продукція, яка є цінним джерелом вторинних міді і алюмінію. Для всієї кабельно - провідникової продукції характерною є наявність полімерного ізолюючого шару з полівінілхлоридного або поліетиленового пластику. Застосовують кілька способів утилізації дротів і кабелів, вибір яких залежить

від характеристик брухту, типу обплетення, загального обсягу матеріалу, цінності чистої сировини.

На переробних автоматизованих установках утилізація кабельно-провідникової продукції передбачені наступні етапи:

- брухт подрібнюється у ножовому млині. При потребі досягнення підвищеної однорідності вторинної сировини для подріблення застосовують шредери;

- подрібнений скрап відправляється на сепаратор. З урахуванням застосовуваної сепарації (електромагнітної, гідро- або повітряно-вібраційної) ізоляція відділяється від металевих жил і на виході отримують розділені частки полімерів та металу. Мідна січка затребувана в металургії, електроенергетиці, електротехнічній галузі. З гранул отримують мідні сплави і фольгу. Вони потрібні для виробництва нових провідників, контактів, теплообмінників тощо. Вартість первинної міді значно перевищує ціну мідної січки, одержуваної при рециклінгу дротів. Відновлений алюміній придатний для виготовлення віконного профілю, оздоблювальних матеріалів, сайдингу.

У рециклінгу бере участь і полімерна ізоляція струмопровідних жил (табл.23). Ізоляційну крихту використовують для виготовлення нової кабельно-провідникової ізоляції, віконних ПВХ конструкцій, синтетичних волокон, труб, пакувальних матеріалів.

Кабелі мають одну або кілька мідних жил, які ізолювані. Переробка кабельних відходів мотивується привабливою ринковою ціною електротехнічної міді. При переробці металеві жили попередньо звільняють від ізоляційного матеріалу. Екологічно чисті методи переробки кабелю використовують такі механічні процеси, як зачистка або гранулювання кабелю. Зачистка кабелю є поширеним методом для кабелів середньої та товщини з суцільними жилами, але він непридатний для тонких кабелів і кабелів із кількома тонкими проводами.

Решта фракцій електронних відходів мають низьку, а деякі навіть від'ємну матеріальну цінність, оскільки раціональне управління після завершення терміну служби пов'язане з чистими витратами. Зазвичай фракції з від'ємним значенням матеріальної цінності збираються та переробляються, лише якщо це заохочується відповідним законодавством і схемою фінансування, що дозволяє переробникам отримувати дохід за послуги повного екологічно безпечного управління електронними відходами. Якщо такої організаційної підтримки немає, діяльність зі збору та переробки, швидше за все, буде зосереджена лише на цінних фракціях, тоді як інші фракції утилізуються безконтрольно.

На сьогоднішній день спостерігається швидкий розвиток сонячної енергетики. За даними Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження в різних регіонах України побудовані великі сонячні електростанції, потужність яких коливається від 43 до 246 МВт. У 2021 році сонячні електростанції загальною потужністю 1,2 ГВт встановили майже 45 тисяч домогосподарств. На даний час обсяги відпрацьованих сонячних панелей ще невеликі, оскільки галузь молода, а гарантійний термін служби фотоелектричних модулів зазвичай складає понад 25 років. У той же час, у недалекому майбутньому людство очікує експоненціальне зростання кількості таких відходів і проблема утилізації сонячних панелей встане в повну силу. Враховуючи, що за показником сукупної потужності сонячних електростанцій в 2020 році Україна була шостою в Європі, а за темпами зростання сонячної енергетики посідала четверте місце, проблема утилізації сонячних панелей в нашій державі також буде зростати. Ще більше ця проблема загострилась внаслідок повномасштабного вторгнення РФ, активних бойових дій, що призвело до руйнування об'єктів відновлюваної енергетики.



Рисунок 103 - Відходи відпрацьованих сонячних батарей

Найбільш поширеними матеріалами для фотоелектричних панелей є монокристалічний або полікристалічний кристалічний кремній, телурид кадмію (CdTe), аморфний кремній або селенід міді та індію (CIS).

Таблиця 23

Аналіз способів утилізації дротів і кабелів

Спосіб	Технологія	Переваги	Недоліки
Термічний	Ізоляційний матеріал обпалюють на відкритому вогні	Не вимагає Капітальних вкладень	Виділення шкідливих речовин в атмосферу Токопроводні жили покриваються окалиною та розплавленими залишками ізоляції Верхні шари металів пошкоджуються полівінілхлоридом
	Піроліз з допалюванням викидів більш безпечних для навколишнього середовища	Простота методу	
Механічний	Ізоляційний матеріал металевих жил зачищається вручну або на пересувних верстатах	Екологічність Компактність установок	Трудомісткість процесу. Низька продуктивність Тонкі дроти на верстатах не очищаються
Хімічний	Поліхлорвініловий Ізоляційний матеріал повністю розчиняється під дією органічних розчинників	Вихід до 99% чистого металу Відновлення полімерної ізоляції. Пере-робка мікродротів	Витратність Необхідність регенерація реагентів
Кріогенний	Заморожений рідким азотом ізоляційний шар стає крихким. У такому стані дріт пропускають через вальці, полімерна або гумова оболонка обсипаються	Частинки жил виходять без домішок, що за якістю перевершує подрібнений матеріал	З огляду на ціну рідкого азоту, спосіб економічно невиправданий
Автоматичний	Автоматизоване управління на міні-заводах дозволяє дробити дроти без застосування ручної сили. Подрібнені кабелі сепаруються по щільності металу на ізоляцію і металеву січку	Екологічність Економічність Підходить для кабелів усіх видів. Висока продуктивність Виключення ручної праці	Відсутні

Модулі найпоширеніших сонячних панелей складаються (по масі) з 76% скла (поверхня панелі), 10% полімерних матеріалів (інкапсулянт і задня плівка), 8% алюмінію (каркас), 5% кремнієвих напівпровідників, 1% міді (роз'єми), менш 0,1% срібла (з'єднувальні елементи) тощо. До складу сонячних панелей тонкоплівкових типів входять токсичні сполуки - телурид кадмію, диселеніди міді та індію.

В даний час при відновлювальній переробці сонячних батарей виділяються тільки їх основні складові матеріали - скло, алюміній і мідь, в той час як інші матеріали, такі як пластмаси, переважно спалюються або відправляються для захоронення на полігони. Така груба переробка не забезпечує відновлення екологічно небезпечних (Pb, Cd, Se) або цінних (Ag, In, Te, Si) матеріалів.

Крім фотоелектричних панелей різних розмірів сонячні системи включають інвертори та акумуляторні батареї (свинцево-кислотні, літій-іонні або нікель-кадмієві), кабелі, які мають свій життєвий цикл, обумовлений технологіями їх виробництва, призначенням, періодом експлуатації. За допомогою існуючих технологій легко переробляються (алюмінієва рама та розподільча коробка сонячної панелі) та можуть повертатися в господарський обіг для повторного використання решта матеріалів, таких як свинець, алюміній, мідь, скло, пластмаси, срібло. Більшість компаній, які виробляють сонячні панелі, працюють над створенням технологій ефективної екологічно чистої рециклінгової переробки цих відходів.

Усі процеси відновлення матеріалів сонячних батарей починаються з початкового демонтажу модулів для відновлення алюмінієвої рами та з'єднувальних кабелів. Подальші етапи переробки здебільшого зосереджені на механічному відділенні скла від кремнієвих пластин і фольги на задній поверхні. Скло складно ідеально відокремити від пластифікованої фольги та кремнієвих пластин, що може негативно впливати на якість скляної фракції.

Найважливішим етапом екологічно чистої підготовки до відновлення холодильників і кондиціонерів є відкачка з системи фреону - речовини, яка є руйнівником озонового шару в земній атмосфері та характеризується потужним парниковим ефектом. При відновленні цих пристроїв є недопустимим попадання фреону в навколишнє середовище.

Основні етапи заводської рециклінгової переробки матеріалів відпрацьованих холодильників і морозильників включають наступні операції.

1. Холодильні агрегати звільняються від внутрішніх знімних частин (полиці, лотки, скло), а також від електрошнурів. Далі холодильний агрегат встановлюється на конвеєрну лінію для проходження циклу утилізації:

2. Спеціальним обтискним пристроєм, що забезпечує повну герметичність, проколюється трубка холодильного контуру, і відбувається процес вилучення суміші за рахунок створення розрідження в магістралі, а також наявного тиску в контурі холодильного агрегату. Операція проводиться в ручному режимі з візуальним контролем тиску по манометру. Процес поділу суміші на фракції холодоагенту і масла здійснюється при її нагріванні до температури близько 90°C. При охолодженні холодоагент, що знаходиться в газовій фазі, конденсується і в зрідженому вигляді закачується в балони.

3. Проводиться розвакуування системи і за допомогою гідравлічних ножиць проводять відділення компресора від холодильного агрегату.

4. Корпус холодильника подрібнюється у шредері. Отримані після подрібнення фракції ділять на складові: залишки пористої поліуретанової термоізоляції, пластик, сталь та сумішевий металобрухт (алюміній, мідь).

Процес вилучення газів з подрібненої поліуретанової піни (дегазація) здійснюється шляхом нагрівання протягом 6-7 годин. Для забезпечення екологічної безпеки використовуються заповнений активованим вугіллям адсорбер, що забезпечує відбір до 90% газів, що містяться в теплоізоляції з піноматеріалів.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Дайте визначення поняттю «електронні відходи».
2. Основні види автономних джерел живлення.
3. Особливості будови сольових та лужних гальванічних елементів.
4. небезпечні фактори впливу гальванічних елементів та навколишнє середовище.
5. Сутність основних способів утилізації гальванічних елементів..
6. Опишіть технологічний процес утилізації малих хімічних джерел струму.
7. Будова та особливості утилізації літій-іонних акумуляторів.
8. Будова та особливості утилізації свинцевих акумуляторів.
9. Технологія електрохімічної переробки акумуляторів.
10. Основні способи утилізації електронного брухту.
11. Охарактеризуйте способи відділення дорогоцінних металів з електронного брухту.
12. Технологія сепарації кольорових металів з електронного брухту.
13. Технологія утилізації мобільних телефонів.
14. Особливості технології утилізації холодильників.
15. Проаналізуйте основні способи утилізації дротів і кабелів.

9. Поводження з відходами сільськогосподарського виробництва

В умовах постійного підвищення цін на викопні енергоносії, а також виснаження запасів нафти і газу все більша кількість країн розширюють використання альтернативних джерел енергії. Біоенергетика є одним із стратегічних напрямків розвитку сектору відновлюваних джерел енергії України, враховуючи дефіцит енергоносіїв, в першу чергу, природного газу, та наявний значний потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії. Біомаса – біологічно відновлювана речовина органічного походження, здатна до біологічного розкладу, у вигляді продуктів, відходів та залишків лісового та сільського господарства (рослинництва і тваринництва), рибного господарства і технологічно пов'язаних з ними галузей промисловості, а також складова промислових або побутових відходів.

На планеті щорічно утворюється близько 170 мільярдів тонн первинної біомаси, практично такий же обсяг трансформується у відходи. Щорічно у світовому господарстві використовується лише 500 мільйонів тонн біомаси. Біомаса у формі деревного палива залишається основним джерелом енергії для 2 млрд. людей на земній кулі. Для більшості жителів сільських районів країн, що розвиваються, вона являє собою основне доступне джерело енергії.

Сільськогосподарська біомаса поділяється на три групи:

- 1) первинна, яка є побічним продуктом рослинництва (солома, стебла соняшника та кукурудзи тощо);
- 2) вторинна, яка отримана при переробці основної сільськогосподарської продукції (жом, макуха, лушпиння, шкаралупа тощо);
- 3) гній, який утворюється при перетравленні тваринами сільськогосподарської біомаси.

Тверді сільськогосподарські відходи зазвичай утворюються під час сільськогосподарської діяльності, яка включає підготовку, виробництво, зберігання, переробку та споживання продуктів рослинництва, тваринництва та продукції з них. Сільське господарство є основним джерелом утворення твердих сільськогосподарських відходів. Починаючи від очищення землі до збору врожаю, кожен етап сільськогосподарської діяльності призводить до утворення сільськогосподарських відходів. Підвищену небезпеку для навколишнього середовища становлять масштабні відходи великих тваринницьких комплексів та птахофабрик. Біологічне розкладання органічних сполук, що містяться у свіжих екскрементах тварин і птиці, призводить до виділення газів і утворення неприємних запахів. Промислове тваринництво через утворення великої кількості гною та посліду є одним із основних джерел викидів аміаку. Аміак виділяється в атмосферу переважно під час утворення

гною та посліду на полях при вигульному утриманні тварин, зберіганні гною та посліду в лагунах та внесенні гною та посліду на поля. Наявність у відходах збудників хвороб є потенційною небезпекою для людей і тварин, відходи можуть містити значну кількість насіння бур'янів.

Термін «відходи тваринництва» включає наступні різновиди органічної сировини:

- свіжі екскременти, включаючи тверду і рідку фракції;
- тверді залишки після просочування в ґрунт рідини, випаровування води або вилуговування розчинних поживних речовин;
- рідка фракція, що виділяється із загальної маси відходів;
- тверді залишки, що утворилися після зберігання гною.

Без відповідної обробки 70% сільськогосподарських відходів можуть використовуватися як малоцінне органічне добриво, а інша частина переходить в поверхневі і підземні води, забруднюючи їх, роблячи непридатними для питного водопостачання. Згідно оцінок Всесвітньої організації з продовольства та сільського господарства, світове тваринництво є причиною утворення 18 % від усіх викидів парникових газів, що є навіть більшим, ніж викиди від транспорту.

Біоконверсія – це трансформація органічних речовин зі складу сільськогосподарських відходів в менш небезпечні для навколишнього середовища форми під дією біологічних агентів (живих організмів чи ферментів). Сучасні методи біоконверсії дозволяють отримувати з сільськогосподарських відходів різноманітну продукцію – високоякісне органічне добриво, білкові та вітамінні кормові добавки, альтернативні джерела енергії тощо. Розкладання біовідходів може відбуватися за наступними механізмами:

- без доступу повітря (анаеробні процеси);
- з доступом повітря (аеробні процеси).

Методи, які застосовуються для утилізації відходів сільськогосподарського виробництва, повинні задовільняти наступні вимоги захисту навколишнього середовища:

- усунення розповсюдження неприємних запахів при отриманні і зберіганні відходів;
- відвернення контакту людей і тварин з продуктами, зараженими збудниками хвороб;
- відвернення забруднення ґрунту, води і рослин шкідливими речовинами.

9.1. Анаеробні процеси відновлення відходів сільськогосподарського виробництва

Успішне майбутнє України неможливе без потужного аграрного сектору з розвинутим тваринництвом. Одним із перспективних напрямів для України є виробництво альтернативної енергії в процесі анаеробного зброджування відходів рослинництва та тваринництва. Після накопичення органічні відходи (харчові, рослинні та тваринні матеріали) розкладаються анаеробно з утворенням метану. В результаті протікання процесів анаеробного метанового зброджування біомаси утворюється біогаз, у складі якого переважає горючий газ метан. Бактерії, що виробляють метан, зустрічаються в природі повсюдно, зокрема вони містяться в екскрементах тварин. У створенні парникового ефекту метан має у 25 раз сильніший негативний вплив, ніж двоокис вуглецю CO_2 . На відміну від вітряної і сонячної енергії, біогаз здатний нести базове навантаження, оскільки він виробляється постійно і незалежно від погодних умов, а також застосовується для виробництва енергії. Біогаз являє собою цінний паливно-енергетичний ресурс.

Виробництво енергії з біогазу, у порівнянні з використанням викопних видів палива, не наносить шкоди оточуючому середовищі, оскільки не супроводжується додатковим утворенням парникового газу CO_2 та зменшує кількість органічних відходів. Відповідно, виробництво біогазу і подальше його використання для виробництва тепла і електроенергії є ефективним засобом боротьби з глобальним потеплінням.

Людство застосовує технології штучного виробництва біогазу шляхом анаеробного зброджування біомаси в спеціальних установках, що запобігає попаданню метану в атмосферу. З цією метою у якості обладнання використовують газонепроникні реактори, в яких створюються сприятливі умови для розвитку анаеробних мікроорганізмів для біотрансформації вихідної органічної сировини в біогаз і твердо-рідкий залишок, який називають перегноєм (дигестатом). Перегній, який утворюється після виробництва біогазу, доцільно використовувати у сільському господарстві у якості добрива. Перевагою анаеробного зброджування є зменшення обсягу відходів, підвищення вмісту азоту в кінцевому органічному субстраті, що важливо для живлення рослин (при аеробному зброджуванні втрати азоту досягають 40%). Перегній, на відміну від мінеральних добрив, ефективно підвищує на родючість ґрунту, прискорює розвиток рослин, не приводять до забруднення ґрунтових вод. Анаеробне зброджування замикає цикл органічних речовин, перетворюючи раніше витрачені ресурси, деградація яких посилює зміну

клімату, на цінні ресурси, створюючи циклічні рішення для фермерів і виробників продуктів харчування.

У своєму складі біогаз без додаткової очистки містить 65...70% метану (CH_4), вуглекислий газ (CO_2) до 30%, домішки водню (H_2) і сірководню (H_2S), азоту, ароматичних вуглеводнів, галогено-ароматичних вуглеводнів. Через знижений вміст метану теплотворна здатність біогазу ($5000\ldots8000$ ккал/ м^3) становить приблизно 2/3 від природного газу. За теплою згоряння 1 м^3 біогазу еквівалентний $0,8 \text{ м}^3$ природного газу чи $0,7$ кг мазуту. Біогаз відрізняється від природного газу тим, що він є поновлюваним джерелом енергії, виробленим біологічним шляхом, а не викопним паливом, утвореним у результаті геологічних процесів.

Теоретичний потенціал річного виробництва біогазу в Україні складає $3,2$ млрд. м^3 на рік. Біогаз, подібно до природного газу, накопичують, перекачують, використовують як паливо для двигунів внутрішнього згоряння та виробництва електроенергії.

Сировину, що піддається метановому бродінню в біогазових установках, поділяють на три категорії:

- сільськогосподарську: гноївка, гній, енергетичні культури, залишки біомаси тощо;
- промислову: крохмаль, відходи скотобоєнь, молочних і цукрових заводів, фармацевтичної, косметичної та паперової промисловості тощо;
- господарську: органічні складові твердих побутових відходів, комунальні стоки тощо.

У якості субстратів для виробництва біогазу доцільно використовувати побічні продукти переробної сільськогосподарської промисловості. До них належать, наприклад, відходи від виробництва пива (дробина), спирту (барда), біодизеля (ріпакова макуха, сирий гліцерин), переробки картоплі (жом), виробництва цукру (бурякова січка, меляса) та побічні продукти переробки фруктів (вичавки). Крім того, у виробництві біогазу використовуються органічні відходи комунального господарства (осад стічних вод, побутові відходи, органічні відходи, скошена трава, ландшафтний матеріал та ін. Біогаз та біодобриво також можливо отримувати при переробці рослинної сировини. Однак, солома та деревина повільно розкладаються в біогазових установках. За кордоном чимало фермерських господарств для одержання біогазу засівають окремі поля кукурудзою, силосують її і протягом року використовують у якості сировини для виробництва біогазу. Вихід біогазу з такої сировини значно більший, ніж із гною і пташиного посліду. Таку перспективу не можна виключати в Україні, особливо на віддалених територіях, до яких постачання природного газу та електроенергії є

дороговартісним. Виробництво біогазу є найбільш ефективним для відновлення відходів ферм, які збирають гній: у вигляді рідини, суспензії або напівтвердої речовини, без великої кількості підстилки чи інших матеріалів (каменів, соломи чи піску). Встановлено, що 1 голова великої рогатої худоби в середньому за добу дає 45 кг посліду, з якого можна виробити 2,5 м³ біогазу, вихід посліду і газу від 1 голови свиней - відповідно 6,5 кг та 0,3 м³, птиці - 0,137 кг і 0,02 м³. З 1 т (по сухій речовині) органічного бродильного матеріалу утворюється 350...400 м³ біогазу з теплотворною здатністю 23...25 МДж/м³. Відповідно 1 м³ біогазу по теплоутворенню еквівалентний 4 кВт·год електроенергії або 1,5 кг кам'яного вугілля.

Практикують об'єднане використання у якості сировини суміші з кількох органічних матеріалів в одній біогазовій установці. Вихідні матеріали можуть поєднувати гній, харчові відходи, пожнивні рослинні залишки, олії та жири з ресторанних жиролуловлювачів тощо. Не всі органічні відходи розкладаються з однаковою швидкістю, і спільна біоконверсія дозволяє забезпечити інтенсифікацію утворення біогазу з низькопродуктивних або важкоперетравлюваних органічних відходів. Органічні складові твердих побутових відходів часто поєднують для спільного зброджування із сільськогосподарськими відходами, мулом з очисних споруд, що дозволяє підвищити економічну ефективність переробки. Анаеробна утилізація осадів міських і промислових стічних вод забезпечує вирішення важливих екологічних, енергетичних і соціальних проблем міст, особливо мегаполісів.

Одним із найбільш досконалих застосувань технології анаеробного зброджування є інтеграція цього процесу зі станціями очищення стічних вод. Осад стічних вод можна стабілізувати за допомогою анаеробного зброджування, або обробляти в реакторах спільного зброджування, щоб відрегулювати баланс поживних речовин і досягти економічної доцільності. У європейській практиці 75% біогазу виробляється з відходів сільського господарства, 17% – з органічних відходів приватних домогосподарств і підприємств, ще 8% – з муніципальних каналізаційних стоків та каналізаційних стоків окремих виробництв.

При анаеробному розкладанні органічних відходів внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів послідовно проходять етапи гідролізу, кислотогенезу і метаногенезу. Переробка сировини відбувається в ході складних взаємодій у змішаних популяціях бактерій, відомих під загальною назвою метаногенів. Процес анаеробного зброджування залежить від таких факторів середовища, як рН, температура, вологість, а також таких характеристик вихідної сировини як співвідношення вуглецю до азоту та вміст азоту.

Умови анаеробного способу бродіння забезпечуються, якщо сировинний матеріал знаходиться в зрідженому стані при вологості субстрату до 50% при температурі не вище 70 °С. В утворенні біогазу беруть участь три види бактерій: гідролізні, кислотогенні та метаногенні. При цьому кожний наступний вид бактерій використовують продукти життєдіяльності попередніх. Бактерії, що виробляють метан, поділяються на три групи: психрофільні – ефективні при температурах +5 ... +20° С; мезофільні – їх температурний режим +30...+42°С; термофільні – працюють в режимі +54...+56°С. Для виробництва біогазу найбільшу цінність представляють мезофільні і термофільні бактерії, що ферментують органіку з високим виходом біогазу. Мезофільний режим, у порівнянні із термофільним, є економічно вигіднішими та дешевшим. Термофільна ферментація (при 50...56°С) відбувається інтенсивніше, ніж мезофільна, але стабільність протікання процесу є меншою.

Таблиця 24

Енергетичні характеристики сировини для виробництва біогазу

Група сировини	Вид сировини	Вихід біогазу з 1 т сировини, Нм ³	Вміст метану в біогазі, %
Тверді побутові відходи	Харчові відходи	125	64
	Осади стічних вод (вологість 2-5%)	36	60
Відходи тваринницьких ферм	Гній	68	58
	Рідкі та напіврідкі відходи рогатого скоту	23	58
	Рідкі та напіврідкі відходи свиней	21	60
	Сухий пташиний послід	190	55
Відходи рослинництва	Солома	383	58
	Рослинний силос	195	60
Промисловість	Відходи бійні	160	60
	Відходи виробництва харчових продуктів	265	60

Додавання до субстрату суміші ензимів, пробіотиків та мікроелементів дозволяє без змін в конструкції біогазової установки додатково збільшити вихід біогазу на 20 - 40%, полегшити зброджування важкорозкладних складових біомаси та підвищити вміст метану у біогазі. Так, при зброджуванні соломи без використання добавок ензимів вихід біогазу складає 250-300 м³, а з добавками ензимів зростає до 350-400 м³ газу на тонну сухого матеріалу.

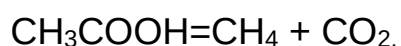
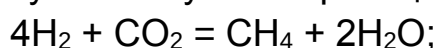
Процес розкладання органічних відходів сільськогосподарського виробництва на метан складається з 4 фаз (рис.104).

Перша фаза - гідроліз, коли за допомогою бактерій відбувається перетворення високомолекулярних речовин (білки, жири, вуглеводи, целюлоза) за участі ферментів у низькомолекулярні речовини. Процес гідролізу забезпечує розщеплення довголанцюгових хімічних сполук на сполуки з коротшими молекулами. Під час гідролісної фази у результаті життєдіяльності бактерій стійкі субстанції (протеїни, жири і вуглеводи) розкладаються на простіші складові (амінокислоти, глюкозу, жирні кислоти).

Друга фаза – кислотоутворююче перетворення сировини за допомогою ферментних бактерій. Кислотогенез є найшвидшою стадією анаеробного перетворення складних органічних речовин. У процесі кислотогенезу також частково беруть участь аеробні бактерії, що споживають залишки кисню, створюючи при цьому необхідні для метанових бактерій жорсткі анаеробні умови. Гідролізні та кислотоутворюючі бактерії досягають оптимуму своєї активності в кислому середовищі з рівнем рН 4,5...6,3, тоді як для ацетогенних і метаногенних бактерій оптимальним є нейтральне або слаболужне середовище з рН 6,8...8. Утворені під час гідролісної фази складові розкладаються на нестійкі органічні кислоти, а також на етанол, альдегіди, водень, вуглекислий газ, аміак і сірководень. Цей процес триває до моменту сповільнення розвитку ферментних бактерій під впливом утворених ними кислот.

Третя фаза – сполуки, які утворилися в процесі другої фази (етанол і жирні кислоти), ацетогенні бактерії перетворюють в ацетати, вуглекислий газ і водень. З кислот, утворених під час кислотоутворюючої фази, під впливом ацетогенних бактерій виробляється оцтова (CH_3COOH) та мурашина (HCOOH) кислоти.

Четверта фаза – метаногенні бактерії розкладають оцтову та мурашину кислоти на метан, вуглекислий газ і воду. В результаті цих реакцій утворюється понад 70% метану за наступними реакціями:



Швидкість і масштаби анаеробного бродіння під дією метаногенних бактерій залежать від їх метаболічної активності. Біоконверсійна активність і репродуктивна здатність мікроорганізмів знаходяться у функціональній залежності від температури. Температура впливає на об'єм і склад біогазу, а також на тривалість процесу біоконверсії.

Метаноутворюючі бактерії належать до древніх археобактерій. Вони досить поширені у природі там, де утворюються анаеробні умови: в болотному та річному мулі, в осадах морів та океанів, в рубцях жуйних тварин та кишково –

шлункових трактах ряду інших тварин. Метаногенні бактерії проявляють свою життєдіяльність в межах температури 0...70°C. З підвищенням температури до 54°C створюються найбільш сприятливі умови для утворення метану. Коливання температур процесу бродіння в межах 4...5°C суттєво впливає на якість технологічного процесу, продуктивність біогазової установки та різко змінює активність штамів різних анаеробних організмів. Метаногенні бактерії пред'являють до умов свого існування значно вищі вимоги, ніж кислотоутворюючі бактерії. Так, вони потребують абсолютно анаеробного середовища і більш тривалого часу для відтворення. Метанове бродіння – процес ендотермічний, який потребує постійного підігріву для підтримки температури ферментації.



Рисунок 104 – Процес утворення біогазу

Для анаеробного утворення біогазу необхідно підтримувати наступні умови:

- відсутність вільного кисню;
- висока вологість (75–92 %);
- відсутність освітлення;
- достатня кількість азоту;

- відповідна температура.

До речовин, які перешкоджають життєдіяльності таких мікроорганізмів, відносяться важкі метали і їх солі, лужні метали, лужноземельні метали, аміак, нітрати, сульфіді, органічні розчинники, антибіотики.

Більшість біогазових установок працюють в мезофільному режимі (35-40°C). Застосування термофільних умов (50-55°C) рекомендується, коли переважаючим є завдання знищення патогенних мікроорганізмів. Встановлено, що результат утворення метану при 45°C нижчий ніж у процесі при 40°C, що пов'язано з поєднанням як мезофільного, так і термофільного робочих діапазонів метаноутворення. Охолодження є менш шкідливим для бактерій, ніж нагрівання. При охолодженні бактерії стають повільнішими і менш продуктивними. Мікробіологічна активність практично припиняється, якщо температура біомаси знижується до 15°C.

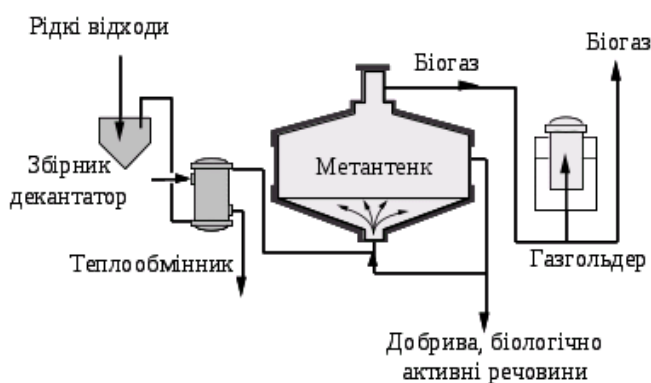
Біогазовий комплекс – це складний інженерний об'єкт, що складається з кількох модулів, об'єднаних в єдину систему. До складу промислової біогазової установки входить наступне обладнання та підсистеми:

1. Модуль зважування та подачі сухого субстрату.
2. Модуль завантаження рідкого субстрату.
3. Ферментатор і доброджувач (метантенк).
4. Система підігріву субстрату (підтримка температурного режиму).
5. Система масообміну в ферментаторі (перемішування завантаженого субстракту).
6. Газгольдер і газове господарство.
7. Система очищення біогазу.
8. Когенератор, який виробляє теплову і електричну енергію.
9. Сепаратор для поділу рідкої та твердої фракції утвореного субстрату (отримання рідкого та твердого органічного добрива).
10. Контрольний пункт для операційного управління біогазовою станцією.
11. Лабораторія для проведення контролю характеристик субстрату.

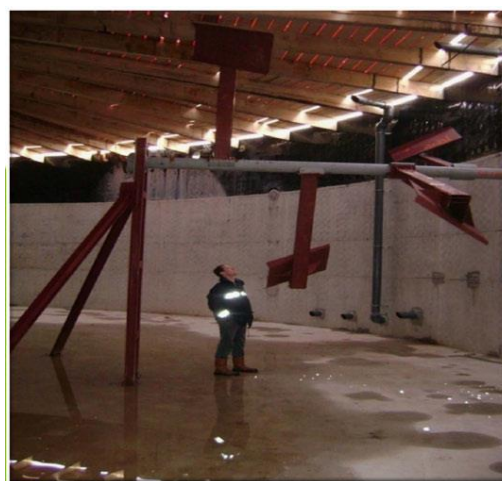
На світовому ринку обладнання широко представлені різноманітні біогазові установки. При проектуванні та виборі устаткування беруть до уваги вид сировини та кінцеву мету (виробництво біогазу, теплової енергії для власних потреб або виробництво електроенергії з метою продажу). Вони можуть бути скомплектовані, виходячи з потреб і наявних об'ємів сировини конкретного виробництва (рис.105 - 106).

Головним елементом біогазової установки є метантенк - бродильний реактор циліндричної форми, у якому відбуваються процеси ферментації і доброджування органічних відходів. Біовідходи доставляються на біогазовий комплекс вантажівками або у цистернах. Рідкі відходи зливаються у

накопичувальну ємність. Тверді відходи завантажуються у ємність для підготовки гноєвої біомаси шляхом перемішування з рідкими відходами для отримання необхідної консистенції, що дає змогу перекачувати їх за допомогою насосів. При необхідності проводиться додаткове подрібнення субстратів перед подачею в метантенк. Чим дрібніші частки субстрату, тим більша площа контактної поверхні з бактеріями, в результаті чого тривалість бродіння скорочується, а процес метаноутворення прискорюється. Об'єм ємності для підготовки і гомогенізації біомаси має забезпечувати запас сировини на 2...3 дня роботи. Підготовлена біомаса на сучасних біогазових комплексах подається у метантенки порціями періодично кілька разів на день за допомогою насосних систем.



а)



б)

Рисунок 105 - Схема установки для виробництва біогазу (а); огляд внутрішнього робочого простору метантенку (б)

Середній час перебування біомаси всередині метантенка в залежності від складу субстрату становить 20...40 днів. Для кукурудзяного силосу період бродіння збільшується 70...160 днів. Протягом цього часу органічні речовини зі складу біомаси перетворюються мікроорганізмами на біогаз і дигестат (зброджений гній).

До конструкції метантенка пред'являються наступні вимоги:

- герметичність стінок, що перешкоджає попаданню повітря в метантенк;
- непроникність для рідин;
- витримування навантажень під дією власної ваги установки і ваги завантажуваного субстрату;
- ефективна теплоізоляція;
- висока корозійна стійкість застосовуваних матеріалів;

- надійність і герметичність механізмів завантаження і вивантаження;
- доступність внутрішнього простору метантенку для обслуговування.

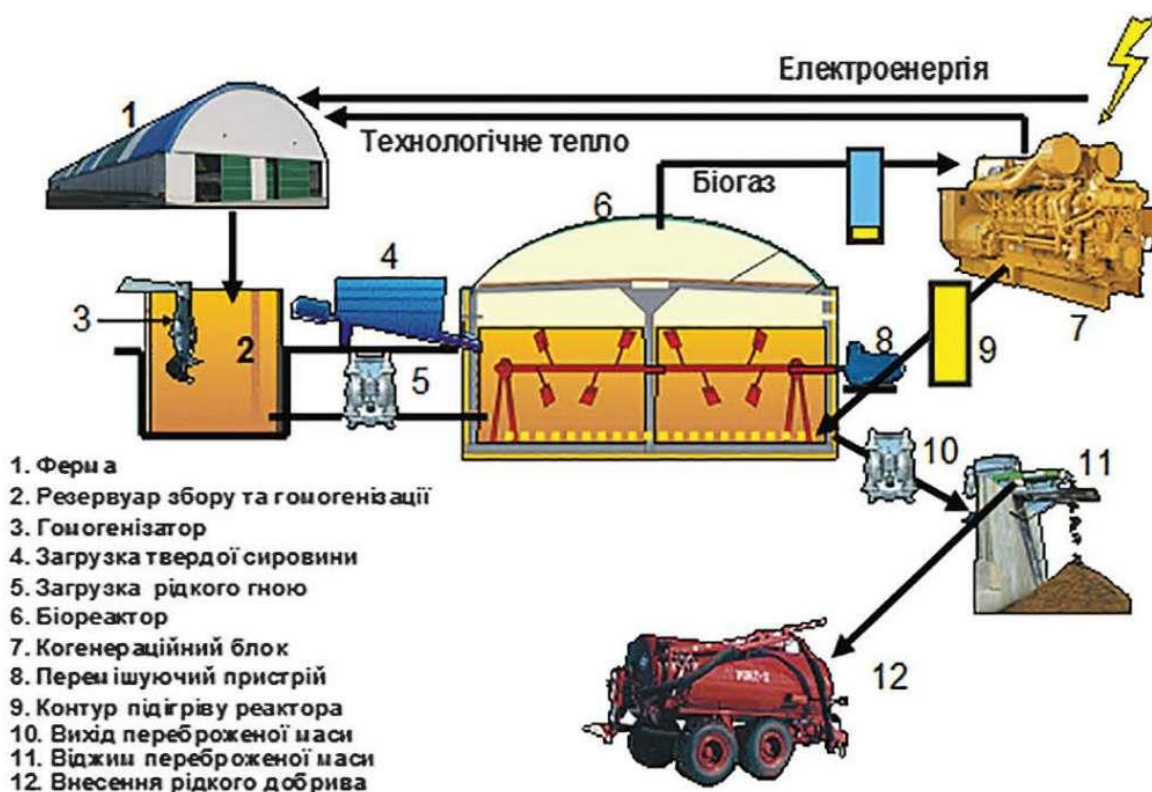


Рисунок 106 - Принципова схема біогазової системи

Метантенк є газонепроникним, утепленим, повністю герметичним резервуаром. Матеріалом для виготовлення корпусів промислових метантенків найчастіше служить залізобетон, нержавіюча сталь або сталь з антикорозійним емалевим покриттям, склопластик. Метантенк повинен мати люк, який призначений для можливості заходу всередину робочого простору при проведенні профілактичних і ремонтних робіт. Всередині метантенку змонтовано міксерний механізм, що проводить періодичне перемішування субстрату лопатками (рис.106б). Це сприяє досягненню однорідності ферментаційної суміші за складом та температурою, запобігає утворенню твердої поверхневої кірки.

Конструкція метантенку забезпечує підтримання оптимальної для розвитку мікроорганізмів температури термофільного режиму бродіння. Для підтримки теплового режиму в реакторі витрачається від 20 до 50 % виробленого біогазу в залежності від температури навколишнього середовища. В якості нагріваючих елементів застосовують теплообмінники у вигляді змійовиків, секцій радіаторів або паралельно зварених труб, теплоносієм в яких служить гаряча вода при температурі близько 60°C. Теплообмінники рекомендується

розташовувати в зоні дії перемішуючого пристрою. При підвищенні температури виникає ризик налипання зважених частинок на поверхні теплообмінника.

У найпростіших біореакторах першого покоління всі ферментаційні процеси проводилися в одній ємності без поділу на зони, не враховуючи доцільність створення різних умов для інтенсивного протікання етапів метаногенезу. В біореакторах наступних поколінь було втілено технології, що ґрунтуються на розділенні процесу метанового бродіння на фази: кислотну та метанову. Двофазний процес здійснюється у двох реакторах, що з'єднані послідовно. При використанні двофазного процесу, з метою додаткової генерації товарного біогазу процес бродіння в першому ферментері проводиться при температурі 35 - 37°C, а у другому – при 55°C. Швидкість подачі сировини та об'єм реакторів розраховані так, щоб у першому переважно протікала стадія кислотоутворення, коли значення рН середовища не повинно перевищувати 6,5. Цей субстрат передається у другий реактор, в якому прискорено протікає процес утворення метану. Двофазний процес дозволяє збільшити загальну швидкість метаногенезу у 2...3 рази.

Виділений у процесі ферментації біогаз накопичується під куполом метантенку, потім проходить систему очищення і подається споживачам до котельної або когенераційної установки. Зверху на метантенку герметично закріплюється газгольдер - сховище біогазу. Конструкція газгольдера має двошарову конструкцію. Зовнішній купол – чохол, який має стійкість до ультрафіолетового сонячного випромінювання, атмосферних опадів та горіння і виготовляється з полівінілхлориду зі спеціальними добавками. Внутрішня мембрана, яка безпосередньо контактує з біогазом, виконана з поліетилену низького тиску. Утворений біогаз накопичується в газгольдері, в якому відбувається вирівнювання складу біогазу. Об'єм газгольдерів визначається умовою накопичення одностадійної продуктивності виробництва біогазу. Тиск біогазу всередині газгольдера становить від 200 до 500 Па. Відведення біогазу відбувається по трубопроводу, що оснащений пристроями автоматичного відділення конденсату з водяних парів й запобіжних пристроїв, які захищають газгольдер від перевищення припустимого тиску. Якщо утворений біогаз містить високі концентрації сірки, додатково встановлюють фільтри для видалення з газу сірководню, що запобігає виникненню корозії деталей спалювальної установки.

Наявність водяних парів різко знижує нижчу теплотворну здатність біогазу і тим самим впливає на ефективність енергетичного обладнання - двигунів, турбін, котли, пальників тощо. Тому перед використанням біогазу у якості палива, його вологість має бути максимально знижена. Видалення вологи також необхідне для запобігання

накопиченню конденсату у газопроводі і, як наслідок, для запобігання утворенню агресивних кислот та засмічення труб. Найпростішим способом осушення біогазу із високим вмістом вологи є його охолодження до утворення водяного конденсату. Конденсат, що утворюється, збирається і відокремлюється у найнижчому місці газопроводу.

Біогаз перед подачею до газотранспортної мережі має проходити додаткове очищення та збагачування по метану до параметрів природного газу за рахунок відділення вуглекислого газу і аміаку в установках з біогазовими мембранами.

Мембранні газорозділювачі PRISM® PB фірми Air Products використовують технологію селективного поділу біогазу шляхом відокремлення молекул метану від вуглекислого газу. Суттєво менші розміром молекули CO_2 проходять через мікропори мембрани швидше, ніж крупніші молекули CH_4 . Мембранні установки PRISM для збагачення біогазу метаном містять масив крихтих трубчастих волокон. Молекули меншого розміру, такі як діоксид вуглецю і водяна пара, видаляються через стінки мембрани, в той час як більші молекули метану залишаються всередині всередині фільтру і передаються в мережу.

Для очищення від основних домішок (CO_2 , H_2S), які знижують теплотворну здатність біогазу і викликають значну кислотну корозію деталей спалювальних установок, також додатково застосовують його обробку шляхом продування чере лужні розчини.

Збагачений біогаз (біометан) може використовуватися як пальне в автомобілях на природному газі, на когенераційних установках або для виробництва тепла у вискооефективних газових конденсаційних котлах. Очищений біогаз зберігається в газгольдерах, які виконані у вигляді мішків з високоміцного полівінілхлориду, стійкого до ультрафіолету та перепаду температур. Тиск газу всередині типового газгольдера об'ємом до 4000 м^3 становить $0,5 \text{ МПа}$.

Біогаз можна використовувати для виробництва електроенергії для освітлення ферм або будинків, тепла для обігріву приміщень і теплиць, енергії для охолодження молока та палива для роботи транспортних засобів на місці. Когенераційні установки являють собою обладнання для комбінованого виробництва електроенергії й тепла. У складі когенераційних установок застосовуються газопоршневі двигуни внутрішнього згоряння, які приводять у дію генератор електричної енергії. Тепло в когенераційній установці одержують при охолодженні двигуна шляхом нагрівання води. Це дозволяє фермерським господарствам працювати «не в мережі» та зменшує залежність від муніципальних комунальних послуг.

Дигестат після виходу із біогазової станції являє собою біологічне добриво, яке є придатним для безпосереднього внесення в ґрунт без додаткової обробки. Поживні речовини в дигестаті знаходяться в легкозасвоюваній неорганічній формі. На практиці відведений з метантенка дигестат піддається сепарації, в результаті якої отримують рідку фракцію із низьким вмістом сухої речовини (1-8%) та твердої фракції із вмістом сухої речовини 20-40%. Переброджена в метантенці біомаса 8-12 разів на добу подається на сепаратор відцентрової дії, який відділяє частину вологи і знижує вологість шламу. Шлам, що утворився в процесі зневоднення, подається до вальцевої сушарки. Гаряча пара із котельні подається всередину вальцевих дисків, нагріваючи їх. Вологий продукт рівномірно розподіляється на гарячих вальцях і під час обертання вальців випаровується волога. Вологість висушеного дигестату знаходиться в межах 10...15%.

Однією з найважливіших переваг дигестату є його поживний склад. У дигестаті зберігається весь азот, фосфор і калій з вихідної сировини. Це робить його чудовою альтернативою мінеральним добривам, отриманим з викопного палива, пропонуючи численні переваги як для сільського господарства, так і для навколишнього середовища. Рідка та тверда фракції відрізняються за вмістом макроелементів. У рідкій фракції підвищена концентрація азоту й калію, тоді як у твердій - більша концентрація фосфору. Висушений дигестат має більш високу ринкову вартість у порівнянні з вологою відсепарованою біомасою. У висушеному гранульованому вигляді добрива можуть транспортуватися на значні відстані та мати тривалий термін зберігання. Відділена рідка складова біодобрива - аміачна вода, яка в основному використовується як добриво з високою концентрацією аміаку (NH_4).

У результаті розпаду органічної речовини, процесів мінералізації та вивільнення біогазу, в порівнянні з вхідною сировиною, в утвореному дигестаті:

- зменшується вміст сухої речовини, і відповідно підвищується вологість та знижується в'язкість. Вологість дигестату, як правило, складає 94-96%, хоча може коливатися в діапазоні 92-99%;
- збільшується на 10-70% вміст доступного для живлення рослин аміачного азоту;
- рівень рН, близький до нейтрального (6.5-8.0);
- за рахунок вивільнення частини вуглецю з біогазом зменшується співвідношення C/N до рівня 20-30, яке є оптимальним для біоценозу ґрунту;
- зменшується вміст патогенної мікрофлори та життєздатного насіння бур'янів у результаті одночасного впливу температури та кислотності у метантенці впродовж тривалого часу.



Рисунок 107 - Сухий дигестат



Рисунок 108 - Підживлення посівів рідким дигестатом

Оскільки населення планети продовжує зростати, а земельні ресурси стають все більш обмеженими, сільське господарство стикається зі значними проблемами. У відповідь на це відбувся зсув у бік стійких практик у сільському господарстві, таких як органічне землеробство, агроекологічні методи та екологічно чисті рішення, які приймаються з огляду на сталість. На передньому краї цієї трансформації є анаеробне зброджування та використання дигестату для удобрення ґрунтів. При використанні в якості органічної добавки до ґрунту він сприяє кращому росту рослин і підвищує життєву силу ґрунту.

Використання дигестату при прямому внесенні в землю як заміника мінеральних добрив поліпшує фізико-механічні властивості ґрунту, і, як наслідок, урожайність підвищується на 30...50%. У більшості випадків біодобрива вносять розкидачами в ґрунт при культивуванні або оранці. На відміну від мінеральних добрив, біодобрива підвищують врожайність не тільки в перший рік внесення, але і в наступні 3-4 роки.

Завдяки перепрофілюванню та повторній утилізації органічних відходів дигестат є прикладом цілісного підходу до сталого розвитку. Використовуючи органічні відходи та мікробну активність, на відміну від мінеральних добрив, виробництво дигестату значно зменшує споживання енергії та викиди вуглецю, пов'язані з виробництвом добрив, зменшуючи залежність від викопного палива та скорочуючи викиди метану від повторного використання.

Біотехнологічні процеси з притаманними їм м'якими умовами технологічних режимів (невисокі температури, малий тиск, нейтральні середовища, висока швидкість реакцій при незначних концентраціях компонентів тощо) є найбільш наближеними до природних. З цієї причини людство пов'язує свої науково-технічні пріоритети, стратегію розвитку й соціальну політику саме з біологічними технологіями. Перевагами біологічної технології виробництва біогазу є економія завдяки виробництву електричної та теплової енергії з власної сировини, зменшення залежності від зовнішніх енергоносіїв, отриманні дешевих органічних добрив для використання у рослинництві. Глобальні переваги такого виробництва полягають у поліпшенні екологічної ситуації, у зменшенні забруднення довкілля сільськогосподарськими відходами та викидів в атмосферу парникових газів.

Енергія біогазу вважається вуглецево - нейтральною, оскільки вуглець, що вивільняється при його спалюванні, поступає з вуглецю, що накопичений рослинами з атмосферного вуглекислого газу протягом усього вегетаційного періоду. Біогаз, що застосовуються у виробництві електроенергії, замінює собою викопні енергоносії, такі як вугілля, природний газ і нафта, використання яких спричиняє велику кількість парникових викидів. Будівництво та експлуатація біогазових заводів відкриває для місцевих жителів нові робочі місця та збільшує податкові надходження для громад.

У 2021 році у світі було вироблено майже 40 млрд м³ біогазу. Беззаперечним лідером за кількістю біогазових установок є Китай, який у 2023 р. виробив більше чверті світової електрики з біомаси (204 ТВт·год).

Ринок біогазу на сьогодні найбільш розвинений у Європі, адже саме розвинені країни ЄС першими впровадили програми переходу до альтернативних джерел енергії та планомірно підтримували ініціативи, спрямовані на впровадження нових біогазових технологій. У 2023 р.

біоенергетика зробила великий внесок і у виробництві електроенергії в країнах Європи. Наприклад, у Данії біоенергетика додала понад 20% від загального виробництва електроенергії. У Фінляндії та Сполученому Королівстві на біоенергетику припадає 14% та 12% виробництва електроенергії відповідно.

Про динаміку розвитку виробництва біогазу в Німеччині свідчить той факт, що у 1999 році в країні було близько 50 установок загальною потужністю біля 80 МВт, а у 2014 році кількість установок уже була понад 7000, із сумарною встановленою потужністю близько 3000 МВт. Середня встановлена електрична потужність біогазової установки становить понад 380 кВт. У Німеччині діє «зелений» тариф на електричну енергію з біогазу у 0,134–0,237 євро за 1 кВт·год, також додається технологічний бонус у 0,03 євро за 1 кВт·год у разі, якщо біогаз проходить попереднє очищення.



Рисунок 109 - Біогазовий завод в Угорщині потужністю 4 МВт, здатний переробляти до 90 000 т органічних відходів

Однією із суттєвих перепон для розвитку виробництва біогазу в агробізнесі є висока вартість устаткування, що потребує суттєвих інвестицій. Європейський досвід реалізації аналогічних проєктів свідчить, що питомі капітальні витрати на будівництво біогазового комплексу з енергетичним блоком потужністю до 500 кВт становлять 3500 євро за 1 кВт, від 500 до 1000 кВт - 3000 євро, від 1000 кВт і більше – 2000...2500 євро. Основними складовими інвестиційних вкладень у біогазові проєкти, що орієнтовані на комбіноване виробництво теплової та електричної енергії, є витрати на блок генерації енергії (30...40 %), будівництво метантенків та інших технологічних споруд (35...45 %) і технологічне обладнання (15...25 %). Економічні вигоди

від використання біогазу в кожному конкретному випадку залежать від типу відходів, доступних для переробки, інвестиційних можливостей, наявності локального енергетичного ринку та державних програм підтримки альтернативної енергетики. В країнах Європейського Союзу період окупності біогазових установок для переробки відходів агропромислового комплексу в середньому становить 6...14 років, а з врахуванням застосування «зелених» тарифів при постачанні електроенергії в мережу від 4 до 8 років.

Виробництво і використання біогазу може стати істотним внеском до зменшення енергоімпорту, а також підвищення безпеки постачання. На місцевому рівні, за рахунок виробництва біогазу з місцевих ресурсів створюються нові робочі місця у сільських місцевостях (логістика, інженерні послуги та будівництво споруд). На прикладі Німеччини, біоенергетика створює в країні 122 тис. робочих місць.

Прикладом вдалої реалізації проекту виробництва біогазу є біоенергетичний парк у промисловій зоні між Магдебургом і Галле (Німеччина). Будівництво парку було здійснено протягом одного року. Біогазовий парк складається з модулів з чотирьма метантенками, складських приміщень для зберігання биошламу, одного проміжного резервуара для зберігання рідини, технічної будівлі з відділами сепарування, центральної насосної станції і біогазового компресора (рис.110). В якості сировини у реактори завантажується гнойова рідина. Річна потреба в сировині становить близько 120 тис. т, яка поставляється 30 фермерськими господарствами з навколишніх фермерських господарств в радіусі 15 кілометрів. Річне виробництво становить 15 мільйонів м³ біогазу. Ця кількість достатня для забезпечення 10 000 домашніх господарств теплом і електроенергією або 9000 легкових автомобілів паливом для пробігу 30 000 км в рік.

Анаеробні технології також доцільно використовувати для утилізації відходів харчової промисловості. Прикладом може бути утилізація молочної сироватки сироробного заводу. Завод Bonitrex, розташований в м. Пловдив (Болгарія), переробляє 10 млн літрів молока на рік. Біогазова установка включає метантенк Valbio METHACORE® об'ємом 200 м³. Ця установка дозволяє обробляти рідкі відходи сироварного виробництва з виробленням 900 м³ біогазу в день. Отриманий біогаз використовується в котельні молочного заводу і забезпечує виробництво 5000 кВт енергії на добу.

На сьогодні енергетична політика ЄС направлена на диверсифікацію джерел енергопостачання та побудову довготривалих партнерських відносин, у т.ч. у сфері біометану. Це відповідає високим цілям Європейського Союзу щодо досягнення до 2030 року генерації 35 млрд м³ біометану в рік.



Рисунок 110 - Біогазовий парк

ЄС та Україна тісно співпрацюють в енергетичній сфері від 2005 року, коли було підписано Меморандум про взаєморозуміння між Україною та ЄС щодо співробітництва у сфері енергетики. У квітні 2008 року було підписано Дорожню карту з енергоефективності, використання відновлюваних джерел енергії та заходів щодо подолання зміни клімату. У 2011 році Україна стала членом Енергетичного Співтовариства. На початку лютого 2023 року Прем'єр-міністр України Денис Шмигаль та Президент Єврокомісії Урсула фон дер Ляєн уклали меморандум щодо стратегічного партнерства у сфері відновлюваних газів. Виконання положень Меморандуму передбачає тісну співпрацю у сфері виробництва, транспортування, зберігання та використання відновлюваних газів: біометану, водню, його похідних, інших синтетичних газів.

Накопичений світовий і вітчизняний досвід переконливо свідчить, що розширення використання біогазових установок в Україні має значний потенціал виробництва тепла та електроенергії завдяки наявним залишкам рослинництва та тваринництва у сільському господарстві, сприятливим кліматичним умовам, наявністю малопродуктивних сільськогосподарських угідь, відносно недорогої робочої сили. За оцінками фахівців, відходів органічної сировини, які утворюються в українському агросекторі, достатньо для роботи 1,5 тис біогазових електроустановок загальною потужністю понад 100 МВт, а біогазовий резерв складає близько 10 млрд м³ на рік. Це третина довоєнного споживання газу в Україні. Для стимулювання розвитку цієї сфери в Україні ще у 2015 році було запроваджено «зелений» тариф на електроенергію із біогазу на рівні 12,39 євроцента/кВт·год.

Одним з вітчизняних прикладів підвищення енергоефективності є діяльність агропромхолдинга "Астарта", до складу якого входять Глобинський цукровий завод та Глобинський соєпереробний завод. Для утилізації жому, який утворюється при переробці цукрових буряків, в 2014 р. було побудовано завод з виробництва біогазу продуктивністю до 15 млн. м³ на рік. Завдяки цьому у

2017 році підрозділ "Астарті" по виробництву цукру зменшив споживання природного газу на 9%, електроенергії - на 5%.

У 2020 році поблизу селища Капітанівка Новомиргородського району Кіровоградської області введено в експлуатацію біогазовий завод з потужністю 6 МВт/год агрохолдингу I&U Group (рис.107). Підприємство переробляє відходи цукрового виробництва і силос в сировину для теплової та електричної енергії.



Рисунок 111 - Біогазовий завод агрохолдингу I&U Group

9.2. Збір біогазу на звалищах твердих побутових відходів

Звалища та полігони, на яких захоронено тверді побутові відходи, як правило займають територію у кілька гектарів. Після закриття звалища його поверхня має покриватися спеціальною плівкою і засипатися глинистим ґрунтом для виключення розповсюдження токсичних випаровувань з неприємними запахами. По мірі накопичення шари відходів потовщуються і стискаються, з них витискається кисень, утримується волога. Наявність на звалищах в товщах пористих ділянок і скупчення невідсортованих органічних відходів створює передумови для саморозігрівання та активного розвитку мікробіологічних процесів. Відповідно, в глибинних шарах захоронених органічних відходів створюються анаеробні умови, які є ідеальними для розвитку метаногенних бактерій. Утворений метан у складі звалищного газу просочується вгору крізь шари відходів, накопичується і поступово виходить в атмосферу через щілини, тріщини або отвори. За оцінками, понад 10% усіх глобальних антропогенних викидів парникового газу метану в атмосферу припадає на звалища. При концентрації біогазу в повітрі понад 15% створюються умови для самозайняття відходів та виникнення вибухів. Часті пожежі та вибухи на санітарних полігонах, в основному, є наслідком стихійного утворення і накопичення звалищного газу. Запобігання виділенню парникових газів в атмосферу, уникнення при цьому неприємних запахів і пожеж,

досягається шляхом безперервного добування в контрольованому режимі звалищного газу. Звалищний газ вважається екологічним джерелом палива, оскільки він дозволяє скоротити використання шкідливого для навколишнього середовища викопного палива.

Побутові відходи стали використовувати як альтернативне джерело енергії відносно нещодавно, хоча найперше експериментальне сміттєзвалище, на якому використовували спеціальні інженерні споруди для збору звалищного газу, з'явилося ще в 1937 році в Каліфорнії (США). Станом на 2024 рік у Сполучених Штатах Америки діють 542 енергетичні проекти зі збору звалищного газу. Розповсюджується ця технологія і в інших країнах світу, серед яких лідерами є Великобританія і Німеччина, де існує по кілька сотень таких об'єктів.

Щоб зменшити викиди метану зі звалищ, багато країн віддають перевагу направленню біорозкладаних відходів на переробку (у випадку паперу та картону), компостування чи анаеробного зброджування (у випадку садових і харчових відходів). Збільшення зусиль щодо скорочення та переробки відходів зменшить кількість біорозкладаних відходів, що викидаються на звалища.

Враховуючи, що сортування і переробка відходів - справа витратна і вимагає значних фінансових вкладень, то видобуток біогазу на звалищах можливо організувати швидко та при залученні відносно невеликих інвестицій. Шари твердих побутових відходів на звалищі постійно розрівнюються і зверху покривають шарами глини. У цій ситуації глина служить ізолюючим захистом від розповсюдження неприємного запаху та рознесення сміття (наприклад, під впливом вітру). Ці дії здійснюються щодня, доки котлован не заповниться повністю. Потім його покривають глиною, трамбують і покривають тонким шаром ґрунту. По площі полігону бурять свердловини на глибину звалища і збирають біогаз в колектори для подальшого цільового використання (рис.112). Для продуктивного відбору звалищного газу придатні полігони з накопиченим шаром відходів не менше 10 м.

Природне розкладання органічної речовини на сміттєзвалищі відбувається протягом багатьох років, і вироблений біогаз (звалищний газ) збирають від серії взаємопов'язаних труб, розташованих вертикально на різній глибині сміттєзвалища. На полігонах створюється мережа вертикальних свердловин, які з'єднані лініями газопроводів. Зазвичай свердловини розташовуються рівномірно по території звалищного тіла з кроком 50-100 м. Діаметр свердловин знаходиться в межах 0,6...1,2 м.

Товщу звалища умовно можна розділити на кілька зон (аеробну, перехідну і анаеробну), що розрізняються характером протікання мікробіологічних процесів. Бактерії розкладають відходи на звалищах у чотири фази. Коли

тверді побутові відходи потрапляють на звалище, вони проходять стадію аеробного (в присутності кисню) розкладання, коли утворюється переважно двоокис вуглецю, нітрати, сульфати і ряд інших простих з'єднань. По мірі накопичення відходів, зазвичай через 1 рік, в цьому шарі з низьким (менше 2%) вмістом кисню створюються анаеробні умови, метаногенні бактерії починають розкладати відходи та виробляти метан. Як правило, після першого року захоронення звалищний газ складається приблизно з 60% метану та 40% вуглекислого газу. Цей процес супроводжується саморозігрівом шару відходів до 30...40°C.. Рівень виробництва звалищного газу досягає максимуму приблизно через 5 років і в подальшому починає знижуватися.

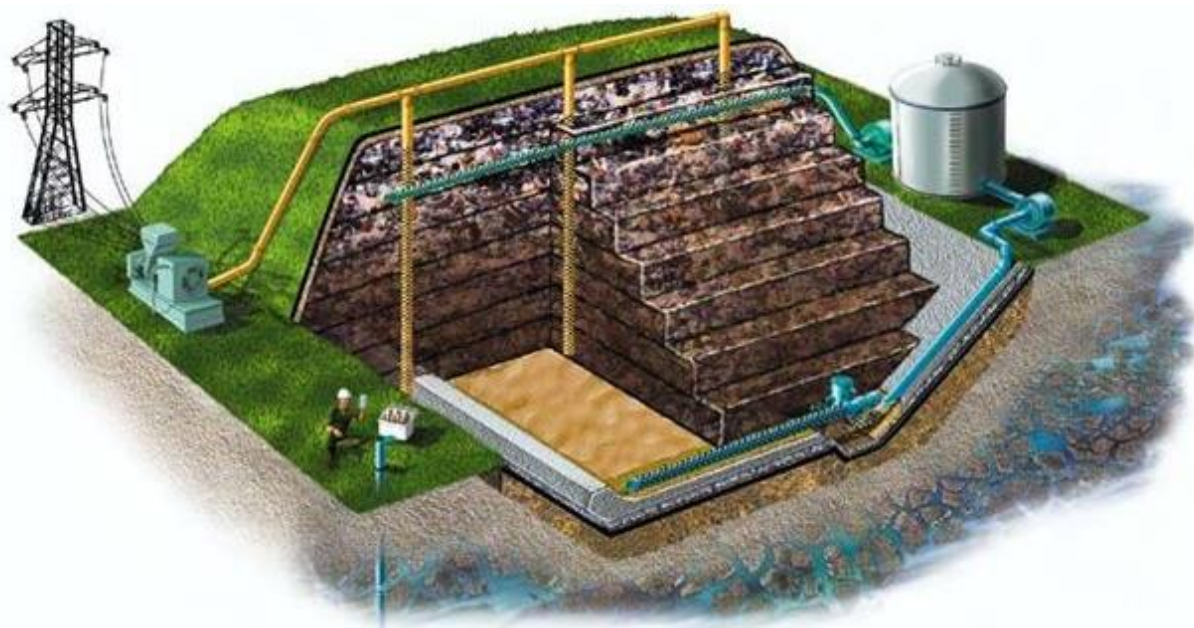


Рисунок 112 - Система збирання біогазу та фільтрату на закритому полігоні

Обсяг збору на полігоні залежить від відсотка органічних відходів і віку об'єкта, середній енергетичний потенціал становить близько 2 гігаджоулів на тонну відходів. На великому полігоні різні ділянки будуть одночасно на різних етапах. Відходи на звалищі можуть проходити кілька фаз розкладання одночасно. Склад звалищного газу змінюється з кожною фазою і впродовж терміну експлуатації полігону.

Система збору та підготовки біогазу включає:

- свердловини;
- газозбірні пункти з трубопроводами біогазу від свердловин;
- проміжний та магістральний газопроводи;
- вакуум-насосну станцію для вікачування звалищного газу із свердловин;
- систему підготовки біогазу (осушення та очищення);
- газгольдер (ємність для накопичення біогазу);

- паливник для спалювання звалищного газу в аварійних ситуаціях або за наявності надлишку.

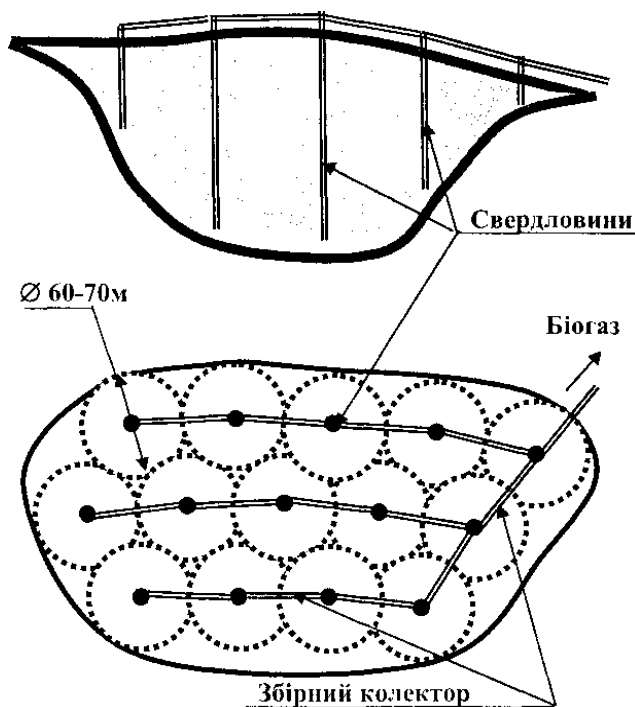


Рисунок 113 - Система відбору звалищного газу з полігону твердих побутових відходів

Вакуум-насос створює у системі трубопроводів незначне розрідження (близько 10 см водяного стовпа), достатнє для того, щоб газ відбирався з товщі відходів у газозбірники та для подолання місцевих опорів газопроводів. Установки по збору і утилізації звалищного газу монтуються на спеціально підготовленому майданчику за межами звалищного тіла. Звалищний газ, що надходить з свердловин, зосереджується в одну лінію колекторами, проходить через сепаратор (рис.117). В процесі сепарації відбувається збір рідкої фази, яка накопичується в системі трубопроводів в процесі охолодження звалищного газу. Для згладжування нерівномірності надходження й споживання біогазу служить газорегуляторна установка з резервуарами-накопичувачами.

Інженерне облаштування свердловини включає декілька етапів. На першому етапі в свердловину опускається перфорована сталева, пластикова або азбестоцементна труба діаметром 12...25 см з отворами на боковій поверхні, заглушена знизу і обладнана під фланцеве з'єднання у верхній частині. На дно свердловини засипається щебінь крупних фракцій, а потім в неї опускається труба. Для попередження закупорення отворів перфоровані труби відділяють від відходів шаром щебеню до глибини 3...4 м від гирла

свердловини. Отвори або пропили на стінках труб розташовуються в шаховому порядку. Верхня частина труби довжиною 1,5...2,0 має бути суцільною, без перфорації.

На останньому етапі навколо труби створюється глиняний замок для попередження притоку повітря у свердловину і виходу біогазу в атмосферу. Після завершення обладнання свердловини проводять установку оголовка свердловини, що являє собою металевий циліндр з газозапірною арматурою для регулювання дебіту свердловини, а також патрубком для приєднання свердловини до газопроводу.



Рисунок 114 - Збір звалищного газу від свердловин в колектор

Ефективний збір газу можна здійснити як на відкритих, так і на закритих полігонах, але закриті полігони мають більш ефективні системи завдяки стаціонарному розгортанню інфраструктури збору, оскільки активного заповнення не відбувається. Системи збору на закритих звалищах відбирають близько 85% утвореного звалищного газу, у порівнянні з близько 70% на відкритих звалищах, які продовжують заповнювати відходами.

З огляду на те, що з 1 т побутових відходів утворюється 120...240 м³ звалищного газу, можна визначити потенційні можливості звалищ як енергетичного джерела. Середня калорійність звалищного газу становить близько 5500 ккал/м³. Звалищний газ дешевший за природний газ і має приблизно половину його теплотворної здатності 16 785–20 495 кДж/м³. Крім метану звалищний газ містить H₂S, NO_x, SO₂, CO, неметанові леткі органічні сполуки, поліциклічні ароматичні вуглеводні тощо. Звалищний газ є непридатним для використання у побуті, оскільки містить компоненти, які шкідливі для здоров'я людини.

У світовій практиці відомі такі способи використання звалищного газу:

- факельне спалювання, що забезпечує усунення неприємних запахів і зниження пожежонебезпеки на території полігону твердих побутових відходів, при цьому енергетичний потенціал звалищного газу не використовується в господарських цілях;
- пряме спалювання звалищного газу для виробництва теплової енергії;
- використання звалищного газу в якості палива для газових двигунів з метою отримання електроенергії та тепла (рис.115);
- використання звалищного газу в якості палива для газових турбін з метою виробництва електричної та теплової енергії;
- доведення вмісту метану в звалищному газі (збагачення) до 94 -95% з подальшим його використанням в газових мережах загального призначення.

Звалищний газ необхідно очищати для видалення домішок, конденсату та абразивних частинок. Система очищення залежить від мети використання звалищного газу. Для прямого використання газу в котлах, печах або печах потрібна мінімальна очистка.

Використання газу для виробництва електричної енергії зазвичай потребує більш глибокого очищення. Системи очищення поділяються на первинну та вторинну обробку. Системи первинної обробки видаляє вологу, коли газ проходить через фільтр і вакуум - насос. При первинній обробці поширені охолодження та стиснення звалищного газу.

У системах вторинної очистки використовуються різноманітні фізичні та хімічні процеси очищення, залежно від кінцевого використання. Вторинна обробка передбачає використання додаткового охолоджувача або іншого додаткового видалення вологи, а потім видалення сірки та стиснення. Адсорбція та абсорбція є найпоширенішими технологіями, які використовуються для вторинної обробки. Після видалення домішок на етапі вторинної обробки звалищний газ можна використовувати для виробництва електроенергії або як паливо котлів і транспортних засобів.

Глобальний збір звалищного газу складає близько 1,2 млрд. м³ на рік. Наявність величезних захоронень твердих побутових відходів, а також вдосконалення технологій видобутку і очищення звалищного газу дозволяє припустити, що його значення в майбутньому буде зростати. Близько 63 % нині діючих енергетичних проєктів зі звалищного газу в США виробляють електроенергію.

Все ширше звалищний газ використовується як паливо для транспорту. У глобальних масштабах частка звалищного газу як транспортного палива поки невелика - менше 1%, але вона постійно зростає в таких країнах, як Німеччина, Франція, Швеція, Швейцарія.



Рисунок 115 – Когенераційна установка потужністю 600 кВт на полігоні твердих побутових відходів в м. Кропивницький

Станом на 01 січня 2025 року на полігоні побутових відходів в місті Кропивницький в експлуатації перебуває 78 свердловин. Комплексна інженерна споруда з системою збору біогазу у 2024 році забезпечила вироблення 3,268 млн. кВт електроенергії.

Різноманітність технологій, включаючи поршневі двигуни внутрішнього згоряння, турбіни, мікротурбіни та паливні елементи, можна використовувати для виробництва електроенергії для використання на місці та/або продажу в мережу.

Поршневі двигуни є найбільш часто використовуваним обладнанням для виробництва електроенергії зі звалищного газу через його відносно низьку вартість, високу ефективність. Поршневі двигуни внутрішнього згоряння для виробництва електроенергії при роботі на звалищному газі зазвичай досягають ККД від 25 до 35 %. Двигуни фірми Jenbacher розроблені спеціально для роботи на звалищному газі з високою ефективністю, незважаючи на низьку теплотворну здатність, а також коливання якості газу та його тиску. Деталі такого двигуна спроектовані стійкими до домішок, які містяться у звалищному газі.

На сьогодні є приклади цільового захоронення відходів з метою отримання звалищного газу. Наприклад, у Франції біля м. Париж працює найбільший в Європі центр поводження з твердими побутовими відходами і їх переробки. Це підприємство виробляє зі звалищного газу електроенергію, яка поставляється в національну електромережу. Центр щодня приймає по 3500 т (400

вантажівок) розсортованих населенням твердих побутових відходів, зібраних на території мегаполісу. В складі центру є спеціальний полігон, де розміщуються відходи для анаеробного розкладання з утворенням звалищного газу. Розсортовані нетоксичні відходи скидаються у величезний котлован глибиною 4 м, який покривається шаром піску. Далі трактори рухаються по цьому майданчику та ущільнюють відходи. Згодом проводиться встановлення труб для збору звалищного газу, по яким він подається на установку, яка генерує електроенергію. Щорічно на потужностях цього Центру виробляється 130000 МВт·год електроенергії та генерується тепло.

В Україні загальний потенціал газовидобутку на вітчизняних полігонах відходів оцінюється близько 1,5 млрд. м³ на рік. Нині він використовується лише на кілька відсотків.

9.3. Аеробна ферментація при переробці органічних відходів

Одним з поширених у сільському господарстві способів відновлення відходів тваринництва і птахівництва є компостування. Компостування - це аеробний природний процес розкладання органічних речовин різними видами грибків і бактерій, в результаті чого органічні відходи перетворюються на ґрунтоподібний матеріал, який називається компостом. Компост - багате гумусом органічне добриво, отримане в результаті аеробної біоконверсії, яке забезпечує збагачення ґрунту поживними речовинами та посилює активність мікроорганізмів для живлення рослинних культур. Вміст гумусу є визначальним чинником родючості ґрунтів. В природних умовах джерелом утворення гумусу є аеробна ферментація рослинних решток, в першу чергу опалого листя. Утворений компост є важливим джерелом поживних речовин, таких як азотовмісних з'єднань, для рослин. Компост запобігає вимивання мінеральних речовин, утримує вологу, покращує аерацію ґрунтів, захищає рослини від впливу згубних ґрунтових мікроорганізмів.

Компостування відповідає чотирьом основним цілям управління відходами, таким як: зменшення об'єму відходів, стабілізація відходів, стерилізація відходів та виробництво з відходів цінного продукту.

Компостування набуває все більшого значення як метод централізованого поводження з відходами завдяки його перевагам у вигляді зменшення обсягу відходів та утворення корисних продуктів із доданою вартістю. Будучи екзотермічним процесом, тепло, що виділяється в процесі біоконверсії, підвищує температуру компосту та забезпечує знищення хвороботворних мікроорганізмів, личинок мух, яєць гельмінтів і насіння бур'янів. В результаті протікання хімічних реакцій відбувається виділення вуглекислого газу та води,

а органічні компоненти сумішей розігріваються до 60-65°C. Компостування є біотермічним процесом, в результаті якого відбувається мінералізація і гуміфікація органічних компонентів компостних сумішей. Процес протікає в аеробних умовах під впливом різноманітних мікроорганізмів, в основному термофільних. Аеробне компостування сприяє зниженню неприємного аміачного запаху гниючих відходів, збереженню азоту, прискоренню розкладання клітковини і органічних сполук, підвищенню вмісту доступних елементів для живлення рослин. Занепокоєння щодо викидів з поверхні звалищ в атмосферу у складі звалищного газу метану призвело до збільшення інтересу до компостування як стратегічного напрямку боротьби з викликами глобального потепління.

Компостування відповідає чотирьом основним цілям управління відходами: зменшення об'єму відходів, стабілізація відходів, стерилізація відходів та виробництво з відходів цінного продукту.

Наказом Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України 13 червня 2023 року № 489 затверджено «Правила компостування біовідходів їх утворювачами на присадибних, дачних і садових ділянках». Ці Правила встановлюють перелік біовідходів, які можуть підлягати компостуванню: змішані органічні відходи; скошена трава (листя, сіно, солома); рослинні відходи (квіти, деревна кора, деревина, обрізки дерев і кущів), відходи від оброблення деревини (тирса, стружка тощо), які не були оброблені хімічними речовинами; просрочені продукти харчування (продукти рослинного походження); окремо зібрані харчові відходи; відходи від переробки олійних культур, ячменю, хмелю, які не були оброблені біологічними або хімічними реагентами; паперова та картонна упаковки для продуктів харчування та кормів для тварин.

Не використовуються для компостування неорганічні відходи (скло, пластик, метал, недопалки, ватні диски, гігієнічні палички тощо), хімічні речовини (фарба, розчинники тощо), залишки м'яса, риби та кісток, молочні та кисломолочні продукти, сир, хлібобулочні вироби та печиво, олія, жир, фекалії тварин і наповнювачі для туалетів.

Ідеальною сировиною для компостування є незабруднені органічні відходи аграрного виробництва з високим вмістом вуглецю. Розвиток тваринництва спричиняє утворення у величезних об'ємах гною. Аеробне компостування відходів тваринництва є ефективним методом перетворення гною в гігієнічний, багатий гумусом і поживними речовинами, стабілізований продукт, який не має фітотоксичності.

У Німеччині з 13,65 млн т біорозкладаних відходів із приватних домогосподарств та установ на компостних заводах обробляється близько

7,41 млн т. Федеральне статистичне відомство також підрахувало, що у 2020 році приватні домогосподарства самостійно компостували та використали у сільському господарстві для удобрення полів, в садівництві та в формуванні ландшафтів близько 2,6 млн. т (31 кілограм на душу населення) утворених біовідходів.

Занепокоєння щодо викидів з поверхні звалищ в атмосферу у складі звалищного газу метану призвело до збільшення інтересу до компостування як стратегічного напрямку боротьби з викликами глобального потепління. В аеробних біохімічних реакціях взаємодіють органічний матеріал, кисень і аеробні мікроорганізми. На відміну від анаеробного розкладання, для розщеплення органічних матеріалів використовується кисень, необхідний для життєдіяльності таких мікроорганізмів, як бактерії, гриби або хробаки. Органічні речовини в процесі гниття розкладаються з утворенням гумінових кислот, які добре засвоюються рослинами. Завдяки цьому формуються продукти, що мають високу удобрювальну цінність, а саме підвищене утримання рухомих форм поживних елементів (P_2O_5 , K_2O , N), сприятливий рівень рН. У результаті компостування синтезується гумус, вміст якого визначає родючість ґрунту. Компост запобігає вимивання мінеральних речовин, утримує вологу, покращує аерацію ґрунтів, захищає рослини від впливу згубних ґрунтових мікроорганізмів.

Головними параметрами процесу, які визначають отримання якісного компосту, є: вміст вологи, концентрація кисню, співвідношення C/N і температура маси відходів. Оптимальна вологість для протікання аеробного процесу 40...60%. У сухому середовищі різко сповільнюється активність мікроорганізмів. Під час компостування мікроорганізмам також потрібен вуглець як джерело енергії та азот для створення білків. Бактерії і грибки, які знаходяться в компості, використовують вуглець як джерело живлення та синтезують протеїни, використовуючи азот. Збалансоване співвідношення вуглецю до азоту (C/N) має вирішальне значення для забезпечення ефективного розщеплення органічної речовини для отримання багатого поживними речовинами компосту. При компостуванні ідеальним співвідношенням є 20-30 частин вуглецю на 1 частину азоту. В процесі компостування відношення C/N у більшості відходів знижується від 25 до 1. Чим більше вуглець-азотний баланс відхиляється від оптимального, тим повільніше протікає процес компостування.

Щоб збалансувати співвідношення поживних елементів рослин, зменшити втрати азоту і збільшити біологічну активність мікроорганізмів, до сировинної маси під час закладання буртів з відходів додають фосфорні і калійні мінеральні добрива. На 1 т сировини для компостування додають 2...3 кг

подвійного суперфосфату, 1 кг сульфату калію, 2...3 кг сульфату амонію, 1 кг сульфату магнію, 60 г борної кислоти або борату натрію, 3...5 кг меленого гіпсу (крейди, вапна, доломітової муки).

Процес утворення компосту з відходів умовно поділяють на 4 фази.

Фаза розігріву маси. На цій стадії відбувається розкладання відходів, під час якого виділяється теплова енергія і сировинна маса саморозігрівується. Розігрівання починається в середньому на третій день після початку процесу і триває 2 - 3 тижні. Максимальна температура, яка досягається в процесі компостування 70°C. Екзотермічний характер процесу значно прискорює розкладання таких складових, як целюлоза та протеїни. Починаючи від температури в 50°C відбуваються процеси втрати схожості насінням бур'янів і загибель гельмінтів. Так, насіння бур'янів втрачає схожість при температурі 40°C за 3...4 тижні; 50°C - за 1 тиждень; 55°C – 1...2 доби. При нижчих температурах компостування загибель гельмінтів відбувається через 4...6 місяців компостування, але насіння бур'янів не втрачає схожість.

Фаза аерації. Після 2...3 тижнів витримки температура всередині компостуємої маси поступово знижується до 30°C. У цей період починають швидко розмножуватися ґрунтові бактерії і грибки, що сприяє розпаду органічних речовин, інтенсивно утворюється вуглекислий газ, аміак і метан. Зі зниженням температури активізуються гриби, що викликають розкладання волокон соломи і деревного матеріалу. Зі зниженням температури знижується рівень рН компостної маси (підвищується рівень кислотності).

Розкладання органічної речовини субстрату, що ініціюється аеробною мікрофлорою, вимагає постійного надходження кисню та відведення газоподібних продуктів окиснення. Накопичення вуглекислого газу, знижуючи окисний потенціал, гальмує процес компостування. Накопичення вуглекислого газу, знижує окислювальний потенціал компостної маси та гальмує процес ферментації. Для забезпечення необхідної кількості кисню і оптимальної вологості у всьому об'ємі, проводять перемішування і додаткове зволоження компостуємого матеріалу. Це сприяє відведенню газоподібних продуктів окиснення та розмноженню необхідної мікрофлори. Внесення недозрілих компостів до ґрунту може призвести до їх подальшого розкладання і мати шкідливий вплив на ріст рослинності через брак кисню та/або наявність фітотоксичних речовин.

Для інтенсифікації біоконверсії субстрату в аеробних умовах при компостуванні доцільно застосовувати періодичну аерацію суміші повітрям. Зазвичай цього досягають додатковим механічним перемішуванням компостної маси.

Фаза структурування. У цій фазі відбувається структурування і стабілізація складу компостуємого матеріалу, утворюється гумус і інші складові компосту. Мікроорганізми активно споживають азот та синтезують протеїни. Утворена маса характеризується частковим відмиранням термофільних мікроорганізмів та переходом їх в стан спор.

Фаза витримки компосту. Остаточне утворення компосту відбувається за 6...9 місяців. На цій стадії компостний штабель заселяють червоні компостні черви та інші ґрунтові організми. По завершенні цієї стадії обсяг компосту становить приблизно половину від початкового об'єму закладених відходів, він такого ж кольору, як і темний, родючий ґрунт, і готовий до використання. Більш тривала витримка компосту не доцільна, оскільки це сприяє частковій мінералізації органічних речовин і компост починає втрачати якість.

На відміну від виробництва біогазу, який отримують в метантенках, компостування відходів може реалізуватися в польових умовах. Даний метод відновлення вимагає значно менших капітальних затрат у порівнянні з анаеробною обробкою відходів з отриманням біогазу у метантенках. Однак при компостуванні виникає необхідність використання значних площ та утворення неприємних запахів на початкових стадіях розкладання відходів і їх перемішування.

Місцем для компостування може бути окремий майданчик або декілька ділянок на полях господарства, бажано неподалік від ферм, щоб спростити питання логістики та зменшити витрати пального. Ділянка компостування повинна мати нахил під кутом 1–1,5°. Завдяки цьому волога після опадів не накопичується між штабелями й не перешкоджає проходженню аеробного компостування. Ділянки компостування мають бути віддалені від індивідуальних колодязів на відстань не менше 5 м, при цьому відстань до громадських колодязів має перевищувати 50 м.

Компостування у штабелях є одним із найбільш поширених методів промислового компостування. Штабелі - це довгі ряди органічних відходів. Для ефективного використання площі орієнтовні розміри штабеля повинні бути такими: довжина до 100 м, ширина - 2,5 м, а висота - 1,8 м.

При польовому компостуванні відходи розвантажують на вирівняний майданчик. Бульдозером формують штабелі, в яких відбуваються процеси компостування. Між штабелями залишають відстань 3...6 м для проїзду техніки. Висота трапецієвидного штабеля у поперечному перетині не повинна перевищувати 1,5...2,0 м при його ширині в основі, рівній 2,5...3,0 м. Для запобігання розсіюванню легких фракцій відходів, інтенсивному розмноженню комах і усуненню неприємного запаху, поверхню штабелів вкривають шаром дозрілого компосту товщиною до 0,2 м або полімерною плівкою.

Штабелі компосту необхідно перемішати через 7...10 днів після початку інтенсивного біотермічного процесу та повторити через 1,0...1,4 місяці. Польове компостування аеробним способом здійснюється за допомогою спеціальної техніки - причіпних або самохідних перетрушувачів компосту (аераторів). Аератори мають барабан із лопатками, які подрібнюють та перемішують органічний матеріал, тим самим забезпечуючи потрапляння кисню всередину компостної маси та відведення вуглекислого газу. За допомогою системи зволоження та внесення інокулянту з бактеріями агрегат прискорює процес розкладання органічних матеріалів та перехід азоту з амонійної у найбільш доступну для рослин нітратну та нітритну форми (рис. 116 - 117).

При компостуванні в статичних буртах органічні речовини змішуються з сипучими сухими матеріалами, такими як деревна стружка та подрібнений папір. Це дозволяє повітрю проходити в товщу бурта без необхідності регулярного перетрушування. У деяких випадках органіку розміщують над трубами, що подають повітря та забезпечують інтенсивну аерацію кожної частини бурта (рис. 118).

Найбільш якісний і цінний компост отримують при переробці чистих відходів сільськогосподарського виробництва в польових умовах. Готовий до використання компост має наступні характеристики:

- рихлий, однорідний матеріал, з розміром часток не більше 120 мм;
- вологість – 60...70%;
- слаболужна або нейтральна реакція середовища (рН не менш 6,0);
- відношення C: N = 20 ...30;
- вміст органічних речовин є не меншим 75%;
- поживні речовини знаходяться в прийнятному для засвоєння рослинами вигляді і складають не менше 50% від загального складу;
- вміст близько 0,6% N, 0,2% P₂O₅ і 0,6% K₂O;
- у компості відсутні яйця і личинки гельмінтів, патогенних мікроорганізмів у небезпечної концентрації та насіння бур'янів, яке зберегло схожість.

Компостування є найпростішим способом знешкодження і переробки твердих побутових відходів. Якщо на санітарних полігонах знешкодження протікає протягом 50...100 років, то при польовому компостуванні цей процес відбувається за 6...18 місяців залежно від кліматичних умов. Технологія польового компостування все ширше застосовується для відновлення органічної складової твердих побутових відходів. При сортуванні відходів на сортувальних лініях дрібні однорідні відходи не відбираються, а просипаються на першому етапі сортування через вібраційне сито, вивантажуються безпосередньо в приймальний бункер преса

– компактора та вивозяться на ділянки польового компостування. З екологічного погляду дуже важливим при компостуванні твердих побутових відходів є попереднє видалення небезпечних побутових відходів - відпрацьованих гальванічних елементів і акумуляторів, люмінесцентних ламп, фарб, металів. До матеріалів, які необхідно видаляти перед закладанням на компостування, відносять консервні банки, різні металеві вироби, скло, каміння, керамічні вироби, відходи тканин з синтетичних волокон. Досвід компостування свідчить, що при будь-якому способі сортування твердих побутових відходів не вдається повністю уникнути потенційної небезпеки попадання в компост небажаних для здоров'я людини речовин.



Рисунок 116 - Механізоване перетрушування та зволоження штабелів при компостуванні відходів тваринництва у польових умовах

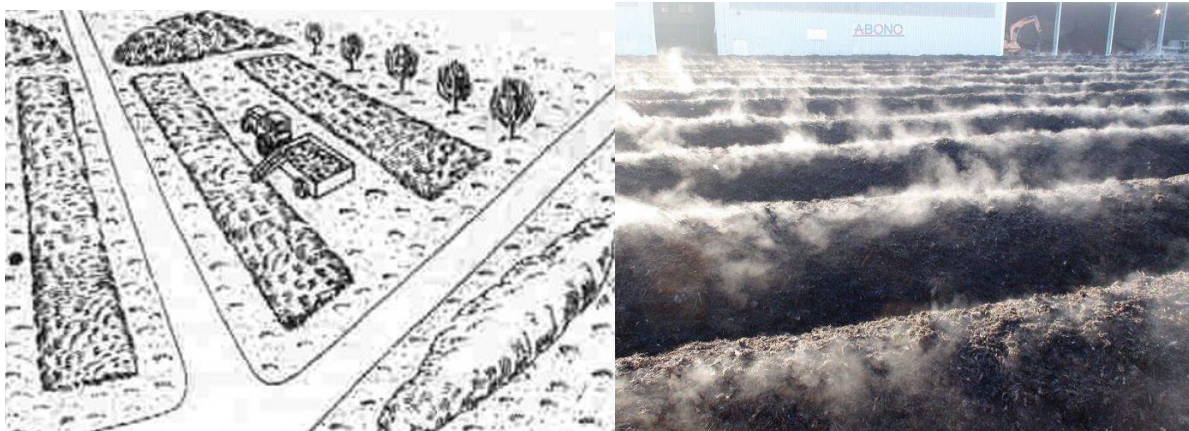


Рисунок 117- Польове компостування відходів

При сортуванні відходів на сортувальних лініях дрібні однорідні відходи не відбираються, а просипаються на першому етапі сортування через вібраційне сито, вивантажуються безпосередньо в приймальний бункер преса – компактора та вивозяться на ділянки польового компостування. З екологічного погляду дуже важливим при компостуванні твердих побутових відходів є попереднє видалення небезпечних побутових відходів - відпрацьованих гальванічних елементів і акумуляторів, люмінесцентних ламп, фарб, металів. До матеріалів, які необхідно видаляти перед закладанням на компостування, відносять консервні банки, різні металеві вироби, скло, каміння, керамічні вироби, відходи тканин з синтетичних волокон. Досвід компостування свідчить, що при будь-якому способі сортування твердих побутових відходів не вдається повністю уникнути потенційної небезпеки попадання в компост небажаних для здоров'я людини речовин.



Рисунок 118 - Примусова аерація штабелів компостного субстрату

Для очищення компосту від плівкових баластних фракцій використовують пневматичні сепаратори. Пневмосепаратор являє собою вертикальну робочу шахту, в яку через шлюз зверху подають відходи для розділення. При пересипанні компост продувається струменем повітря. Більш легкі фракції полімерної плівки осідають повільніше і розміщуються на стрічці конвеєра

зверху над компостом. Далі плівка в зоні розрідження втягується по системі повітроводів і вивантажується в контейнер.

Для очищення компосту від щільних баластних фракцій застосовують методи балістичної сепарації. Потік відходів, які проходить сепарування, розганяють ротором до лінійної швидкості 2...7 м/с. В основі методу балістичної сепарації лежить здатність більш щільних складових, які мають більшу інерційність, пролітати більшу відстань перед попаданням у контейнер (рис.119). Залежно від вологості сировини, повнота відділення скляних включень в балістичних сепараторах становить 20...60%.

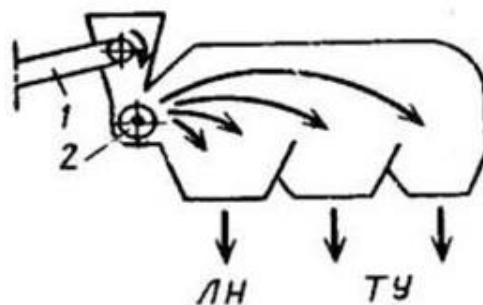


Рисунок 119 – Балістична сепарація компосту: 1-стрічковий транспортер; 2 – ротори; ЛН – фракція легких матеріалів; ТУ – фракція важких матеріалів

При обмежених площах ділянок для аеробної переробки органічної складової твердих побутових відходів застосовують заводську технологією барабанного компостування. Біотермічне компостування твердих побутових відходів у світовій практиці розвивалося як альтернатива спалюванню відсортованих відходів. Основним технологічним обладнанням для компостування на сміттєпереробних заводах є обертові біотермічні барабани (рис. 120). Барабанне компостування, на відміну від компостування у штабелях, забезпечує:

- інтенсивну примусову аерацію відходів;
- подрібнення та постійне перемішування відходів, що збільшує їх питому реакційну поверхню;
- покращення водного та повітряного режим розвитку мікрофлори;
- пасивне початкове розігрівання свіжих відходів.

Біотермічні барабани випускають на базі цементних печей діаметром 4 м двох типорозмірів - довжиною 36 і 60 м. Біотермічний барабан є зварним сталевим циліндром, який встановлено на кількох роликів опорах з ухилом у бік розвантажувального пристрою. Зовні біотермічний барабан покривають

шаром теплоізоляційного матеріалу для підтримання необхідного температурного режиму.

Побутові відходи доставляють на завод сміттевозами, які розвантажуються в прийомні бункери. Відходи з бункерів розвантажують на стрічкові конвеєри, по яких вони направляються в сортувальний корпус для первинного сортування, оснащений грохотами, електромагнітними й аеродинамічними сепараторами. Відсортовані органічні відходи, призначені для компостування, подають в завантажувальні пристрої біотермічних барабанів. Біотермічний барабан періодично з однієї сторони завантажується до половини корисного об'єму свіжими відходами, а з іншої сторони одночасно проводиться вивантажування утвореного компосту. Свіжі відходи, що завантажуються в барабан, потрапляють в середовище з сприятливими умовами для розвитку активного біотермічного процесу, що дозволяє скоротити тривалість циклу їх компостування. Прискорення біотермічного процесу на початковій стадії компостування досягається за рахунок перемішування відходів при обертанні барабана (до 1000 оборотів на добу), підтриманням оптимальної вологості відходів (45-60%) і саморозігріву біомаси. Для забезпечення примусової аерації на корпусі біотермічних барабанів встановлені вентилятори, які подають свіже повітря (до 0,8 м³ повітря на 1 кг відходів) у товщу відходів. При таких умовах достатньо 2...3 діб для завершення першої і другої фаз компостування, тобто саморозігріву відходів спочатку до температури 33...38°C мезофільною мікрофлорою, а потім до температури 50...70°C термофільною мікрофлорою.

Розвантажують біобарабани на стрічкові конвеєри, які доставляють компост в сортувальний корпус, в якому встановлені балістичні сепаратори скла і інерційні грохоти (сита). За дві доби процес ферментації в біобарабані не встигає завершитися. Завершення другої фази компостування і її третя фаза відбуваються вже на майданчиках компостування. Тривалість дозрівання компосту на зовнішньому майданчику складає не менше 2 місяців при висоті штабеля до 2 м.

Практика застосування компосту з твердих побутових відходів у якості добрива свідчить про забруднення ним ґрунту важкими кольоровими металами (ртуттю, сурмою, цинком, кадмієм, свинцем, міддю), що викликає подальше накопичення цих елементів у сільгосподарських продуктах. Крім того, в компості з твердих побутових відходів завжди присутня певна кількість дрібних шматків пластмаси, гуми, битого скла та інших компонентів, які при внесенні компосту у якості добрива знижують родючість ґрунту.

Відповідно до європейських норм, максимально допустимий вміст важких металів у компості становить 752,5 мг на кілограм сухої маси. Реальний вміст

важких металів у компості, який отримано з розсортованих твердих побутових відходів, може перевищувати нормативні вимоги в 2...5 разів.

На сьогодні у ряді європейських країн використання компосту з твердих побутових відходів в якості добрива заборонено законодавчо, в інших визнано недоцільним. Компост, який отримано з твердих побутових відходів, дозволяється використати лише в лісових розплідниках, при озелененні, вирощуванні квітів, рекультивації земель, у якості заповнювача для покриття заболочених земель, покривного матеріалу у технології полігонного захоронення твердих побутових відходів.

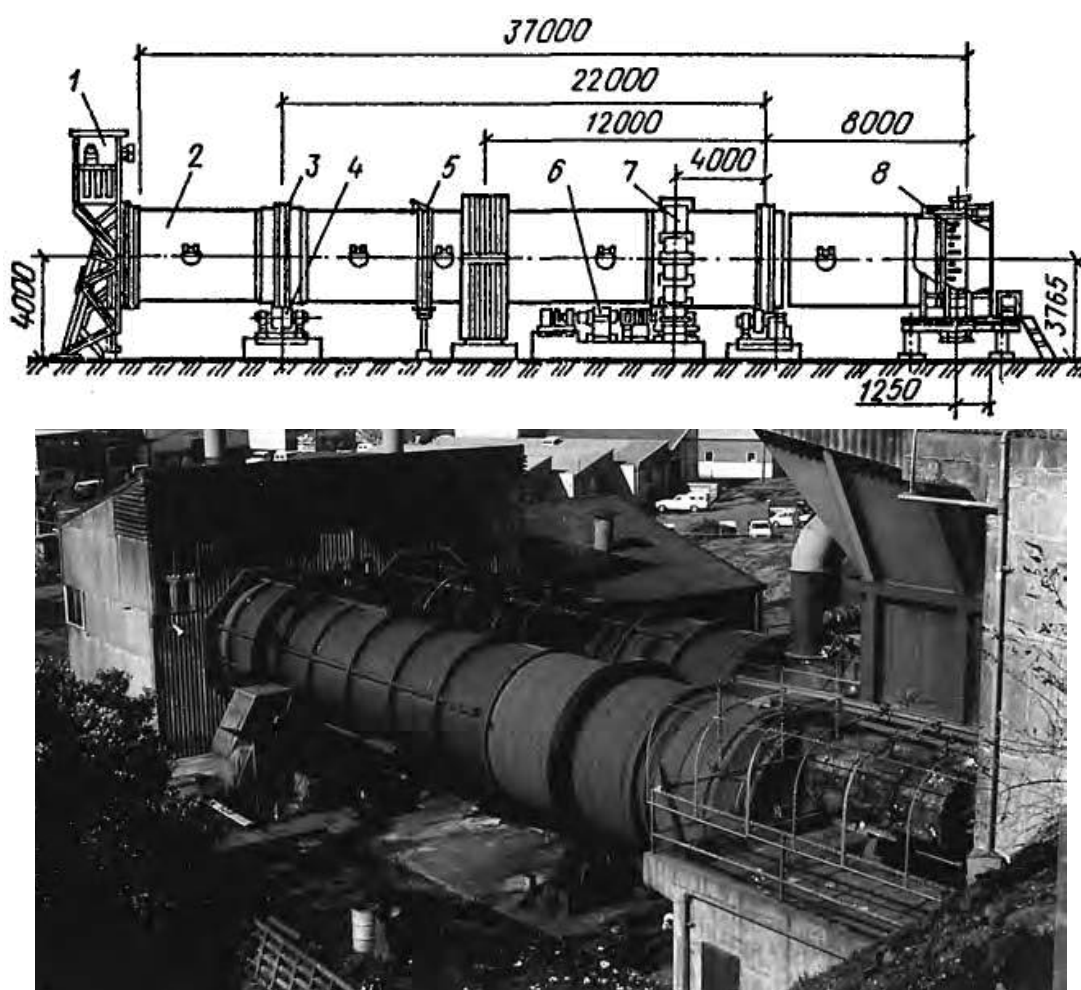


Рисунок 120 - Біотермічний барабан (ферментатор для аеробного компостування): 1 - завантажувальний пристрій, 2 - корпус, 3 - бандаж, 4 – ропикова опора, 5 - контактні кільця термодатчиків, 6 - електропривід, 7 – розвантажувальний пристрій

Внаслідок посилення вимог до складу компосту, який використовується у якості добрива, майже у всіх європейських країнах для компостування використовують лише продукти, одержані з відходів тваринництва.

9.4.Вермікомпостування

При відновленні відходів тваринництва і рослинництва розширюється використання нових безвідходних екологічно чистих та високорентабельних біотехнологій. Однією з них, є технологія вермікомпостування – природний метод аеробного компостування з використанням для переробки органічних субстратів червоних дощових черв'яків. Це мезофільний процес біоконверсії органічних відходів з використанням мікроорганізмів і дощових черв'яків. Дощові черв'яки харчуються органічними відходами, пропускають їх через свою травну систему і виділяють послід у гранульованій формі (кокони), яка відома як вермікомпост. Вермікомпост – це екскременти дощових черв'яків, які можуть покращувати біологічні, хімічні та фізичні властивості ґрунту. Виділення з травного тракту дощового червяка допомагають розщеплювати ґрунт і органічні речовини. Поживним субстратом для дощових черв'яків є різні органічні відходи рослинництва, тваринництва, побутові відходи, осаді стічних вод.

Предметом вермікультури є штучно виведені, високопродуктивні, гібридні лінії черв'яків. Червоний дощовий черв'як зазвичай має комерційне найменування "червоний каліфорнійський гібрид", оскільки саме в штаті Каліфорнія Сполучених Штатів Америки почалося інтенсивне культивування його в п'ятдесяті роки минулого століття. Серед різних видів в результаті селекції на основі гнойового і дощового черв'яків у 1959 році американцем Барретом був отриманий культурний гібрид черв'яка, який відрізнявся від природних форм у 10 разів більшою плодючістю та у 4 рази більшою тривалістю життя. В середньому один черв'як дає потомство 200...400 особин в рік. Тривалість життя особини – до 16 років (дикі форми живуть лише 4 роки). Доросла особина досягає у довжину 8–10 см, у діаметрі 3–5 мм, має масу 0,8...1 г (рис.121). За добу такий черв'як споживає кількість корму, що приблизно дорівнює його масі (близько 1 г). Для вирощування черв'яків оптимальною є температура 20...22⁰С, а критичною - нижча від 0⁰С та вища від 42⁰С. При температурі 7⁰С черв'яки впадають у стан анабіозу

Каліфорнійських черв'яків вирощують траншейним способом, в контейнерах, або в неглибоких кюветах. Для проведення ферментації органічні відходи буртують на рівному майданчику. Бурти повинні мати розміри: ширину – 1,7...2 м, довжину – 15...80 і висоту – 1,5...2 м.

Вермікомпостування можна проводити цілорічно в закритих опалювальних приміщеннях на стелажах, в дерев'яних, металевих або пластикових ящиках, розташовуючи їх поверхами і в грядках на бетонній підлозі. Ширина стелажів та гряд складає від 1,0...1,2 м. У закритих приміщеннях 1...2 м площі дає в два

рази більше товарної біомаси червоних каліфорнійських черв'яків, ніж на відкритому повітрі.



Рисунок 121 - Червоний каліфорнійський червяк



Рисунок 122 - Стелажі для вермікомпостування

Кормом для черв'яків є різні органічні відходи з високим вмістом целюлози. Черв'яки надзвичайно чутливі до аміаку, який виділяється у відходах, що розкладаються. Допустимий рівень вмісту у відходах аміаку складає 0,5 мг/кг субстрату. При більш високому вмісті аміаку черв'яки гинуть, тому не можна застосовувати в якості поживного субстрату свіжий гній або гній з сечею тварин.

Відходи тваринництва заздалегідь ферментують, а для прискорення процесів ферментації і звільнення від аміаку бурти з початковим субстратом періодично піддають аерації. В умовах доступу води і кисню під впливом мікроорганізмів-аеробів, які є на субстраті, органічні відходи розкладаються. Після 1,0 - 1,5 місяців зберігання на поверхню бурту з гноєм вноситься маткова культура черв'яків з розрахунку 10 - 12 тис. на 1 м² поверхні. В цілях підтримки сприятливої для життєдіяльності черв'яків температури (20...25°C) компост укривають соломкою; а в деяких випадках – полімерною плівкою.

Внаслідок переробки органічних відходів черв'яки продукують цінне органічне добриво – біогумус, який містить у собі елементи живлення для рослин, а також біологічно активні речовини, що стимулюють ріст і розвиток сільськогосподарських культур. Під час переробки черв'яками 1 т гною (у перерахунку на суху біомасу) отримується до 600 кг добрива (біогумусу) із вмістом 25...40 % гумусових речовин. Решта (400 кг) органічних поживних речовин трансформуються в 100 кг повноцінного білка у вигляді біомаси живих черв'яків.

На першій стадії вермікомпостування проводять хімічний аналіз конкретного субстрату та визначають склад суміші, яку необхідно приготувати для подальшого вермікомпостування. На другій стадії вермікомпостування в субстрат вносять вермікультуру із розрахунку 100 черв'яків на 1 м² площі гряди з приготованою сумішшю. Внесення вермікультури доцільно проводити увечері або в похмурий день. Гряду з субстратом, заселеним вермікультурою, зверху накривають травою для захисту від сонця і зниження випаровування води. Гряди періодично поливають та розпушують їх верхній шар. Вермікомпостування проводять впродовж 2...3 місяців при температурі від 16...32°C. Після закінчення процесу вермікомпостування вермікультуру відокремлюють від готового компосту на механічних віброситах з розміром отворів від 0,5 см до 1 см. Черв'яків, що залишаються на ситі, використовують для подальшого отримання вермікомпосту з наступної партії органічної речовини. Отриманий компост підсушують в потоці гарячого повітря до вологості від 50% до 60%.

Питому продуктивність споруд вермікомпостування треба приймати у наступних межах:

- для закритих приміщень: по вихідній компостній суміші - 1,5 т/м², готовому біогумусу - 0,7 т/м², по біомасі вермікультури - 22 кг/м² в рік.
- для відкритих майданчиків: по вихідній компостній суміші - 0,7 т/м², готовому біогумусу - 0,33 т/м², по біомасі вермікультури - 10,5 кг/м² в рік.

Метод вермікультивування дозволяє трансформувати різні відходи у повноцінний білок тваринного походження, придатний для використання у

годівлі тварин та птахів, а також у зернистий біогумус. Білок черв'якової біомаси має амінокислотний склад, який є аналогічним м'ясо-кістковому та рибному борошну, що дозволяє використовувати його як джерело повноцінного білка для збалансування раціонів годування сільськогосподарських тварин, особливо птиці.

До недоліків виробництва вермікомпосту відноситься:

1. Процес перетворення органічних відходів у корисні форми трудомісткий і може тривати до півроку. Спекотна та холодна погода може вплинути на активність черв'яків, впливаючи на швидкість компостування.

2. Вермікомпостування вимагає значного догляду.

3. В процесі вермікомпостування виділяється неприємний запах.

5. Необхідно постійно підтримувати оптимальний рівень вологості.

6. Обмеження кількості відходів, які можна компостувати за один цикл.

Нині метод вермікультивування сільськогосподарських відходів набув широкого розповсюдження у багатьох країнах світу - Китаї, Японії, Філіппінах, Австралії, у Франції, Італії, Німеччині, Швейцарії.

На полігоні «Екостайл» (м.Кропивницький) червоні каліфорнійські черв'яки використовуються для відновлення вивезеного з міста і зсипаного у прямокутні бурти опалого листя.

9.5.Виробництво паливних гранул і брикетів

Паливо є товаром, який сьогодні відіграє ключову роль у формуванні світової економіки. Світовий попит на викопне вугілля постійно зростає. Його видобуток у першій половині 2023 року зріс приблизно на 1,5%, досягнувши приблизно 4,7 млрд т, завдяки збільшенню виробництва електроенергії та промислового використання. При використанні викопного палива в атмосферу вивільняється значна кількість з'єднань вуглецю, які викликають різноманітні кліматичні зміни і сприяють глобальному потеплінню. Шкідливі наслідки, викликані спалюванням викопного палива, включаючи викиди парникових газів і глобальне потепління, призвели до пошуку нових, відновлюваних і чистих альтернатив для виробництва електроенергії. Європейські країни потребують 10 млн т паливних гранул (пелетів) щорічно, але всередині Євросоюзу виробляється тільки 7 млн т. Тому країни ЄС готові закуповувати пелети і брикети в значних обсягах, що перевищують поточні пропозиції, наприклад, українських виробників. Це означає, що у компаній в Україні, які займаються виробництвом брикетів і пелет, є реальна можливість збільшити прибутковість свого бізнесу і отримати додаткові джерела доходу.

Використання залишків сільськогосподарського виробництва та органічних відходів у якості замінників викопного палива має значний потенціал для використання як відновлюваного та сталого джерела для виробництва біоенергії. Світовий ринок палива з біомаси готовий до значного зростання, причому з 2023 по 2030 рік очікуваний середньорічний темп зростання за прогнозами має скласти приблизно 7,75%. Під час згоряння вуглець, що вивільняється, врівноважує вуглець, який рослини поглинають з атмосфери під час їх росту, роблячи їх практично вуглецево-нейтральними.

Згідно з європейським стандартом, пелети поділяють на три класи в залежності від якості:

- клас A1 є найдорожчим, але й найякіснішим, оскільки виготовляється з цільних колод і дрібної тирси, яка залишається після розпилювання колод на дошки;
- клас A2 виготовляють з обрізків пилорами, такі пелети залишають трохи більше золи, ніж попередній клас. Вони популярні для опалення великих приміщень, що обігріваються котлами з автоматизованою подачею палива;
- клас B виробляється з деревини, в якій підвищений вміст кори, але відсутні будь-які хімічні добавки;
- агропелети виробляють із матеріалів рослинного походження. Вони створюють специфічний запах вихідної сировини, що виділяється під час горіння, тому використовують їх частіше поза житловими приміщеннями.

Європейські країни, такі як Великобританія, Нідерланди, Данія, Бельгія та Німеччина, є найбільшими споживачами відновлюваної енергії, в основному з біомаси та відходів. у формі пелет для житлового опалення. Деревні гранули також широко використовуються для виробництва біоенергії в таких країнах, як Китай, Японія, Німеччина, Великобританія та Нідерланди.

Паливні гранули (пелети) – це ущільнене шляхом механічного пресування біопаливо, виготовлене з дробленої або подрібненої біомаси з добавками або без них, що має форму циліндра з поламаними кінцями. Пелети - це екологічно чисте джерело енергії, що виробляється з поновлюваної сировини. За ДСТУ EN ISO 17225-3:2022 «Біопаливо тверде. Технічні характеристики та класи» діаметр пелет має бути не більше 25 мм і довжина до 50 мм, насипна щільність - 600-800 кг / м³. Стандартна вологість пелет 6–8 %. Гранули використовуються в котлах для отримання теплової та електричної енергії шляхом спалювання. Ущільнення за допомогою гранулювання значно збільшує щільність біомаси, завдяки чому такі операції, як обробка, зберігання та транспортування, стають економічно ефективними та економічно життєздатними.

Пелети та брикети здебільшого є твердим біопаливом, але мають різні розміри. У той час як діаметр брикетів перевищує 50-90 мм

а їх довжина 75-300 мм відповідно, найбільш поширені пелети мають діаметр 6...8 мм, а їх довжина не перевищує 40 мм.

Обсяг світового ринку деревних пелет в 2023 році оцінювався в 8,91 млрд доларів США та, за прогнозами, зростає на 6,2% до 2030 року. Перевагою використання деревних гранул перед іншими видами палива: є:

- зниження шкідливих викидів в атмосферу: деревне біопаливо визнано CO₂ - нейтральним, тобто при його спалюванні кількість вуглекислого газу, що виділяється в атмосферу, не перевищує обсяг викидів, який би утворився шляхом природного розкладання деревини;
- вища теплотворна здатність у порівнянні з тріскою і з кусковими відходами деревини. Енергомісткість одного кілограма деревних гранул відповідає 0,5 літра рідкого дизельного палива; деревні гранули не поступаються за теплотворної здатності ні вугіллю, ні мазуту;
- нижча затрати при опаленні у порівнянні з дизпаливом і електричною енергією;
- можливість автоматизації подачі пелет у топку котелень.

В Європі першовідкривачем пелет вважається Швеція, де в 1984 -1988 роках почали виробляти цей вид палива з відходів деревообробки. З початку 90-х років у Швеції почався бум промислового виробництва деревних пелет. У Швеції функціонує близько 30 заводів, які виробляють близько 900 тис. т пелет за рік. Підприємства з виробництва паливних пелет встановлюють поруч з лісозаготівельними або деревообробними виробництвами, великими лісопилками. Фінляндії належить друге місце в Європі з виробництва пелет – 200 тис. т на рік пелет високої якості.



Рисунок 123 – Деревні пелети

Щорічно в Україні для виробництва енергії використовується близько 2 млн. т умовного палива з різних видів біомаси. На території України за рік заготовляють 16-17 млн. м³ ділової деревини, а відходи її переробки деревини складають до 10 млн. м³. На даний час близько 70% відходів деревини у вигляді тирси, трісок, пелет і брикетів використовується як біопаливо. В Україні при наявній потужності діючих підприємств 544 тис. т у 2022 р. було вироблено 368145 т пелет, тоді як у 2021 р. – 434814 т.

Сировиною для виробництва пелет можуть служити різноманітний рослинний матеріал. Пелети виготовляють з висушеної деревини (тріски, залишки лісової деревини, обрізані гілки, стебла рослин, стружка від роботи деревообробних верстатів), шкаралупи горіхів, відходів переробки цукрової тростини, сіна, соломи, лушпиння соняшнику, стебел тютюну, відходів виробництва чаю, а також інших відходів сільськогосподарського виробництва. Крім цього, в якості сировини для виготовлення паливних гранул може використовуватися торф. Виробництво біобрикетів створює ринок для сільськогосподарських відходів та інших органічних відходів, стимулюючи стійкі методи сільського господарства. Фермери можуть отримати додатковий дохід, продаючи свої сільськогосподарські відходи як якісне біопаливо, сприяючи заробітку сільської місцевості та економічному розвитку.

Окремо можна виділити такий виробничий напрям, як переробка використаних продуктів з дерева, наприклад, старих піддонів. Після просушування, видалення цвяхів і інших металевих елементів, деревина, яку використовували для виготовлення піддонів, може бути повторно використана для виробництва паливних пелет.

На сьогоднішній день деревні пелети мають велику популярність на ринку біопалива завдяки вдалому поєднанню фізичних і енергетичних характеристик. Деревина має низький вміст золи (0,5-1,5%) і досить високу теплотворну здатність (4100...4400 кКал/кг). Теплота згоряння паливних гранул з деревини може досягати 19,5 МДж/кг. При спалюванні 1 т деревних пелет виділяється стільки ж теплової енергії, скільки виділяється при спалюванні 480 м³ газу, 685 літрів мазуту чи 1600 кг дров. Споживчі якості пелет підвищує їх зовнішній вигляд (приємний запах, світлий деревний колір, блискуча гладка поверхня). Менш активно використовується енергетичний потенціал соломи від зернових культур та ріпаку. В Україні щорічно збирається понад 50 млн. т зернових культур. Одночасно у значних обсягах збирається соломка і рослинні відходи, як побічні продукти рослинництва. На кожен тону зібраного зерна утворюється 1,5...2,0 т соломи то інших рослинних залишків. З них лише 50...60% соломи пшениці, ячменю, жита використовується для утримання худоби та удобрення ґрунтів. Використання

решти соломи у якості сировини для виготовлення пелет могло б дозволити щорічно заощаджувати до 6 млрд. м³ природного газу. Найбільший потенціал рослинної біомаси зосереджується у Полтавській, Дніпропетровській, Вінницькій та Кіровоградській областях. Брикетування соломи дозволяє вирішити і проблему зберігання сировини незалежно від пори року і питання складування, перевезення, автоматизації завантаження в печі. Рослинні відходи можуть бути значним джерелом палива для більшості сільських регіонів, особливо в регіонах з невеликими лісовими ресурсами. Цьому сприяє ряд передумов:

- 1) солома є одним з найдешевших поновлюваних джерел енергії;
- 2) сільськогосподарські відходи відзначаються високими енергетичними характеристиками.

Теплотворна здатність при спалюванні пшеничної соломи становить 17...18 МДж/кг, рапсової соломи – 16...17 МДж/кг, кукурудзи – 18 МДж/кг. Для порівняння: теплотворна здатність деревини в середньому становить 17,5...19 МДж/кг.

Стебла кукурудзи та соняшника є малоприсдатними для виготовлення пелет.

В Україні близько 500 підприємств у 2020 році виготовляло паливні брикети з різних сільськогосподарських відходів. За оцінками фахівців, загальне виробництво пелет в Україні у 2016 р. склало близько 3,35 млн т. Структура виробництва пелет у 2015 році на 494 підприємствах України була наступною: пелети з деревини – до 390 тис. т; з лушпиння насіння соняшнику – близько 724 тис. т; з соломи – 146 тис. т; з торфу – 8,4 тис. т; з інших видів сировини – 51,8 тис. т.

На елеваторах та підприємствах по виробництву комбікормів існують проблеми утилізації зернових відходів. Середні обсяги їх утворення складають понад 0,5% від загального обсягу переробки зернових. Такі відходи є проблемою як для елеваторів, так і для звалищ, де вони потім розміщуються. Для підприємств це несе значні витрати на транспортування і оплату за послуги по утилізації. На "Миронівському заводі з виробництва круп і комбікормів" з зернових відходів почали виготовляти брикети, які призначені для використання у якості палива для твердопаливних котлів. Виготовлення та використання брикетів виявилось не тільки економічно доцільним напрямком, а дало значну мінімізацію впливу на навколишнє середовище і відчутне зменшення кількості відходів від діяльності підприємства. Установка з переробки відходів за короткий період окупила і дала можливість забезпечити утилізацію зернових і олійних відходів підприємства.

Збільшення обсягів виробництва пелет - це реальний крок до енергетичної незалежності України. Будівництво нових пелетних заводів - це нові робочі місця та економічний розвиток регіонів.

Таблиця 26

Порівняння використання первинної біомаси та пелет для генерування теплової енергії

Первинна біомаса	Гранульоване біопаливо (пелети)
Складність зберігання та транспортування у зв'язку з низькою насипною щільністю і незначним терміном зберігання без втрати споживчих якостей.	Стандартне упакування (біг-беги), зручне транспортування, тривалий термін зберігання без зниження споживчих якостей. Паливні гранули повільно набирають вологу з довкілля та не змерзаються взимку. Висока насипна щільність (600-800 кг / м³).
Різний розмір шматків деревини (гілки, пні, відходи деревообробки, кора, деревні залишки різного розміру). Висока зольність.	Стандартний розмір пеллет, однорідність, стандартна зольність, вологість та теплотворна здатність.
Низька ефективність та неекологічність спалювання. Для виробництва 1 ГВт * год енергії необхідно 1200- 1800 м³ подрібненої біомаси.	Висока ефективність і екологічна чистота спалювання (0,3-2% золи, 16-19,5 МДж / кг). Для виробництва 1 ГВт * год енергії необхідно 385 м³ пелет.
Висока пористість біосировини. Вологість вихідної біомаси сягає 30-50%. Причина вологості - капілярнопориста природна структура.	Стандартна вологість пелет 6–8 %.
Необхідність попереднього підготування палива до спалювання. Наявність домішок та неорганічних забруднень.	Повна готовність до вживання. Відсутність домішок та забруднень.
Можливість використовувати тільки деревне паливо та, меншою мірою, солом, кукурудзяні качани та деякі інші види первинного палива.	Пелети можна виготовляти з широкого спектру біосировини. Тому сировинна база для їх виробництва значно більш різноманітна та широка, ніж просто дрова.
Необхідність ручного завантаження палива до котла.	Можливість автоматизації процесу спалювання та завантаження пелет до твердопаливного котла.

До переваг пелет як палива відноситься:

1. Безпека та екологічна чистота. Вуглекислий газ, що виділяється при спалюванні цього виду палива, не перевищує рівень CO₂, що виділяється при природному розкладанні деревини. Сторонні домішки практично відсутні.

2. Високий показник енергетичної концентрації так як у їх складі відсутня волога та характерна висока щільність.

3. Висока насипна щільність пелет робить їх транспортування і зберігання зручними і відносно недорогими.

4. Пелети можуть переміщуватися пневмотранспортом на склад та до топки.

5. Низький вміст золи (не перевищує 1%). Утворена зола може застосовуватися в якості добрива для садів і городів.

5. Пелети замінюють забруднюючі джерела енергії, такі як мазут, солярка і вугілля. Енергетична цінність пелет досить велика,

6. Конструктивні особливості печей для спалювання пелет дозволяють автоматизувати процес отримання теплової енергії.

Технологічний процес виробництва пелет складається з наступних етапів:

- подрібнення сировини;
- сушіння;
- додаткове подрібнення до порошкового стану;
- пресування;
- охолодження пелет;
- фасування та пакування.

Деревні відходи привозять навантажувачем або автотранспортом і зсипають на ділянку виробництва пелет. На виробництво однієї тонни гранул йде 3...5 м³ деревних відходів природної вологості. Деревні відходи подаються до скребкового транспортеру, який передає сировину в рубальну машину для попереднього дроблення відходів до розміру не більше 25x25x2 мм. Солому і лушпиння насіння подрібнюють до стану борошна.

Обов'язковою технологічною операцією є сушіння – зниження вологості подрібненої сировини з 60% до 10%. Сировина з більшою або меншою вологістю вимагає додаткового зволоження або додаткової сушки. Якщо сировина недостатньо просушена, подрібнена маса буде прилипати до сортувального сита.

Сушарка, яка застосовується для сушіння сировини, складається з двох основних складових: печі і сушильного барабана (рис 124). Теплоносієм при сушінні є топкові гази, які утворюються при спалюванні тирси, бракованих пиломатеріалів або вугілля. Продукти горіння перед подачею у барабан змішуються з холодним повітрям. Завдяки цьому підтримується необхідна

температура теплоносія на вході в сушильний барабан на рівні 400° С, на виході - до 100°С. Основною робочою частиною сушарки є барабан циліндричної форми з листового металу, що обертається, який встановлений на раму на опорних підшипниках та роликах під нахилом до виходу. З метою збереження тепла сушильний барабан покривається зовні теплоізоляційним шаром. Вздовж камери встановлені спеціальні лопатки за допомогою яких проводиться переміщення сировини в процесі сушіння. Гаряче повітря чи котельні гази вдуваються вентилятором вздовж сушильної камери.

На виході з сушильної камери гази очищуються від пилу за допомогою циклону. При виробництві пелет важливо очистити сировину від різних домішок. Для цього на виході з сушильного барабана встановлюється дисковий сепаратор, який видаляє з тирси камені та інші сторонні предмети.

Після сушіння відходи подрібнюють в молоткових дробарках до фракції з розміром часток не більше 3 мм. Процес подрібнення спрямований на зменшення навантаження при роботі преса-гранулятора. Чим меншого розміру частинки деревини потрапляють в камеру пресування, тим менше навантаження на двигун і пресуючий вузол. Подрібнена суха сировина засмоктується в осадовий циклон за рахунок розрядження, створюваного димососом. У циклоні борошно осідає за рахунок відцентрової сили і рухається вниз, а відпрацьований теплоносій викидається в димову трубу.



Рисунок 124 - Барабанна сушарка подрібленої деревної сировини

З циклону деревне борошно подається в бункер гранулятора. З бункера борошно перкдається шнековим живильником з регульованою швидкістю подачі у змішувач преса, сюди ж подається водяний пар. Сировина з вологістю

менше 8% погано піддається склеюванню під час пресування. У змішувачі вологість борошна доводиться до рівня, необхідного для процесу гранулювання. Обробка сировини паром забезпечує збільшення продуктивності лінії гранулювання на 20...25% та покращення якості гранул. Після змішувача зволожене борошно проходить через сепаратор феромагнітних домішок та вводиться у прес-гранулятор.

У камері пресування гранулятора борошно затягується у простір між матрицею і пресуючими вальцями та продавлюється через радіальні отвори матриці. За рахунок цього під дією великого тиску відбувається формування гранул. При пресуванні відбувається ущільнення деревної сировини втричі. Шляхом зміни діаметра отворів, довжини каналу матриці преса, відстані між робочою поверхнею матриць та вальців, а також тиску пресування, регулюють параметри кінцевого продукту у відповідності до встановлених норм.

Основою прес - грануляторів для виробництва пелет є пресовий апарат, робочими органами яких є катки і матриця. Пресові апарати в процесі формування пелет витримують значні механічні навантаження і тому їх конструкція має міцні та жорсткі корпусні деталі. Пресові апарати бувають двох різновидів - гранулятори з циліндричними матрицями, які розташовані вертикально, і гранулятори з плоскими матрицями, що встановлюються горизонтально (рис.125 б). Катки, що рухаються по поверхні матриці, створюють зминають подрібнену до порошкоподібного стану сировину і через отвори у матриці продавлюють її у вигляді циліндричних гранул. При різкому стисканні сировини і виникненні значних сил тертя температура в зоні формування пелет досягає 100°C. Під тиском з розігрітої деревної сировини виділяється лігнін, який склеює гранули, роблячи їх цільними та міцними. Видавлені з отворів матриці гранули обламуються нерухомим ножем, падають на жолоб і відводяться з преса.

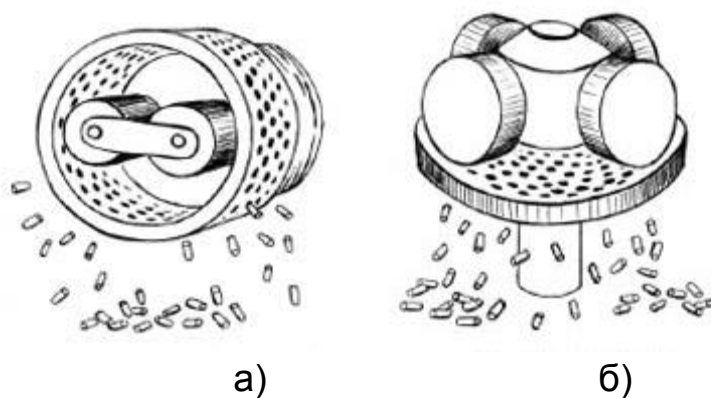


Рисунок 125 - Пресові апарати: а) з циліндричною матрицею; б) з плоскою матрицею, що встановлена горизонтально

В Україні при освоєнні виробництва пелет використовували модифіковані прес - гранулятори моделі ОГМ-1,5 з кільцевою матрицею, які вироблялися для виготовлення комбікормів у сільському господарстві (рис.126 - 127). Питоме споживання електроенергії прес - гранулятором складає від 30 до 50 кВт год на виготовлення 1т пелет. Продуктивність такого обладнання складає до 1 т пелет на годину.



Рисунок 126 - Формування пелет в прес – грануляторі з плоскою дисковою матрицею



а)



б)

Рисунок 127 - Пресс - гранулятор ОГМ-1,5 з відкритою кришкою блоку грануляції (а); видавлювання пелет з отворів кільцевої матриці (б).

Пелети, на виході з прес - грануляторів, мають температуру у межах 70...90°C і є досить м'якими. Тому перед фасуванням їх охолоджують в потоці повітря. В охолоджувальній колоні через шар гранул вентилятором продувається повітря, яке охолоджує гранули до температури 20-25 °C і видуває залишки незгранульованого борошна у циклон. В процесі охолодження за рахунок випаровування вологи вологість гранул додатково зменшується на 2%. Одержувані паливні брикети не включають в себе клеючих речовин, крім одного натурального - лігніну, що міститься в клітинах рослинних відходів. В гранулах при охолодженні відбуваються фізико-хімічні процеси затвердівання лігніну, в результаті вони набувають необхідну твердість, вологість і температуру.



Рисунок 128 - Технологічна лінія виробництва пелет

З охолоджувальної колонки гранули поступають на просіювання, де відбувається відділення кондиційних гранул від крихти. Заключним технологічним етапом виготовлення пелет є фасування у мішки або складування у силосах з подальшим відвантаженням насипом в автотранспорт або залізничні вагони.

Крім пелет рослинні відходи використовують для виготовлення палива у вигляді брикетів. Брикети використовуються як альтернативне паливо для заміщення вугілля, і в даний час вони є затребуваними на паливному ринку України. Виробництво брикетів з деревини в Україні у 2015 р. становило 170 тис. т, з агрокультур – 95 тис. т. Брикети можуть мати циліндричну, прямокутну, овальну й інші форми, а розміри зазвичай складають: діаметр від 20 мм до 100 мм і довжина до 300 мм.

Брикетування є більш простим способом отримання біопалива, у порівнянні з виробництвом пелет. Основною сировиною для виробництва паливних

брикетів є деревина (хвойні та листяні породи), торф, солома, очерет, лушпиння соняшника. Витрата сировини становить близько 4 м³ на 1 м³ готового продукту. Завдяки високому тиску при пресуванні, брикети по енергетичним властивостям є близькими до кам'яного вугілля. При горінні брикети не поширюють неприємного запаху, виділяють, на відміну від вугілля, мало диму, кіптяви, чадного газу та інших шкідливих речовин. Великою перевагою брикетів є їх тривале горіння до 4 годин. Паливні брикети можуть ефективно використовуватися в твердопаливних котлах для опалення приватних помешкань, виробничих об'єктів (ферм, складських та промислових приміщень), а також у камінах.

Виробництва паливних брикетів включає наступні технологічні операції:

1. Приймання сировини;
2. Подрібнення сировини;
3. Калібрування сировини;
4. Сушіння сировини;
5. Пресування сировини у брикети;
7. Охолодження брикетів;
6. Фасування брикетів.

На етапі підготовки до пресування сировина попередньо подрібнюється за допомогою дробильного обладнання, а потім пропускається через сита, в результаті чого на виході виходить маса розміром від 5 до 30 мм, яка потім відправляється в сушарку.

На ринку палива знайшли розповсюдження три основні типи паливних брикет - RUF, NESTRO і PINI & KAY (рис.129).

Паливні брикети RUF виробляються у формі паралелепіпеда (цеглини) і використовуються переважно для спалювання у твердопаливних котлах та печах. Методом виробництва цього виду брикетів є гідравлічний метод, заснований на пресуванні брикетів під високим тиском. Вони виробляються на гідравлічних пресах без додавання сполучних речовин і мають форму паралелепіпеда зі стандартними лінійними розмірами 65 x 95 x 155 мм.

Установка для гідравлічного пресування складається пресуючого гідроциліндру та прес-форми. Сировина у борошноподібному стані засипається у прес-форму. Гідроциліндр тисне поршнем на завантажену сировину у прес-формі і під тиском 30...60 МПа відбувається формвання щільного брикету у вигляді невеликого паралелепіпеда. Особливістю такого методу є невисока вартість обладнання та простота його обслуговування, що спрощує створення малого підприємства.

Паливні брикети NESTRO мають циліндричну форму, яка ззовні нагадує дрова. Такі брикети найчастіше використовуються для спалювання у камінах.

Стандартні розміри таких брикетів: довжина до 600 мм, діаметр 60...100 мм. Такі паливні брикети виробляють ударно - механічним способом за допомогою кривошипно - шатунних пресів високої продуктивності. Кривошипно-шатунний механізм приводить у рух поршень, який натискає на сировину, що подається у вихідну головку дозатором. Вихідна головка має отвір такої форми, що відповідає формуванню брикета з заданою формою поперечного перерізу. Так само як і при способі гідравлічного пресування, собівартість виготовлення даного виду паливних брикетів є невисокою.



а)



б)



в)

Рисунок 129 - Паливні брикети: а - RUF; б - NESTRO; в - PINI & KAY

Паливні брикети Pini & Kay є найбільш якісним типом паливних брикетів, що характеризується значною тривалістю горіння та високою теплотою згорання. Вони мають форму призми з отвором посередині. Щільність брикетів складає 1,0...1,2 т/м³. Технологія виготовлення брикетів Pini & Kay дозволяє отримати стійкий до механічних впливів, перевезення і тривалого зберігання продукт. Такі брикети виготовляють способом екструзії просушеної до вологості 8% сировини. Переробка сировини здійснюється на шнековому пресі - екструдері.

Шнековий прес має нижчу металоємність ніж поршневий, оскільки в його конструкції відсутні масивні поршні і маховики. Продукція виходить з екструдера безперервно, тому її можна розрізати на шматки потрібної довжини. Щільність екструдованих брикетів є вищою, ніж у брикетів, які формуються у поршневих пресах. Шнекові преси менш шумні, завдяки відсутності ударних навантажень. До недоліків шнекових пресів відносять більші питомі витрати енергії і швидкий знос шнека.

В процесі екструзії для підвищення щільності брикету крім створення високого тиску проводиться додаткова термічна обробка деревної маси при температурі 160...350°C, за рахунок чого відбувається виділення на поверхні отриманого брикету з клітин сировини природної клейкої речовини - лігніну. Після виходу з робочого органу екструдера отриманий брикет прошовується в подільник брикетів, де відбувається його поділ на частини довжиною 300 (75, 150, 600) мм. Впродовж 2 годин після пресування відбувається охолодження утвореного брикету і застигання лігніну. В результаті поверхня брикету герметизується від попадання вологи і закріплюється лігніном, що дозволяє транспортувати брикети на великі відстані без втрати якості. Великою перевагою таких брикетів є сталість температури при горінні впродовж 4 і більше годин.

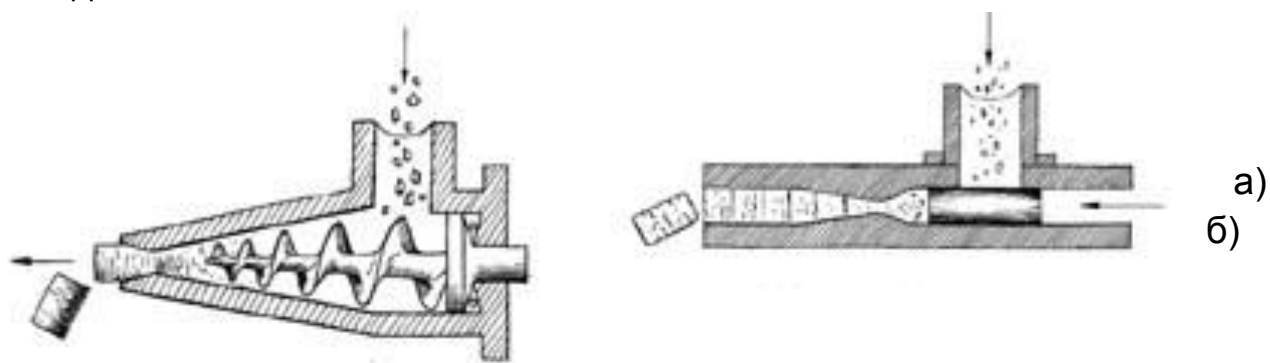


Рисунок 130 – Конструкція екструзійного (а) та поршневого (б) пресів

Деревні пелети успішно використовуються як в малопотужних побутових котлах, так і на великих промислових підприємствах і електростанціях. Максимальна ефективність спалювання пелет досягається лише при використанні спеціально розроблених котлів та пальників. Процес отримання теплової енергії з гранул відбувається в процесі їх тління. Важливим фактором, що забезпечує зручне використання пелет, є надійність постачання та автоматична подача палива в котел.

В Європі, особливо в Німеччині та Австрії, широко поширена доставка пелет спеціальним автотранспортом. Завдяки пневматичній подачі пелет стало

можливим розміщувати пелетні бункери в різноманітних місцях, які були недоступні при ручному завантаженні: підвалах, горищах, під землею тощо.

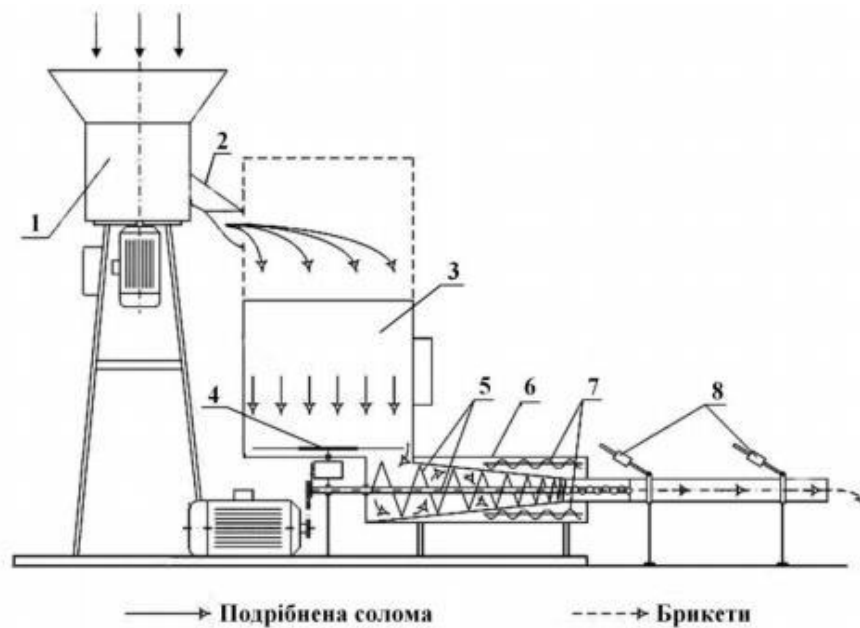


Рисунок 131- Технологічна схема виробництва паливних брикетів з соломи: 1 - роторна дробарка; 2 - направляючий лоток; 3 –завантажувальний бункер; 4 - ворушильник; 5 - конічний шнек; 6 - корпус преса-брикетувальника; 7 - електронагрівачі; 8 - механізм для регулювання щільності брикетів (підпресовувач)

Основними споживачами пелет та паливних брикетів на Україні є:

1. Приватні будинки передмість та сільської місцевості.
2. Котеджі, багатоквартирні і малоповерхові будинки з автономним опаленням.
3. Переведення у сільській місцевості котелень шкіл, лікарень з дизельного палива, мазуту, електроенергії на використання паливних пелет, які виготовлені з відходів продукції рослинництва.

Потужність котлів для опалення котеджів і приватних будинків коливається від 15 до 100 кіловат при ККД - від 85 до 95%. Твердопаливні котли не складно вбудовувати у житлові інтер'єри, а їх труби виводити в існуючі шахти димоходів. Пелети подаються в топку рівномірними партіями з допомогою гвинтового транспортера або втягуються в неї повітрям під високим тиском.

Випуск обладнання для виробництва пелет та автоматизованих котлів для їх спалювання освоєно на кіровоградському заводі «ДОЗАВТОМАТ». Пелетні котли відрізняються від інших установок, працюючих на твердому паливі, повною автоматизацією робочого процесу. Конструкція такого котла включає бункер для зберігання пелет, шнек, який транспортує гранули з бункера у

топочну камеру, палиник для розпалювання. Залежно від об'ємів бункера для зберігання пелет, котел може тривалий час (більше тижня), працювати в автономному режимі без участі людини. Серед загальних принципів роботи такого обладнання можна виділити підтримку заданої температури і автоматичну подачу палива з бункера. Електронний датчик вимірює температуру приміщення, і в залежності від величини сигналу пристрій самостійно визначає необхідний для процесу горіння об'єм повітря, необхідну кількість палива і оптимальну температуру горіння.

9.6.Виробництво палива з енергетичних швидкоростучих рослин

Нині країни Європейського союзу є головними світовими імпортерами пелет, а виробництво гранул сконцентроване передусім у країнах, багатих лісовими ресурсами, таких як США та Канада, а також країнах північної Європи (Швеція, Фінляндія). У зв'язку зі збільшенням попиту на пелети, експортери стикаються з необхідністю пошуку додаткової сировини. Основним шляхом вирішення даної проблеми вбачається вирощування швидкоростучих енергетичних рослин.

Енергетичні культури - це рослини, які спеціально вирощують для використання безпосередньо як палива або для виробництва біопалива. Невибагливість до ґрунтово-кліматичних умов сприяє вирощуванню багаторічних фітоенергетичних рослин на малопродуктивних землях. Енергетичні культури характеризуються низькою собівартістю вирощування, не потребують значного використання добрив. Вони поділяються на три окремі групи:

- швидкоростучі дерева (верба, тополя);
- багаторічні трави (міскантус, шавнат);
- однорічні трави (сорго, тритикале).

В Західній Європі для отримання сировини для вироблення пелет швидкорослими травами засаджують низькопродуктивні поля. Це надає можливість більш ефективно використовувати місцеві ресурси, зокрема й трудові. Для виробництва пелет найбільш широко використовують високорослу траву міскантус (лат. *Miscanthus*) - рід рослин родини Тонконогові. Це швидкоростуча багаторічна трава європейської кліматичної зони. Корені рослини сягають глибини понад 2 м, тобто вона може використовувати воду з глибоких шарів і рости навіть у посушливих регіонах. Висота рослини міскантус може сягати висоти 4 метрів (рис.132). Рослини невибагливі до родючості ґрунту, вологи та температури, а врожайність їх сягає з гектара 30...35 т сирої маси з високим вмістом целюлози. Міскантус

добре росте за температури ґрунту вище 6°C, тому потенційний сільськогосподарський сезон значно триваліший, ніж для інших культур.

Розмножується міскантус частинами кореневищ – ризомами. Посадка міскантуса механізується з допомогою картоплесаджалок. Вже з другого року після посадки починають отримувати промисловий урожай 12...17 т/га, а на третій рік – 25 т/га. Виробничі витрати складають 80...100 євро на гектар. При спалюванні врожаю з одного гектара виділяється стільки ж тепла, скільки б дали 15...22 тис. м³ природного газу або 18...28 т вугілля.

Агротехніка вирощування міскантуса добре відпрацьована і дає гарантовані результати. Загалом, засаджену міскантусом ділянку можна експлуатувати до 20 років.



Рисунок 132 - Ділянка засаджена міскантусом

В Україні налічується до 4 млн гектарів малородючих земель. Вони малоприсадибні присадибні для землеробства – деградовані, заболочені чи забруднені. Але вони присадибні для вирощування енергетичних культур. Наявний на сьогодні в Україні технічний потенціал для виробництва біопалива

з міскантусу дає можливість замінити 3,5 млн. т вугілля або 2,8 млрд. м³ природного газу. Вартість їхнього вирощування в кілька разів нижча, ніж вартість газу. В Україні, незважаючи на значну кількість незадіяних земель несільськогосподарського призначення, промислових посадок енергетичних рослин поки що здійснюється недостатньо.

Серед енергетичних рослин сьогодні у світі широко використовується швидкоростуча верба в якості основної енергетичної культури для виробництва твердого палива. Найбільші плантації верби на сьогодні у Швеції (до 20 000 га) та в Польщі – більше 6 000 га.

Верба характеризується наступними показниками:

- середній приріст ріст – 1,5 метра в рік;
- збір урожаю – кожні 2-3 роки;
- кількість циклів збору урожаю з однієї посадки – 7-8 разів, після чого проводять рекультивацію землі під посадку інших культур або закладають нову плантацію верби;
- вимогливість до ґрунтів – ґрунти середньої якості з високою вологістю;
- період збору урожаю – листопад – лютий, коли опадає листя.



Рисунок 133 - Посадки швидкоростучої верби

Плантації енергетичної верби є природними фільтрами для видалення відходів агропромислового виробництва, вони застосовуються як буферні зони в місцях накопичення біологічних відходів фермерських господарств. Енергетична верба також є природним фільтром для очищення ґрунтів від пестицидів.

9.7. Поводження з кавовою гущею, що утворюється у закладах громадського харчування

Кавова гуща - це побічний органічний продукт приготування напоїв із меленої кави. Основні джерела її утворення включають:

- заклади громадського харчування (кав'ярні, ресторани);
- кавові автомати (на автозаправних станціях, в офісах, навчальних корпусах, торгових центрах);
- корпоративні та домашні офіси, особливо у великих закладах із власними кав'ярнями.

Ці джерела продукують значні обсяги органічних залишків щодня, і найчастіше вони неконтрольовано викидаються на полігони разом з іншим сміттям, без підготовки до повторного використання чи переробки.

Використана кавова гуща (Spent Coffee Grounds, SCG) характеризується такими властивостями: 50 % сухої ваги складають вуглеводи, ще ~20-30 % - білки, і ~20 % - лігнін.

Використана кавова гуща також у своєму складі містить наступні макроеlementи (на суху масу):

азот (N): ~27,9 г/кг

калій (K): ~11,7 г/кг

магній (Mg): ~1,9 г/кг

фосфор (P): ~1,8 г/кг

У відходах залишається близько 48 % кофеїну від кількості, що була в сирих зернах. Типово кавова гуща має високу вологість (як правило, >50 %), що ускладнює її зберігання. Використана гуща зазвичай має слабокислу або нейтральну реакцію рН, оскільки більшість кислот змивається під час екстракції напою.

Отже, кавова гуща є органічним відходом з високим ресурсним потенціалом: вона багата на поживні елементи (N, P, K, органіка); містить залишкові біоактивні сполуки (кофеїн, феноли); утворює значні обсяги (у світі - десятки мільйонів тонн щорічно), потребує спеціальних підходів до зберігання й переробки через підвищену вологість.

Кавова гуща завдяки високому вмісту органічної речовини, наявності азоту, калію, фосфору та біологічно активних сполук розглядається як перспективна сировина для циркулярних технологій. Нижче наведено основні напрями її ресурсного відновлення.

Компостування та вермікомпостування. У процесах аеробної ферментації (компостування) кавова гуща використовується як азотна складова субстрату, змішується з вуглецевими матеріалами (тирса, листя,

солома). Розклад органіки мікроорганізмами дозволяє отримати компост, що покращує структуру ґрунту, водоутримувальну здатність та забезпечує рослини елементами живлення. Вермікомпостування з використанням каліфорнійських черв'яків (*Eisenia fetida*) забезпечує більш швидке утворення біогумусу який є високоякісним органо-мінеральним добривом з вмістом гумінових кислот, ферментів і мікрофлори.

Вирощування їстівних грибів (*Pleurotus ostreatus*). Кавова гуща є поживним субстратом для культивування гливи звичайної. Вміст целюлози та геміцелюлози підтримує розвиток міцелію, а висока вологість сприяє швидкому проростанню. Такий спосіб відновлення дозволяє отримати цінну харчову продукцію в умовах фермерських господарств, а відпрацьований субстрат після збору грибів може повторно використовуватися як покращувач ґрунту.

Виробництво біогазу та біоетанолу. У процесах анаеробного зброджування (метаногенезу) кавова гуща слугує сировиною для утворення біогазу з високим вмістом метану (до 50–55 %). Альтернативно її гідролізують і ферментують із утворенням біоетанолу. В обох випадках технології трансформують органічні відходи в джерела відновлюваної енергії, дозволяючи отримати теплову та електричну енергію.

Біочар (biochar). Піроліз кавової гущі при 300–700 °C у безкисневому середовищі дозволяє отримати пористий вуглецевий матеріал - біочар. Його застосовують як поліпшувач ґрунту, здатний затримувати вологу та поживні речовини, а також як абсорбент фільтруючих систем (для вилучення важких металів або фарбників з води). Біочар фіксує вуглець, знижуючи викиди парникових газів.

Сировина для косметики та фармацевтики. Кавова гуща містить антиоксиданти (фенольні сполуки), кофеїн та ліпіди (~10–15 % сухої маси), які використовуються у косметичних засобах (скраби, маски, антицелюлітні гелі) та розглядаються як потенційне джерело біоактивних компонентів для фармакології. Проводяться дослідження з вилучення та очищення цінних екстрактів з кавових відходів.

Модифікатор біополімерів і біопластику. Перспективним напрямом є включення подрібненої та висушеної кавової гущі до складу полімерних композицій: біопластиків (PLA, PHA), поліуретанових пін, філаментів для 3D-друку. Така добавка знижує витрати на сировину, покращує біорозкладність матеріалів, дозволяючи створювати екологічно дружні вироби (стаканчики, пакування, декоративні елементи).

Таким чином, використана кавова гуща може бути успішно інтегрована в різні технологічні цикли, виступаючи як вторинний ресурс із цінними агротехнічними, енергетичними або біохімічними властивостями.

Запровадження циркулярної моделі поводження з кавовою гущею створює низку екологічних, економічних і соціальних переваг порівняно з традиційною лінійною схемою «збирання - транспортування - захоронення».

Зменшення навантаження на полігони. Виведення кавової гущі з потоку змішаних твердих побутових відходів зменшує обсяг органіки, що потрапляє на полігони. Це сповільнює темпи їхнього заповнення, скорочує потребу у будівництві нових полігонних карт і знижує витрати муніципалітетів на захоронення відходів.

Зниження викидів парникових газів (CO_2 , CH_4). Органічні відходи, у тому числі кавова гуща, під час анаеробного розкладання на полігоні є джерелом метану (CH_4) - газу з парниковим потенціалом у 30 разів вищим, ніж CO_2 . Перенаправлення цих відходів на компостування, переробку у біогаз або інші технології дозволяє контролювати процес розкладання органіки, перетворюючи джерело викидів на потенціал виробництва тепла, електроенергії або добрив із низьким вуглецевим слідом.

Формування локальних продуктів з доданою вартістю. Використання кавової гущі як сировини для виробництва біогумусу, біопалива, біочару, грибів, біопластику або косметичних засобів стимулює розвиток малого та середнього бізнесу у сфері управління відходами. Такі продукти мають вищу ринкову ціну, ніж сировина, з якої вони утворені, що забезпечує економічну мотивацію для бізнесу та громад підтримувати роздільний збір і переробку кавових відходів на місцевому рівні.

Отже, циркулярний підхід до кавової гущі дозволяє не лише мінімізувати негативний вплив на довкілля, а й створює можливості для формування нових екоорієнтованих бізнес-моделей, підвищення ресурсоефективності та сталого розвитку міського середовища.

Берлінська компанія Kaffeeform (**Німеччина**) перетворює використану кавову гущу на багаторазові чашки. Сировина збирається з місцевих кав'ярень, доставляється на велосипедах, висушується, потім з неї формується матеріал на рослинній основі, що є міцним та екологічно нейтральним. Їхні Weducer Cups доступні в Європі як альтернатива одноразовому пластику.

Bio-bean (**Велика Британія**) стала першою компанією у світі, що в промислових масштабах переробляє використану кавову гущу у біопаливо. Вона збирає десятки тисяч тонн відходів із мереж кафе, офісів і фабрик, виробляє Coffee Logs (паливні брикети), гранули та біодизель. Її продукція

використовувалася навіть для обігріву будівель і як паливо для лондонських автобусів.

Мережа автозаправок WOG (Україна) запустила еко-платформу «До природи з добром», у межах якої реалізовано проєкт збору кавової гущі з АЗК у Луцьку на переробку в органічне добриво — біогумус. Співпрацює з компанією «Пастернак», що займається біодобривами. Для утилізації застосовують технологію вермікомпостування з використанням каліфорнійських черв'яків: 2 000 черв'яків на тонну відходів дають до 500 л біогумусу. Біогумус використовується для підживлення рослин, підвищує врожайність на 30–40 % .

Проєкт UNDP Accelerator Lab у партнерстві з NGO Zero Waste Lviv і київським кафе Svit Kavy пропонує використовувати кавову гущу як добриво для ботанічного Розарію в Києві. За день кафе виробляє 3–4 кг відходів, які збирають двічі на тиждень для внесення у ґрунт. Ініціатива показує цінність локального ресурсного циклу: кава стала добривом, а кав'ярня — екологічним донором.

Український стартап Rekava (раніше у Сумах, тепер — у Львові) розробляє екопродукти з використаної кавової гущі: одноразові біорозкладні стаканчики, горщики для сіянців й ароматичні свічки (“Rekava-cups”, “Rekava candles”). Сировину надають кав'ярні та офіси. Вироби біорозкладні — розкладаються у ґрунті за 1,5–3 місяці. Команда, що складається нині з 12 фахівців, випускає тисячі свічок щомісяця, а також розширює міжнародну присутність — продукція вже доступна в концепт-сторах Лондона, Берліна та Відня. Крім того, проєкт підтримав Raiffeisen Bank, який постачає вторсировину для виробництва та підтримує ESG-ініціативи.

Бренд Ochis (Україна) створив персоналізовані оправы для окулярів із використаних кавових ґрунтів, ставши першим у світі таким виробником. Це приклад апсайклінгу на досить технологічно складному рівні - екологічно дружній матеріал замінив пластик у аксесуарах.

Інноваційна розробка у Кропивницькому: викладачі Центральноукраїнського національного технічного університету Ольга Медведєва і Микола Ковальов створили технологію використання кавової гущі замість піску для виробництва **тротуарної плитки**. Це перший в Україні приклад застосування кавових відходів у будівельних матеріалах.

Ці приклади демонструють широкий спектр можливостей переробки кавової гущі - від добрив до будівельних матеріалів і дизайну. Вони ілюструють реальні циркулярні рішення, які активно впроваджуються в Україні.

Отже, кавова гуща як вторинний ресурс органічного походження володіє значним потенціалом для залучення в системи циркулярної економіки. За умови правильно організованого збору та технологічного супроводу її перетворення можлива мінімізація екологічних ризиків та одночасне створення локальних продуктів з доданою вартістю.

Роздільний збір кавових відходів дозволяє уникати їх змішування з побутовим сміттям, зменшувати об'єм органічних фракцій, що потрапляють на полігони, та створює передумови для ефективної переробки. Рекомендовано впроваджувати спеціальні контейнери для гущі у кав'ярнях та на АЗС, а також передбачити логістичні механізми її централізованого вивозу безпосередньо на біогазові, компостувальні або апсайклінгові підприємства.

Доцільним є впровадження міні-технологічних модулів з переробки гущі безпосередньо при кавових мережах (наприклад, систем вермікомпостування або культивування грибів), що дозволяє скоротити транспортні витрати та мінімізувати втрати матеріалу при зберіганні. Мережеві оператори (coffee-chain) здатні акумулювати достатні обсяги для економічно ефективної переробки та формувати сталий імідж бренду.

Ефективність повторного залучення кавової гущі залежить від співпраці органів місцевого самоврядування (в частині регулювання, інфраструктури роздільного збору, стимулювання підприємців) та приватного бізнесу (як основного джерела відходу й інвестора переробних рішень). Рекомендовано розробку місцевих програм підтримки проєктів з циркулярного використання органічної біомаси, а також включення кавових відходів у стратегії управління ТПВ міст.

Таким чином, впровадження систем роздільного збору та локальних ланцюгів переробки кавової гущі при взаємодії муніципалітетів і бізнесу є дієвим інструментом реалізації циркулярної економіки та підвищення ресурсної ефективності у сфері закладів громадського харчування.

Доцільним є впровадження міні-технологічних модулів з переробки гущі безпосередньо при кавових мережах (наприклад, систем вермікомпостування або культивування грибів), що дозволяє скоротити транспортні витрати та мінімізувати втрати матеріалу при зберіганні. Мережеві оператори (coffee-chain) здатні акумулювати достатні обсяги для економічно ефективної переробки та формувати сталий імідж бренду.

Ефективність повторного залучення кавової гущі залежить від співпраці органів місцевого самоврядування (в частині регулювання, інфраструктури роздільного збору, стимулювання підприємців) та приватного бізнесу (як основного джерела відходу й інвестора переробних рішень).

Рекомендовано розробку місцевих програм підтримки проєктів з циркулярного використання органічної біомаси, а також включення кавових відходів у стратегії управління твердими міст.

Таким чином, впровадження систем роздільного збору та локальних ланцюгів переробки кавової гущі при взаємодії муніципалітетів і бізнесу є дієвим інструментом реалізації циркулярної економіки та підвищення ресурсної ефективності у сфері закладів громадського харчування.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Яку небезпеку для навколишнього середовища несуть відходи тваринництва?
2. Що таке біогаз? За яких умов він утворюється? Який його склад? Яка теплотворна здатність одного м³ біогазу?
3. У чому суть анаеробного бродіння? Які речовини використовують для цього процесу і які продукти одержують?
4. З яких етапів складається анаеробне бродіння і які умови необхідні для його протікання?
5. Опишіть, з яких основних частин складається установка для виробництва біогазу та яке їх функціональне призначення?
6. Фізико-хімічна сутність утворення біогазу в тілі полігону.
7. Що собою являє компостування та які фактори на нього впливають?
8. Охарактеризуйте та проаналізуйте метод польового компостування.
9. Наведіть переваги та недоліки польового компостування.
10. Назвіть основні умови та фази компостування.
11. Охарактеризуйте та проаналізуйте метод компостування в біотермічних барабанах.
12. Опишіть технологію виготовлення паливних пелет.
13. Охарактеризуйте вермикультивування як напрямок переробки органічних відходів.
14. Чому для вермикультивування використовують червоного каліфорнійського черв'яка, які в нього переваги?
15. Переваги використання пелет і брикетів у якості палива.
16. Опишіть технологію виробництва паливних пелет.
17. Якою є роль швидкоростучих рослин у розв'язанні енергетичних проблем?

10. Відновлення макулатури

Папір - листовий матеріал із масою 1 м² до 250 г, що складається переважно з рослинних волокон, зв'язаних між собою силами поверхневого зчеплення, до складу якого можуть додатково входити хімічні волокна, проклеювальні речовини, мінеральні наповнювачі, пігменти та барвники (рис.130). Папір виготовляється з целюлозних волокон, які поєднуються з рядом хімічних речовин, які визначають властивості та якість паперу, а також хімічних речовин, які додаються для відбілювання целюлози. Целюлоза є відновлюваним природним біополімером, який вважається однією з найважливіших органічних сполук і може бути отриманий і біосинтезований з рослин, деревини. Сировиною, необхідною для виробництва целюлози є відновлювані ресурси – деревина та вода.

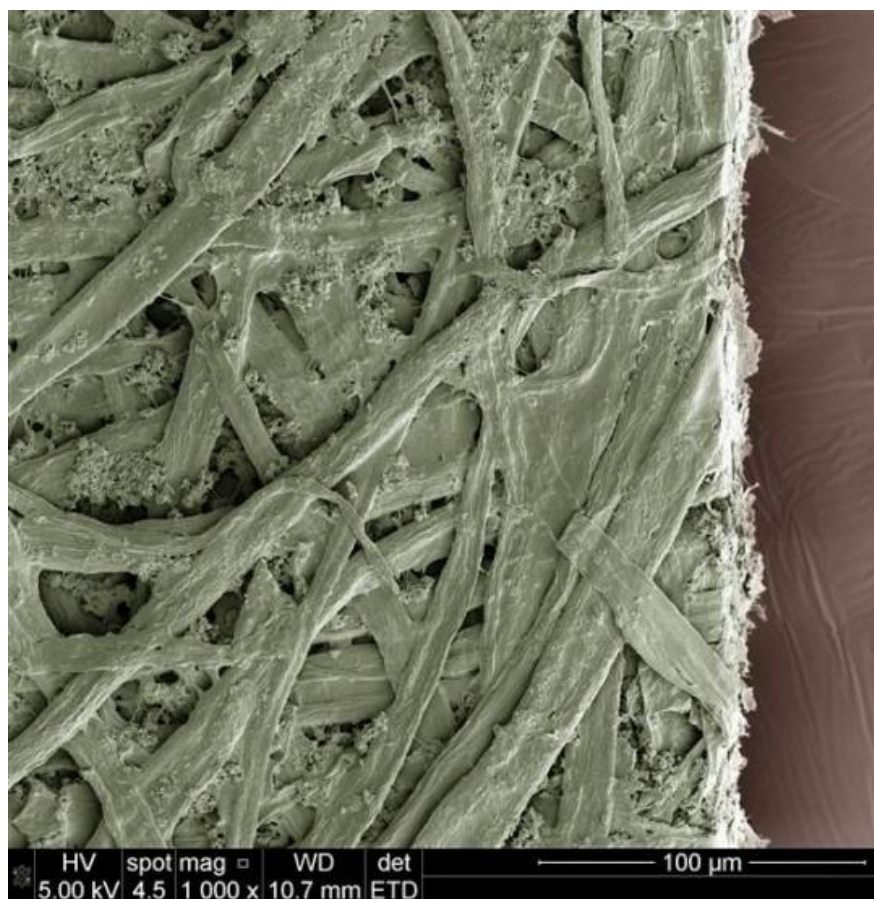


Рисунок 134 - Структура паперу, яка спостерігається при дослідженні методом електронної мікроскопії

Під терміном «макулатура» розуміють відходи виробництва, переробки і споживання усіх видів паперу і картону, придатних для застосування в якості волокнистої сировини. Термін «макулатура» походить від латинського слова

maculo - «бруд». Під нею розуміють відходи (використаний папір чи картон) – це вторинна сировина, що використовується у повторному виробництві паперу чи картону. В загальному обсязі твердих побутових відходів папір і картон займає близько 10 %.

Світове споживання паперу за останні 40 років зросло на 400 % і на сьогодні складає близько 300 млн т паперу на рік. У целюлозно-паперовій промисловості в усьому світі щорічно використовують близько 4 млрд дерев або 35 % від загальної кількості зрубаних дерев. Перероблення однієї тонни використаного газетного паперу дозволяє зекономити близько 1 т деревини, а перероблення 1 т паперу для друку або для копіювальних пристроїв – майже 2 т деревини. Використання 54 кілограм макулатури з газетного паперу дозволяє зберегти від вирубування одне дерево. Рециклінг паперових відходів є прикладом циркулярної економіки, оскільки макулатура залишається найбільш перероблюваним продуктом у Європі, створюючи значні екологічні переваги та сировинні ресурси для промисловості.

Таблиця 27

Розкладання паперових відходів на звалищах

Вид паперу	Термін розкладання
Папір газетний	Від 1 місяця до 1 року
Папір звичайний (офісний)	2 роки
Картон	2 місяці
Картонні коробки	До 1 року
Картонне пакування з-під молока	5 років



Рисунок 135 – Макулатура

Обсяг використання макулатури при виробництві картонно-паперової продукції визначається рівнем ринкових цін на деревну масу і целюлозу. Кілька десятиліть тому, коли обсяги виробництва картону та паперу були значно нижчими і перед людством ще не стояли проблеми екологічного та енергетичної криз, термін «макулатура» асоціювався з малоцінними відходами. Вважалося, що ресурси деревної сировини невичерпні, оскільки постійно відтворюються природою. Макулатурі як джерелу сировини не приділялося достатньої уваги. Інтерес до широкого використання вторинної волокнистої сировини для отримання паперу підвищився на початку 70-х років у зв'язку з різким підвищенням цін на енергоносії. Широке застосування макулатури зумовлено насамперед її дешевизною у порівнянні зі свіжими напівфабрикатами з деревини, а також значно меншими капіталовкладеннями при будівництві та економією поточних витрат при експлуатації підприємств по виробництву паперу з макулатури. Відновлення макулатури допомагає зберегти навколишнє середовище і, водночас, забезпечити населення необхідною кількістю паперу. Її використання знижує собівартість і підвищує конкурентоспроможність паперової продукції. Більшість розвинених країн світу, у яких відсутні лісові ресурси, почали різко підвищувати частку макулатури у складі композицій для виробництва картону і паперу. Роль макулатури зростала і під тиском захисників навколишнього середовища.

Збільшення використання макулатурної маси в композиції для виготовлення паперу і виникнення великого стратегічно важливого макулатурного бізнесу відкрили для паперової промисловості широке джерело сировинних матеріалів. Вторинну сировину використовують майже всі виробники паперу та картону, що мають технологічні лінії для переробки власного браку. Структура використання макулатури для виробництва різних видів продукції виглядає наступним чином: картон - 54 %; пакувальні види паперу - 15 %; санітарно-побутові види паперу - 12 %; газетний папір - 17; інші види паперу і картону - 2 %.

В країнах Європи частка паперових відходів, що використовують для виробництва паперу гігієнічного призначення та різного виду картону (коробкового, гофрокартону), становить від 75 % до 100 %.

Основні переваги, які стимулюють зростання використання макулатурної сировини, полягають в наступному.

1. Заміна 1 тонни первинного целюлозного волокна макулатурою дає економію 3...4 м³ деревини.

2. Середня ціна 1 т макулатури в 2...4 рази нижча за 1 т целюлози, яка виробляється з деревини. Підвищується незалежність виробників паперу і картону від підприємств - монополістів, що випускають целюлозу.

3. Перероблення макулатури є менш небезпечним для екології процесом ніж виробництво з деревини. У процесі перероблення паперових відходів забруднення води і повітря знижується на 35 і 74 % відповідно. Перероблення макулатури знижує обсяг споживаної енергії від 40 до 65 %.

3. Капітальні витрати на створення підприємств, що використовують макулатуру, значно нижчі, ніж витрати на створення підприємств, що виробляють целюлозну сировину.

4. Підприємства, що використовують в якості сировини макулатуру, розташовані в промислово розвинених районах, де утворюються основні ресурси макулатури, є розвинена інфраструктура, кваліфіковані кадри і знаходиться основна маса споживачів картонно-паперової продукції. Тим самим знижуються транспортні витрати на транспортування сировини та продукції.

5. Використання макулатури, відібраної з твердих побутових відходів, забезпечує зменшення обсягів міських звалищ, які містять до 25 % (по масі) паперу і картону і до 60% обсягу відходів комерційного сектору.

6. Зникає необхідність застосування на підприємствах, що переробляють макулатуру, варильного і розмельного устаткування для деревини та дозволяє досягати економії води, теплової енергії, електроенергії, хімікатів.

Оцінюючи переваги, одержувані від використання макулатури, слід враховувати ряд недоліків і проблем, що супроводжують цей процес.

1. Макулатурне волокно, на відміну від целюлози з деревини, характеризується зниженими папероутворюючими властивостями та наявністю різноманітних забруднень, що призводить до погіршення якості продукції, а також до ускладнень в роботі устаткування.

2. Відбувається поступове погіршення якості макулатурного сировини, пов'язане з її багаторазовим використанням.

3. Переробка макулатури супроводжується утворенням значної кількості виробничих стоків від установок флотаційного облагородження макулатури з підвищеним вмістом мочевиноформальдегідних смол та поверхнево-активних речовин.

4. При виробництві продукції на поверхню паперу і картону наносять різні водовідштовхувальні покриття, здійснюється просочення продукції (наприклад, парафінування). Окремі види продукції покривають ламінованим плівками чи фольгою. Дані речовини та сполуки ускладнюють процеси переробки макулатури і вимагають додаткових витрат.

Макулатура, яка придатна для повторного використання, складається з різних видів відходів продукції паперового і картонного виробництва. Найбільш цінна вторинна сировина - відходи друкарського виробництва. Майже 100%

таких відходів придатні для повторного використання, в той час як понад 15% побутової макулатури не придатні для цих цілей. З сортованої макулатури виробляють газетний, друковально - писальний, санітарно-гігієнічний, пакувальний папір, картон. Переробка макулатури на білий папір для письма вимагає підвищених витрат, що пов'язано з необхідністю знебарвлення друкарських фарб, видалення проклеюючих речовин і наповнювачів. Несортована макулатура традиційно використовується у виробництві низькосортного паперу і картону, призначеного для отримання пакувальних і будівельних матеріалів.

Згідно ДСТУ 3500-97 «Макулатура паперова і картонна» в залежності від складу макулатура поділяється на чотири групи:

- група «А» - макулатура з високими паперотворними властивостями (офісний, білий некрейдований і невибілений сульфатний папір, відходи паперового виробництва целюлози, білі пакети і щільні мішки з паперу без покриттів);
- група «Б» - макулатура з середніми паперотворними властивостями (відходи гофрованого картону, старих книг без палітурок);
- група «В» - макулатура з низькими паперотворними властивостями (кольоровий картон, газети, мішки з просоченням, шпулі, гільзи та інші відходи виробництв виробів із паперової маси);
- група «Г» - макулатура, яка важко розпускається.

Макулатура даних груп залежно від складу, джерел надходження, кольору і здатності до розпускання поділяється на 22 марки. Наприклад, в групі А марка МС-2А-1 має наступний склад: відходи перероблення білого паперу різного за складом, з лініюванням або без нього (крім газетного) без пігментованого покриття, без покриття і просочення синтетичними смолами, парафіном, воском, жироподібними речовинами тощо та без ламінування. Від марки залежить не тільки ціна вторсировини, а й те, що з неї можна отримати після рециклінгу. Наприклад, з газетного паперу неможливо виготовити папір високої якості для копіювальних машин і принтерів.

Всі зазначені марки макулатури не повинні містити сторонні домішки, а також папір і картон, які непридатні для переробки (покриті полімерними плівками, лаком, смолами, тканиною, фольгою; просочені водостійкими складами тощо). Засміченість макулатури пилом, піском та інші сторонні включення не повинна перевищувати 1,5%. Вологість макулатури всіх марок не повинна перевищувати 15%.

Класифікація паперу за різними категоріями залежно від типу:

- 1) типи паперу, що добре піддаються рециклінгу:
 - картон;

- цупкий папір ($> 100 \text{ г/м}^2$);
- газети;
- журнали;
- рекламні буклети, невеликі брошури;
- конверти (без пластикових вікон);
- папір для копіювальних апаратів (80 г/м^2);
- газетний папір;

2) типи паперу, що є більш складнішими в процесі рециклінгу:

- подрібнений папір;
- пакувальний папір, який має включення липкої стрічки;

3) макулатура, що не приймається для перероблення:

- брудний або мокрий папір;
- паперові стакани;
- обгортки кондитерської продукції, конфетті;
- серветки;
- туалетний папір;
- паперові рушники.

Окремі види макулатури складніше переробляти, оскільки вона містить сторонні елементи. Наприклад, конверти з пластиковими вікнами не піддаються переробленню одразу – спочатку необхідно видалити пластик. Папір із пластиковим покриттям також може створювати ускладнення для переробки.

Значна частина переробленого паперу надходить із промислових і комерційних джерел, оскільки його найлегше, найчистіше та найекономічніше збирати. Збір і транспортування макулатури від населення здійснюють і організовують спеціалізовані пункти. Збір макулатури доцільно поєднувати з сортуванням за такими категоріями паперу, як картон, газетний папір, журнальний папір, офісний папір тощо. Зібрану макулатуру перед транспортуванням на переробні підприємства на заготівельних пунктах піддають попередньому пресуванню у кіпи. В окремих випадках допускається затарювання макулатури в паперові мішки або картонні коробки. На кожну кіпу повинне бути нанесене інформаційне маркування. Зберігання макулатури на складах або обладнаних майданчиках повинно забезпечувати її захист від впливу атмосферних опадів і ґрунтової вологи. Макулатура транспортується в критих транспортних засобах.

Основною метою переробки макулатури є отримання волокнистої маси, яка придатна для використання в композиції паперу і картону, максимально заміщаючи первинні волокнисті напівфабрикати (целюлозу або механічну деревну масу), а також максимальне видалення з неї забруднень. Процес

переробки макулатури - це сукупність технологічних операцій для надання вторинним волокнам певних папероутворюючих властивостей при максимальному видаленні забруднень і домішок. На целюлозно паперових комбінатах перш за все отриману макулатуру піддають сортуванню – поділяють на картон, офісний папір, газети. Подальший процес переробки макулатури складається з чотирьох стадій:

1-а стадія - разволокнення (розпуск) макулатури, груба очистка, сортування і додаткове разволокнення макулатурної маси.

Дана стадія дозволяє певною мірою відновити папероутворюючі властивості волокон макулатури і отримати волокнистий напівфабрикат, який може бути використаний в композиції гладких шарів картону (без можливості нанесення друку) і паперу для гофрування. Відбувається видалення великих неволокнистих забруднень (наприклад, скоби, пластик, скло тощо). Волокна поступово очищаються, а отримана целюлоза фільтрується та кілька разів пропускається через сита з отворами різного розміру та форми для видалення забруднень, таких як шматочки клею та шматочки пластику.

2-а стадія - тонке очищення і сортування отриманої на першій стадії макулатурної маси, її додаткове розмелювання і/або диспергування. В результаті такої обробки у волокон макулатурної маси відновлюються папероутворюючі властивості, що дозволяє використовувати її при виробництві гладких шарів картону. При використанні у якості сировини макулатури високої якості, з'являється можливість після двох перших стадій переробки отримати напівфабрикат, який є придатним для виготовлення зошитового, шпалерного, санітарно-гігієнічного та інших видів паперів.

3-я стадія включає видалення з волокон макулатурної маси друкарської фарби шляхом промивання, флотації та обробки хімічними реагентами.

4-а стадія включає процеси відбілювання або знебарвлення з допомогою вибілюючих речовин.

Після проведення 3-ї і 4-ї стадій переробки помітно покращуються папероутворюючі властивості макулатурної маси - поряд з підвищенням білизни певною мірою збільшуються показники механічної міцності.

Здійснення 4-ї стадії обробки є досить складним і вартісним процесом, що обумовлено наступними факторами:

- високою вартістю використовуваного обладнання та хімічних реагентів;
- досить складною технологією;
- необхідністю створення інфраструктури для зберігання, підготовки і дозування реагентів;
- значним підвищенням забрудненості технологічної води і, отже, витрат на її очищення.

Зазвичай процес переробки макулатури проводиться в конвеєрному режимі. У виробничий ланцюг входять подрібнювальні машини, дробарки, центрифуги для очищення, спеціальне обладнання для очищення від домішок, протиральні сітки і пристрої для прокатування.

10.1. Розволокнення макулатури

У результаті фізико-хімічних процесів при зволоженні сухої макулатури вода проникає в пори листів макулатури, збільшує відстань між волокнами і викликає набухання. Відбувається розрив міцних водневих зв'язків між волокнами і заміщення цих зв'язків слабкими водними містками. Одночасно вода, подібно до мастильного матеріалу, зменшує сили тертя між сусідніми волокнами, що призводить до додаткового зниження міцності макулатурного листа. Ступінь впливу вологи характеризується показниками вологостійкості, які у різних видів паперу та картону є різними. Основним призначенням зволоження є зниження механічної міцності листів та створення сприятливих передумов для розволокнення макулатури за допомогою спеціального технологічного обладнання. Зволоження відновлюємого матеріалу не забезпечує повного розволокнення (розпуску) макулатури.

Порушення цілісності листів макулатури та їх розволокнення у водному середовищі відбувається під дією гідродинамічних і механічних процесів за рахунок енергійного механічного перемішування волокон з водою за допомогою ротора. Зазвичай грубе подрібнення макулатури проводиться у гідророзбивачах у водному середовищі при концентрації макулатури 2,5...5,0%. Важливою функцією гідророзбивачів є відмивання від макулатурної маси клею, який додатково з'єднував целюлозні волокна, та її очищення від піщаних забруднень.

У якості обладнання для розволокнення макулатури застосовуються гідророзбивачі (рис. 136). При обертанні ротора у ванні гідророзбивача формуються потужні турбулентні потоки води з температурою 35...40°C, котрі зумовлюють дезагрегацію макулатури. Гідророзбивач складається з відкритої нерухомої циліндричної ванни з заокругленим дном, усередині якої розміщено обертовий ротор з лопатями. Водно - макулатурна маса, яка відкидається лопатями ротора до стінок ванни, піднімається у висхідному потоці по спіралі у верхню частину ванни. Водно - макулатурна маса, проходячи по під стінами ванни гідророзбивача, поступово втрачає швидкість і знову засмоктується до центру гідравлічної воронки, що утворюється ротором (низхідний потік). Таким чином, відбувається циркуляція водно - макулатурної маси у ванні, у результаті цього на вільній поверхні маси утворюється воронка. Для

інтенсифікації процесу розволокнення на внутрішній стінці ванни встановлюють спеціальні планки, об які маса вдаряється, піддається збуренню і додатковим коливанням.

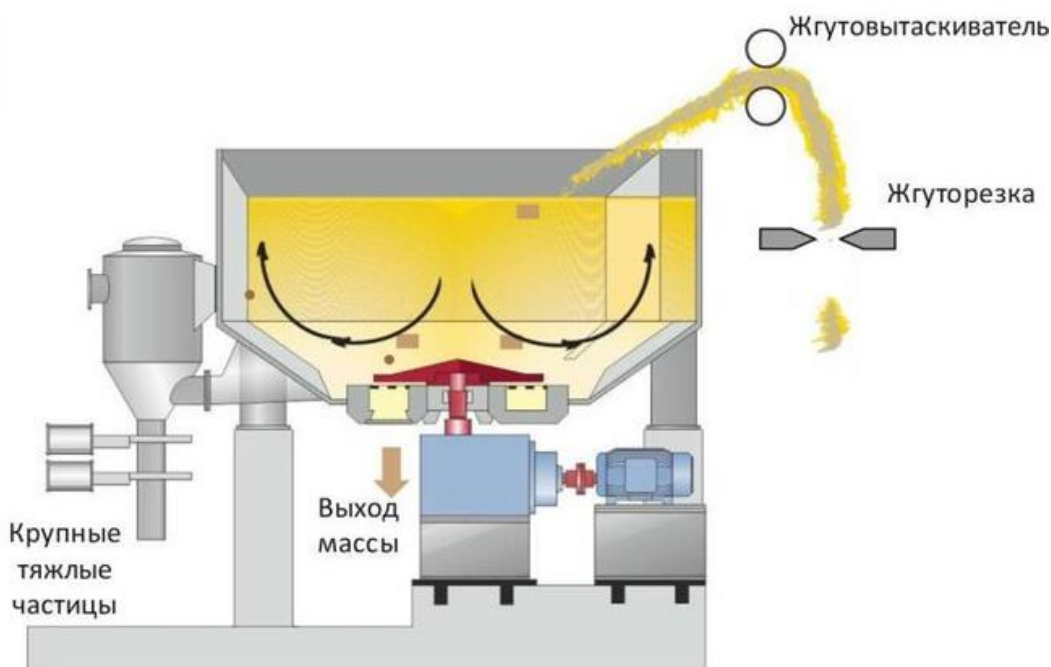


Рисунок 136 – Гідророзбивач для розволокнення макулатури

Важливим завданням переробки макулатури є відділення від водно - макулатурної маси нерозволокнених складових: ламінату, скотчу, тканинних книжкових корінців тощо. Для їх уловлювання підготовлена макулатурна маса проходить через отвори діаметром 10...12 мм сита гідророзбивача, де відбувається відділення грубих частинок. Брудозбірник, який призначений для уловлювання великих і важких включень, розміщують в нижній частині ванни. Зібрані забруднення з брудозбірника періодично видаляють.

За допомогою джгутовловлювача з ванни працюючого гідророзбивача безперервно видаляються сторонні включення, здатні за своїми розмірами та властивостями закручуватися у джгут (мотузки, ганчір'я, дріт, пакувальна стрічка, шматки полімерної плівки тощо). Для утворення джгута на початку роботи у трубопровод, який підведений до ванни гідророзбивача, опускають шматок дроту, таким чином, щоб його один кінець занурився на 150...200 мм нижче рівня водно - макулатурної маси у ванні. Утворений джгут періодично витягується з ванни і розрізається спеціальним дисковим механізмом, встановленим безпосередньо за джгутовловлювачем. За допомогою потужних магнітів, з паперової маси відділяють металеві елементи: скріпки, дужки, пластинки тощо.

Утворена волокниста суспензія (пульпа) періодично відводиться з гідророзбивачів і накопичується в басейні для набухання волокна. В басейні накопичують запас пульпи, який є достатнім для 1 години роботи технологічного обладнання.

Тонке очищення є ключовою операцією, що впливає на стабільну роботу папероворобних машин. Тонке очищення є необхідною стадією для повного видалення залишків абразивних матеріалів, які можуть викликати передчасний знос щілинних сит сортувальних установок і погіршити якість кінцевої волоконної маси. Крім того, дана технологічна операція призначена для відділення матеріалів з щільністю меншою, ніж у води (віск, пінопласт тощо).

Сутність процесу сортування полягає в пропусканні макулатурної маси через отвори сит, розмір і форма яких забезпечують поділ частинок, які містяться в масі. Мета сортування - видалення з макулатурної маси сторонніх включень. Визначальними параметрами сторонніх включень є їх розмір, форма і деформованість. Відповідно до значень цих параметрів вибирають сита з круглими або щілинними отворами, розмір яких зазвичай більше, ніж розмір волокон, але менший за розмір видаляємих сторонніх включень. У процесі сортування водна фаза макулатурної маси легше проходить крізь сито, ніж волокно. В результаті, на сортуючій поверхні відбувається згущення маси, що знижує ефективність сортування. Тому поверхню сита промивають водними струменями, що забезпечує постійне руйнування утвореного волокнистого шару.

При грубому сортуванні макулатурна маса подається на вібруюче сито, яке має діаметр отворів 1,6...2,5 мм. Тверді домішки, розмір яких більше розміру отворів, затримуються на його поверхні і завдяки вібрації скидаються з неї у спеціальні контейнери. Волокна макулатурної маси, які вільно пройшли через отвори сита, передаються для подальшої обробки. Тонке сортування макулатурної маси здійснюється при низькій і середній концентрації макулатурної маси в сортуючих пристроях з шириною щілин сита 0,1...0,25 мм.

Для більш тонкого сортування макулатурної маси застосовують відцентрові (напірні) сортувальні установки. Особливістю конструкції таких установок є нерухомо розташоване у корпусі циліндричне сито з щілинними або круглими отворами, усередині якого обертається ротор з лопатями. Суспензія макулатурної маси подається всередину сита, якісна волоконна маса протискається через отвори сит і видаляється через розвантажувальний патрубок, а забруднення і домішки залишаються на поверхні сита і видаляються через патрубок для видалення відходів.

10.2. Очистка та сортування макулатурної маси

Після гідророзбивача грубе очищення розволокнутої макулатурної маси у технологічному потоці проводиться у вихрових конічних очищувачах (гідроциклонах). Процес очищення являє собою виділення з пульпи сторонніх включень під дією відцентрової сили за рахунок різниці в щільності волокон і забруднюючих включень. Пульпа під дією надлишкового тиску подається в гідроциклон через тангенціально розташований патрубок з невеликим нахилом до горизонталі (рис.140). У вихровому потоці, що виникає при русі макулатурної маси зверху вниз через конічний корпус очисника, під дією відцентрових сил важкі сторонні включення відкидаються до стінок апарату і збираються в камері відходів. При цьому відбувається зосередження очищеної маси в центральній зоні корпусу апарату та її підйом по висхідному потоку і відведення з очищувача. Накопичені у камері гідроциклону відходи, по мірі їх накопичення, періодично видаляються за рахунок подачі потоку води.



Рисунок 137 - Гідроциклони для очищення розволокнутої макулатури

Для остаточного розволокнення макулатурної маси використовують, пульсаційні млини та турбосепаратори кавітатори.

Застосування пульсаційних млинів дає можливість підвищити продуктивність гідророзбивачів і знизити витрату споживаної ними енергії. При використанні пульсаційних млинів роль гідророзбивачів у технологічному потоці зводиться, в основному, до розволокнення макулатури до стану, при якому її можна транспортувати гідротранспортом по трубопроводам за

допомогою відцентрових насосів. Млин особливо добре підходить для дорозпуску макулатурної маси, яку отримують у результаті переробки макулатури невисокої якості.

Принцип роботи пульсаційних млинів заснований на тому, що водно – макулатурна маса з концентрацією волокон 2,5...5,0%, проходячи через робочу зону, піддається інтенсивній пульсації гідродинамічних тисків і градієнтів швидкостей, в результаті чого здійснюється повне розділення на окремі волокна грудочок і пучків макулатури, без їх укорочення. Волокна макулатури, які проходять через млин, механічно не ушкоджуються. Пульсаційний млин складається зі статора і ротора конусоподібної форми та трьох рядів по чергово розміщених канавок і виступів, число яких в кожному ряду зростає в міру збільшення діаметра конуса на відповідному рівні. Просвіт між ротором і статором становить від 0,2 до 3 мм, що є у десятки разів більшим, ніж середня товщина волокна. Частота пульсацій, яка залежить від частоти обертання ротора і числа канавок і виступів на кожному ряду на поверхні ротора і статора, може досягати 2000 герц. Завдяки цьому ступінь разволокнення макулатури при проходженні через млин досягає 98%.

Турбосепаратори дозволяють, одночасно з остаточним разволокненням макулатурної маси, здійснювати її додаткове очищення від залишків нерозволокненої макулатури, а також невеликих шматочків пластмаси, плівок, фольги та інших сторонніх включень. Макулатурна маса надходить в турбосепаратор під надлишковим тиском до 0,3 МПа через тангенціально розташований патрубок і, завдяки обертанню ротора з лопатями, набуває інтенсивного турбулентного обертання всередині апарату і циркуляцію до центру ротора (рис.138). Завдяки цьому відбувається подальше разволокнення макулатури, що в повній мірі не відбулося у гідророзбивачі на першій стадії разволокнення. Остаточо разволокнена макулатурна маса проходить через отвори діаметром 3 - 6 мм в кільцевому ситі, розташованому навколо ротора, і надходить в приймальну камеру очищеної маси. Легкі дрібні включення (шматочки деревини, пробок, целофану, поліетилену та ін.), які неможливо відокремити в звичайному гідророзбивачі і які можуть подрібнюватися в пульсаційних млинах, збираються в центральній частині вихрового потоку маси і через спеціальний патрубок, розташований в центральній частині торцевої кришки апарату, періодично відводяться.

Застосування турбосепараторов дає можливість створити більш сприятливі умови для роботи обладнання при подальшій переробці макулатурної маси, поліпшити якість макулатурної маси і знизити витрату енергії на її приготування на 30 ... 40%.

Макулатурна маса є складною неоднорідною системою. Фракційний склад

макулатурної маси: коротковолокниста фракція – 19...28%, довговолокниста – 65...70%. Коротковолокниста фракція макулатурної маси складається з ороговілих обривків волокон довжиною до 0,2 мм і характеризується низькими папероутворюючими властивостями. Довговолокниста фракція потенційно забезпечує високі показники механічної міцності паперу при низьких ступенях помолу. У макулатурній масі, особливо при переробці змішаної макулатури, міститься велика кількість дрібних волокон, наявність яких уповільнює зневоднення маси і погіршує показники механічної міцності готової продукції. Для підвищення якості паперової продукції до макулатурної маси додають розраховану корегуючу кількість свіжих целюлозних волокон. Проведення технологічної операції фракціонування макулатурної маси забезпечує розділення волокон на довго- і коротковолокнисті фракції.



Рисунок 138 – Турбосепаратор для разволокнення макулатурної маси

Для фракціонування макулатурної маси застосовують сортувальні установки, які оснащені ситами з отворами діаметром 1,0...2,2 мм, що працюють при різниці тиску 30..40 кПа між поверхнями сита, з проведенням постійного промивання поверхонь. Після фракціонування розділені коротковолокнисті та довговолокнисті фракції обробляють за різними технологіями у залежності від вимог до міцності отримуємого паперового матеріалу.

Концентрація маси після проведення сортувальних операцій є низькою - від 0,4 до 0,7%. В той же час, операції виготовлення паперово - картонної продукції (регулювання концентрації, складання композиції і накопичення певного запасу маси в басейнах) необхідно проводити з більш густою масою. Тому очищену волоконну масу після проведення сортування направляють на згущувачі, які знижують вміст в ній води до рівня 5,5...7,5%. Під час згущення від волоконної маси відділяється значна частина води, що надходить на повторне використання у системі переробки макулатури.

Згущення в основному проводиться в циліндричних згущувачах з механічним розвантаженням утвореного осаду. У конструкцію стрічкового згущувача входять два сітчастих барабани, які огинає прогумована стрічка (рис.139). Волоконна маса з концентрацією близько 4% безперервно надходить у проміжок між великим барабаном і прогумованою стрічкою. Вода під дією тиску стрічки видавлюється через сітку всередину барабана і видаляється через його торці. Волоконна маса пристає до поверхні прогумованої стрічки і разом з нею поступає на малий барабан, де додатково видаляється волога. Утворений шар волокон відділяється від стрічки та надходить до розпушувачів і далі направляється в технологічний потік.

Якщо макулатурна маса має проходити подальше відбілювання або зберігатися в вологому стані, то її згущують до концентрацій 12...17%, використовуючи для цього вакуумні фільтри або шнекові преси.

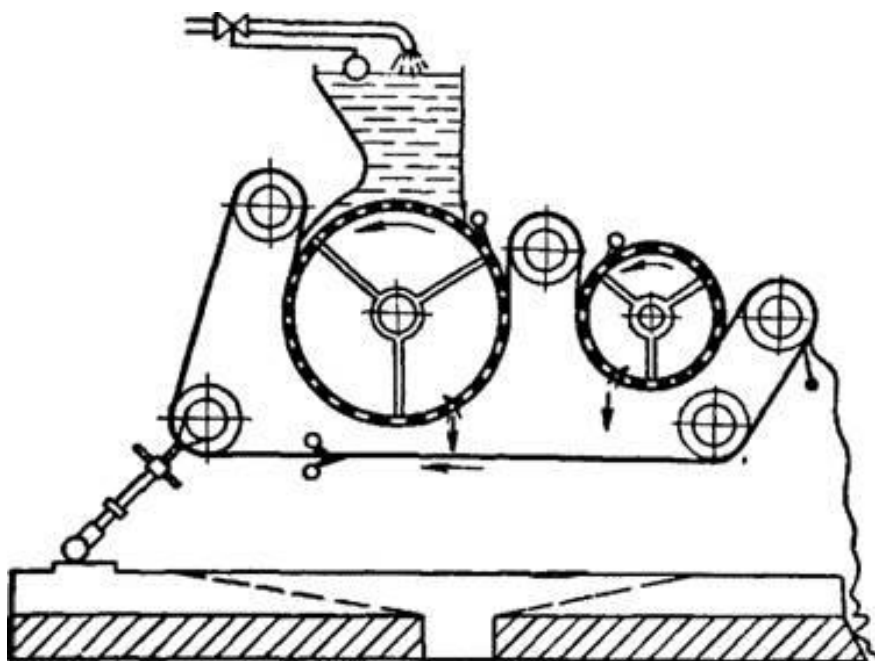


Рисунок 139 – Стрічковий згущувач макулатурної маси

10.3. Видалення друкарської фарби та відбілювання макулатурної маси

При вибілюванні макулатурної маси вирішуються наступні завдання:

- компенсація зниження білизни волокнистого напівфабрикату, внаслідок природного старіння;
- знебарвлення волокон макулатурної маси, отриманої з кольорової макулатури.

Процес хімічного облагородження макулатурної маси шляхом вилучення з неї частинок друкарської фарби складається з наступних етапів:

- попередня підготовка волокнистої маси, яка полягає у відділенні частинок друкарської фарби та переведення їх в суспензію;
- віддалення частинок фарби з суспензії промиванням або флотацією з метою отримання очищених волокон.

Друкарські фарби поділяють на дві групи: м'які - жирні і крихкі - тверді. М'які фарби необхідно піддавати зберігаючій обробці при низькій витраті енергії. Якщо інтенсивність обробки буде занадто високою, ці фарби розмиються по поверхні волокон і колір маси стає сірим. З цієї причини м'які жирні частинки видаляють при операціях попереднього сортування, очищення та промивання.

У результаті механічної дії при разволокненні макулатури і при хімічних реакціях частки фарби диспергують і відокремлюються від волокон, утворюючи водно-волокнисту суспензію, яка містить частинки фарби. Найбільш істотний вплив на процес відділення частинок фарби від волокон і видалення їх з волокнистої суспензії має склад фарби.

Флотація являє собою технологічну операцію з очищення волокнистої суспензії, яка базується на здатності гідрофобних частинок домішок прикріплюватися до бульбашок повітря і переміщатися разом з ними до поверхні суспензії. Процес видалення частинок друкарської фарби способом флотації, в порівнянні зі способом промивання, є більш складним і потребує ретельно виконаної хіміко-механічної обробки макулатури з метою отримання повністю разволокненої маси, а також застосування для флотації спеціальних хімічних речовин. В процесі флотації найбільш ефективно видаляються частинки фарби розміром від 10 до 150 мкм.

Піна, що утворюється у результаті аерації волокнистої суспензії бульбашками повітря, піднімається у верхню частину флотаційної камери, звідки спеціальними пристосуваннями видаляється з установки. Чим вищою є гідрофобність плівки фарби, тим легше проходить її з'єднання з бульбашками повітря і тим стійкіша утворюється піна. Для підвищення стійкості піни до волокнистої суспензії додають спеціальні хімічні речовини - флотореагенти,

що сприяють ущільненню піни і більш повному видаленню її з флотаційної камери.

Для ефективного видалення частинок друкарської фарби в технологічних схемах переробки макулатури поряд з флотацією використовують промивку макулатурної маси. Промивка макулатурної маси – технологічна операція по видаленню з суспензії частинок домішок розміром менше 30 мкм. Механізм відділення частинок друкарської фарби від волокон включає: набухання волокон при зволоженні макулатури, механічна дія на волокна, ослаблення хімічних зв'язків. Набухання волокон призводить до утворення тріщин у плівці друкарської фарби і її руйнування. Механічна обробка макулатурної маси сприяє відділенню частинок друкарської фарби за рахунок тертя між волокнами.

Для відбілювання макулатурної маси використовуються хімічні реагенти: пероксид водню (H_2O_2), дитионіт натрію ($Na_2S_2O_4$), гіпохлорит натрію ($NaClO$), діоксид хлору (ClO_2), кисень (O_2), озон (O_3). Серед відбілюючих реагентів найбільше застосування має пероксид водню (H_2O_2), який володіє сильними окислювальними властивостями. Він мало токсичний і простий у використанні, а продукти його розпаду (вода і кисень) не є небезпечними. Додавання пероксиду водню при диспергуванні макулатурної маси сприяє відділенню частинок друкарської фарби і липких забруднень. Пероксид водню використовується в паперовому виробництві при відбілюванні целюлози, різних видів механічної деревної і макулатурної маси.

Поєднання процесу видалення фарби при флотації і процесу відбілювання, дає синергетичний ефект, який забезпечує білизну макулатурної маси.

10.4.Формування паперового полотна

Однорідна відбілена волокниста макулатурна маса рівномірним шаром розливається по поверхні дрібнопористого фільтруючого сита папероробної машини. За рахунок стікання через сито надлишок води з маси видаляється, що забезпечує підвищення концентрації волокон, які починають зв'язуватися між собою. Попередньо сформована волоконна маса подається на рухомий сітковий стіл папероробної машини. Паперова маса рівномірно розподіляється по ширині стола, проходить між вирівнюючими вальцями, де відбувається її віджимання і попереднє калібрування. У результаті паперова маса набуває потрібної товщини і вирівнюється по всій площі майбутнього листа (рис.140). Утворений лист з вологої паперової маси втягується у провіт між нагрітими поверхнями барабана, де він остаточно підсушується, злипається в однорідну масу і перетворюється безпосередньо у папірове полотно. Додатково для

сушки паперове полотно піддається впливу нагрітого повітря у сушильних камерах, а також сушіння з використанням інфрачервоного випромінювання, яке проникає всередину аркуша, прогріваючи і випаровуючи вологу з паперу.



Рисунок 140 - Папероробна машина



Рисунок 141 - Бобінорозмотувальний верстат

Виробництво паперу проводиться у безперервному режимі. За 8 годин утворюється паперова стрічка довжиною близько 120 км. Утворений папір намотується на бухту в рулон діаметром 2...3 м, вагою 9...10 т. З бухтою таких

розмірів незручно працювати, її важко переміщувати, тому проводяться заключні операції перенамотки в менші бабіни і нарізки паперу.

Отримана на папероробній машині бухта переставляється на бобінорозмотувальний верстат, де вона перемотується в рулони меншого діаметру (рис 141). Перемотування на бобінорозмотувальному верстаті дозволяє отримувати більш щільне намотування паперу в рулоні. При необхідності отриманий рулон розпилюють на рулончики на верстаті для нарізки рулончиків.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте переваги та недоліки використання макулатури.
2. В чому полягає економічна ефективність утилізації макулатури?
3. Як класифікується макулатура?
3. Охарактеризуйте основні технологічні етапи утилізації макулатури.
4. Охарактеризуйте призначення і принцип роботи обладнання для розволокнення макулатури.
5. Опишіть процес розволокнення макулатури.
6. Опишіть, як змінюються властивості паперу при використанні макулатури.
7. Опишіть способи очищення макулатурної маси.
8. Яким чином проводиться відбілювання макулатурної маси?
9. Опишіть принцип роботи папероробної машини.

11. Відновлення скляних відходів

Скло - це твердий, хімічно стійкий аморфний матеріал, який одержують шляхом переохолодження силікатного розплаву. Скло при твердінні не кристалізується і воно не має вираженої температури плавлення. На відміну від кристалічних матеріалів скло, при нагріванні у відповідному температурному інтервалі теж розм'якшується поступово, переходячи з твердого крихкого стану у в'язкий і далі у текучий стан - скломасу.

На сьогодні світове виробництво скла становить близько 130 млн т на рік. Скляна продукція складається з тарного скла (48%), листового скла (42%), посуду (5%), інші вироби зі скла (5%). Скляна промисловість достатньо забезпечена якісними недорогими сировинними ресурсами. Вартість матеріалів, з яких виготовлено скло, становить лише невелику частку вартості готового скляного виробу (приблизно 10-20%). Скло використовується в багатьох сферах, включаючи міцну та хімічно інертну тарну продукцію для рідин, будівництво, споживчі товари та автомобільну промисловість. В умовах зростаючого глобального забруднення навколишнього середовища зростає увага використанню до альтернативного використання скляних виробів замість пластикових матеріалів. Використання скла стримується підвищеною щільністю, крихкістю та значним споживання енергетичних ресурсів у виробництві скляної продукції, незважаючи на значні можливості рециклінгової переробки та мінімальний вплив на навколишнє середовище.



Рисунок 142 – Використана склотара

Велику частку від загального об'єму продукції, що виготовляють скляні заводи, займає тарне скло. Тарне скло широко використовується для фасування, зберігання та транспортування різноманітних рідких, пастоподібних та твердих продуктів. Скло не виділяє шкідливих речовин, не має запаху, забезпечує тривале зберігання продуктів, добре миється та дезінфікується, легко утилізується, має добрі декоративні показники. До переваг скляної тари, що обумовлюють її широке використання є: гігієнічність, прозорість, можливість виготовлення тари різноманітних розмірів та форми багаторазового використання, її доступна ціна.

За складом в залежності від застосування до найбільш поширених видів скла відносяться:

- содово-вапнякове скло ($\text{Na}_2\text{O} : \text{CaO} : 6\text{SiO}_2$);
- калійно-вапнякове скло ($\text{K}_2\text{O} : \text{CaO} : 6\text{SiO}_2$);
- калійно-свинцеве скло ($\text{K}_2\text{O} : \text{PbO} : 6\text{SiO}_2$).

На содово-вапнякове скло припадає близько 90% виробництва скляної промисловості (пляшок і банок, віконного скла, автомобільного скла).

Для виробництва скла використовують шихту - однорідну суміш попередньо підготовлених сировинних матеріалів, складену відповідно до заданого рецепту. Склад шихти розраховується, виходячи із виду отримуемого скла, з урахуванням хімічного складу окремих сировинних матеріалів (кварцового піску, соди, вапняку, польового шпату, сульфату натрію).

Базовими компонентами шихти для виробництва скла є кварцовий пісок (70%), сода і вапно (30%). Температура, яка необхідна для розплавлення кварцового піску, є досить високою - близько 1700°C , тому до піску додають матеріали, щоб знизити температуру плавлення скломаси. Найпоширенішою із таких добавок є лужний оксид натрію Na_2O , який прискорює процес склоутворення, знижує температуру плавлення скломаси до 800°C і її в'язкість. Оксид натрію Na_2O вводять до складу шихти у вигляді добавок кальцинованої соди Na_2CO_3 , сульфату натрію або селітри. Оксид кальцію CaO також знижує температуру розмякшення і в'язкість, полегшує варіння і освітлення скломаси, підвищує хімічну стійкість і механічну міцність скла. До складу шихти оксид кальцію вводять у вигляді добавок CaCO_3 (вапняк, крейда, мармур). До допоміжних сировинних матеріалів відносяться прискорювачі варіння скла, освітлювачі, барвники, знебарвлюючі речовини тощо.

Виробництво скла включає наступні технологічні операції: підготовку сировинних матеріалів (сушка, подрібнення); приготування скляної шихти (дозування і змішування компонентів); варіння скломаси; вироблення

(формування) з виробів зі скломаси; фінішну термічну, механічну або хімічну обробку виробів для поліпшення властивостей.

Варіння скла - високотемпературний фізико-хімічний процес, у результаті якого суміш сировинних матеріалів перетворюється на однорідну розтоплену масу, придатну для формування з неї скляних виробів. Шихту завантажують у піч, де з неї при відповідній температурі одержують розплавлену скломасу, яка після витримки у печі протягом певного часу набуває необхідну однорідність. Варіння скломаси проводять у ванних печах безперервної дії, які представляють собою басейни, утворені з вогнетривких матеріалів, з газовим або електричним обігрівом. Печі безперервної дії зазвичай мають ємність від 10 до 1500 т.

Процес варки скломаси поділяється на наступні стадії: силікатоутворення, склоутворення, освітлення, гомогенізація та остудження.

Силікатоутворення для звичайного скла починається при температурі 300°C і закінчується при $1100\ldots1150^{\circ}\text{C}$. При нагріванні компонентів шихти відбувається утворення силікатів спочатку в твердому вигляді, а потім у розплаві. По завершенню процесу силікатоутворення з'являється рідка фаза та виділяється основна маса газів.

На стадії склоутворення завершується розчинення зерен тугоплавких компонентів SiO_2 і Al_2O_3 у силікатному розплаві та взаєморозчинення розчинів силікатів. Наприкінці процесу склоутворення при температурах $1400\ldots1450^{\circ}\text{C}$, скломаса стає більш прозорою, в ній не залишається непроварених часток. Процес склоутворення протікає повільніше, ніж силікатоутворення і складає $60\ldots70\%$ загального часу проварювання шихти. Швидкість процесу склоутворення залежить від складу скла та температурних параметрів процесу.

Отримана скломаса залишається насиченою газовими бульбашками і є неоднорідною за складом. Гомогенізація відбувається при температурах $1500\ldots1600^{\circ}\text{C}$, коли в'язкість розплаву знижується, а бульбашки, що виділяються зі скляної маси, сприяють її перемішуванню. Гомогенізація забезпечує хімічну однорідність скломаси.

Заклучна стадія процесу варіння скла - остудження. Вона полягає у поступовому охолодженні в печі скляної маси. На цій стадії скляна маса набуває в'язкість, необхідну для формування скловиробів методами витягування, прокатки, пресування, лиття, видування тощо.

Відходи скла зазвичай утворюються з чотирьох основних джерел:

- брак в процес виробництва скляних виробів;
- тверді побутові відходи;
- будівництво, реконструкція і знесення споруд;

- переробка скляних елементів автомобілів, що вийшли з експлуатації (лобове, заднє та дверне скло).

Відходи скла в процесі виробництва скляних виробів зазвичай утворюються при формуванні скляних виробів та після їх формування при вогневому поліруванні, відпалі, різанні тощо. Дефектні та розбиті скляні вироби в цих процесах накопичуються як скляні відходи, які подрібнюють і повторно використовують у вигляді склобою.

Основними варіантами утилізації використаних скляних виробів є:

1. Широке промислове повторне (зворотне) використання склотари за прямим призначенням без переплавлення. Цей вид поводження передбачає збирання і здачу склотари прийомними пунктами. Зібрана склотара передається на відповідні підприємства, де після миття і стерилізації в неї розливають різноманітні напої. У цьому процесі утворюються лише слабозабруднені стічні води і тверді відходи, що складаються з кришок, етикеток і пошкоджених пляшок. Сучасні маркетингові технології передбачають наявність у більшості фірм індивідуального дизайнового оформлення склотари, в торговій мережі все менше присутня продукція в уніфікованих одноманітних пляшках і банках, що ускладнює повторне використання значної частини оборотної тари. Однак, у промислово розвинутих країнах низька вартість скляної сировини часто робить дешевшим виробництво нових скляних предметів, ніж повторне використання скляної тари.

2. Використання склотари у якості сировини для виробництва нових скловиробів. Склобій - це складова частина шихти для скловаріння, яку отримують шляхом подрібнення битих скловиробів, браку та невикористаної склотари.

3. Застосування склобою в якості сировинного компонента у виробництві ряду будівельних матеріалів;

4. Вивезення на полігони разом з твердими побутовими відходами для захоронення. Спосіб збору та сортування скляних відходів, що містяться у твердих побутових відходах залежить від організації цієї роботи у громадах. Скляні відходи, які викидаються на звалища, практично не розкладаються, що призводить до їх накопичення.

Незважаючи на переваги рециклінгової переробки, економічну ефективність і екологічну доцільність, переробка тарного скла шляхом переробки його склобою зазвичай менш вигідна в порівнянні з його повторним використанням. Постійно зростаючі ціни на енергоресурси і сировинні матеріали, а також необхідність підвищення екологічності виробництва роблять переробку скла,

яке вийшло з ужитку, все більш значущою, оскільки збільшення вмісту склобою в шихті для варіння скла на 1% дає до 0,5% економії спожитої енергії.

До переваг процесу рециклінгової переробки скла відноситься:

1. Переробка скляного бою має вирішальне значення не тільки з точки зору управління відходами, але і для забезпечення сталого використання матеріалів. Зменшення використання природної сировини, яку потрібно видобувати, мінімізує загальний вплив процесу скловаріння на навколишнє середовище.

2. Зменшення викидів CO₂ в атмосферу через зниження споживання енергії в процесі видобутку та виробництва. Викиди вуглекислого газу зменшуються на 1 т на кожні 6 т переробленого скла.

3. Енергозбереження у виробництві за рахунок зниження температури плавлення суміші вторинного скла (склобою). На розплавлення склобою витрачається менше енергії ніж при використанні первинної сировини, оскільки необхідні хімічні реакції перетворення кварциту на скло вже відбулися, і подальше переплавлення склобою потребує лише енергії для повторного нагріву до розплавленого стану. Нижчий температурний поріг при плавленні склобою, у порівнянні з сировиною на основі кварцового піску, дозволяє виробляти при однакових енергетичних затратах більшу кількість склотари, і, таким чином, зменшувати забруднення навколишнього середовища. Виробництво содово - вапнякового скла з первинної сировини вимагає затрат енергії до 2,7 ГДж/тонну порівняно з 1,9 ГДж/тонну при розплавленні 100% склобою. Використання кожної тонни склобою дозволяє відмовитися від використання 1,2 т сировини, в тому числі 850 кг піску, зменшити енерговитрати на 2,5-3,3% на кожні 10% добавки склобою, що завантажуються у скловарну піч. При цьому термін служби скловарної печі збільшується до 30% завдяки зниженню робочих температур. Викиди вуглекислого газу в атмосферу при переробці 1 т скляних відходів у нові вироби зменшує на 315 кг кількість викидів в атмосферу вуглекислого газу, у порівнянні з його утворенням при виробництві скла з шихти на основі кварцового піску.

4. Вироби зі скла, які не йдуть на повторну переробку, подрібнюють, що суттєво зменшує об'єм відходів, які відправляються на захоронення.

5. З екологічної точки зору скло вважається відходом, який найбільш складно утилізується при захороненні. Скло здатне зберігатися на звалищах без особливих руйнувань сотні років. Воно не піддається розкладанню під впливом вологи, атмосфери, сонячної радіації, температурних коливань. Крім того, скло є корозійностійким матеріалом, який не руйнується під впливом переважної більшості кислот, солей, а також грибків і бактерій. Естетична

цінність навколишнього середовища значно покращується завдяки переробці скла. Оскільки скло не розкладається в природних умовах, не зібрана скляна тара суттєво засмічує парки та стоянки.

Скло є безвідходним пакувальним матеріалом. 100% склобою може пройти рециклінг шляхом використання при виготовленні нових пляшок чи банок. Ретельно оброблений, склобій легко вписується в процес виробництва скла, зменшуючи викиди парникових газів і сприяючи циркулярній економіці. Скло може перероблятися нескінченно, оскільки воно не втрачає якості чи чистоти під час процесу рециклінгу. Нескладно досягнути такого рівня утилізації, коли на сміттєзвалища не будуть потрапляти жодні відходи від скляної тари. Серед європейських екологічних ініціатив по утилізації відходів рециклінгова переробка скла є найуспішнішим прикладом. На відміну від паперової маси чи пластику, скло не знижує рівня властивостей після кожного наступного циклу обробки.

100% склобою може пройти рециклінг шляхом використання при виготовленні нових пляшок чи банок. В практиці скловаріння добавка до складу шихти до 30% склобою вважається оптимальною. Ретельно оброблений, склобій легко вписується в процес виробництва скла, зменшуючи викиди парникових газів і сприяючи циркулярній економіці. Скло може перероблятися нескінченно, оскільки воно не втрачає якості чи чистоти під час процесу рециклінгу. Нескладно досягнути такого рівня утилізації, коли на сміттєзвалища не будуть потрапляти жодні відходи від скляної тари. Серед європейських екологічних ініціатив по утилізації відходів рециклінгова переробка скла є найуспішнішим прикладом. На відміну від паперової маси чи пластику, скло не знижує рівня властивостей після кожного наступного циклу обробки. Відновлені скломатеріали абсолютно безпечні для навколишнього середовища і не виділяють шкідливих речовин і неприємних запахів.

Світовий рівень рециклінгової переробки знаходиться на рівні 21% від загального обсягу виробленого скла, причому тарне скло досягає найвищого рівня переробки до 32%. Навпаки, коефіцієнт переробки для листового скла нижчий - близько 11%. Такий стан пов'язаний з тим, що життєвий цикл скла, що використовується в будівельному та автомобільному секторах становить відповідно 75 років та 13 років. В той же час термін служби скляних пляшок, як правило, менше одного року, за винятком частки посуду, яка використовується повторно. Іншою причиною є складність належним чином демонтувати та сортувати вікна чи скло з будівель під час проведення реконструкції або знесення.

Система поводження з відходами скла включає наступні стадії: збір, транспортування, обробку (сортування, магнітну сепарацію, очищення від

домішок, відмивання), дроблення, помел, отримання кінцевої продукції. Тісна співпраця між споживачами, місцевою владою та склопереробними заводами забезпечує високий рівень утилізації скла. За кордоном накопичено значний досвід зі збору у великих містах відходів скляної тари спеціалізованими підприємствами. На першому етапі відбувається оплачуваний збір відходів скла у населення, підприємств і організацій. Для цього організовуються автоматизовані пункти прийому і укладаються договори з підприємствами, на яких використовуються технологічні процеси рециклінгу скляних відходів. На переробних підприємствах скляні відходи проходять первинну мийку і сортування по класам. Від ступеня очищення вихідної сировини залежить якість кінцевої продукції, тому сортування, очищення та сепарація скляного бою вважається важливою технологічною операцією. Очищений скляний бій піддається подрібненню в дробильних агрегатах, додатковій магнітній сепарації і просіюванню з сортуванням по фракціям.

У Німеччині фірми, які зайняті збором склобою, постачають його безпосередньо на скловарні заводи, проводячи попередню обробку з метою очищення від домішок і сортування і подрібнення до необхідного розміру частинок, які є оптимальними для введення до складу шихти скловарних печей. На сьогоднішній день для деяких підприємств склобій є основним сировинним матеріалом при виробництві тарного скла. Наприклад, у Швейцарії компанія Vetropak завантажує у скловарну піч продуктивністю 200 т/добу шихту з 80...85% бою зеленого скла. При цьому досягається економія палива у розмірі 0,25% на 1% добавки переробленого склобою.

Сучасні підприємства для переробки відходів скла використовують наступні види основного обладнання:

- мийки для брудного бою із залишками паперових наклеюк;
- фільтруючі сита;
- електромагнітне і пневматичне сепаруюче обладнання;
- щоківі або валкові дробарки;
- стрічкові конвеєри;
- пакувальні системи.

Однією з проблем переробки скла є відокремлення його від інших складових відходів. Працівники сортувальної ділянки мають відібрати усі предмети та сировину, які непридатні для переробки скла (зазвичай це фольга, паперові та полімерні пакети тощо). Металеві відходи, включаючи пробки та кришки, видаляються на конвеєрах, обладнаних електромагнітними сепараторами. Різні види скла для конкретних застосувань мають різноманітний склад і відрізняються фізико-хімічними властивостями, що створює технічні проблеми при виробництві нових виробів зі змішаного переробленого скла невідомого

походження. Сортивання за кольором є найбільш трудомісткою роботою, оскільки, переважно, виконується вручну на рухомому конвеєрі. Основною складністю при організації вторинного використання склотари є її відділення від інших складових твердих побутових і промислових відходів та проведення сортування за кольором (прозорий, зелений і коричневий), перш ніж його можна буде повторно використовувати для виготовлення нових скляних виробів.

Найбільш якісне розділення скляних відходів за хімічним складом досягається при використанні ліній автоматичного сортування. Наприклад, компанія Mogensen GmbH (Німеччина) випускає автоматизовані оптико - електронні системи для класифікації різних типів забрудненого пустотілого склобою. Скляний бій подається в приймальний бункер, звідки віброживильниками направляється в ковшовий елеватор і потім на гуркіт. Крупніший матеріал відділяється на верхньому ситі, в той час як більш дрібний, розміром менше 8 мм, проходить через сито. Частинки з розміром більше 8 мм направляються на живильник, який утворює рівномірний шар з одиничних шматків скла, і направляє їх до системи сортування MikroSort® AX. Скло сканується у потоці оптичною системою з високою роздільною здатністю для видалення шматків певного кольору. Відходи скла, які розділені за кольором на два окремих потоки, подаються на конвеєрні стрічки, де проводиться відділення феромагнітних металевих частин за допомогою магнітного сепаратора та відокремлення пластикових і паперових складових від подрібненої суміші у пневматичних сепараторах. Залежно від матеріалу та гранулометричного складу швидкість сортування дорівнює 8...10 т/год.

Використання подрібненого скла як заповнювача для портландцементного бетону є найпростішим способом його використання, але така добавка дещо знижує властивості бетону, порівняно з кам'яними наповнювачами. Фракції склобою розміром більше 5 мм використовуються у бетонах як крупний наповнювач, фракції з розміром менше 5 мм - як дрібний наповнювач (пісок), а помолотий до пиловидного стану скляний порошок - як вяжуча речовина. Міцність на стиск, вигин і розтяг бетону зменшуються пропорційно збільшенню кількості скляних відходів у якості заповнювача. Проте різниця у властивостях бетонних виробів при рівні заміни дрібного наповнювача до 20% не перевищує 10%.

Склобій при змішуванні з водою не проявляє в'язучих властивостей. Для початку реакції гідратації скла використовують активизатори у вигляді сполук лужних металів. У лужному середовищі водних розчинів на основі гідроксидів натрію, калію чи кальцію тонкоподрібнений склобій гідратується з утворенням кремнієвих кислот, які при досягненні певних значень кислотності середовища

переходять у гелеподібний стан. В результаті у тонкоподрібненого скла з розміром часток менше 0,1 мм виникають в'язучі властивості і відбувається склеювання твердої фази у монолітний блок з утворенням достатньо міцного будівельного матеріалу – склобетону.

Дроблення сировини переважно виконується на спеціальних автоматичних лініях (рис.143). Підготовлені відходи скла завантажуються в молоткові дробарки, де підвісні молотки при обертанні подрібнюють сировину до необхідного розміру. Подрібнена скломаса надходить в розвантажувальну камеру через каліброване сито. Одночасно з цим у циклонах відбувається осадження скляного пилу. Насипна щільність скляної маси, яку одержують при подрібненні відходів тарного і віконного скла, складає 1600 кг/м^3 .



Рисунок 143 - Подрібнення скла на автоматичній лінії



Рисунок 144 – Подріблена скломаса з тарного скла

З кожним роком зростає число транспортних засобів, які підлягають утилізації. Багатошарове скло - триплекс застосовується при склінні транспортних засобів (автомобілів, залізничного рухомого складу, літаків, суден тощо). Триплекс - це композиція з двох або декількох шарів скла, які склеєні між собою спеціальною полімерною плівкою і здатні при ударі утримувати скляні уламки від розлітання. Триплексне скло при розбитті не розпадається, а кришиться на безліч дрібних уламків, які залишаються прикріпленими до полімерної плівки, що захищає людину від утворення різаних травм (рис. 145). Наявність у складі триплексу полімерної плівки не дозволяє застосовувати стандартні технології для утилізації автомобільного скла. Кожний автомобіль середнього класу містить до 30 кг багатошарового скла. Переробка багатошарового матеріалу, виробленого за технологією триплекс, є трудомісткою і характеризується меншою продуктивністю, порівняно з утилізацією тарного скла.



Рисунок 145 - Подрібнення триплексу при руйнуванні

Технологія утилізації триплексу складається з наступних операцій:

1. На першому етапі відсортоване скло проходить процедуру попереднього дроблення за допомогою багатовалкової дробарки, за рахунок чого порушується жорстка структура скла і воно зминається без відділення осколків від полімерної плівки.

2. Далі проводиться тимчасове складування отриманого склобою, протягом якого відбувається часткове відділення гранул скла від склеюючої плівки, що дозволяє спростити подальшу переробку.

3. Після витримки від подрібненого матеріалу проводиться на гуркоті відсів крупних включень, які в подальшому проходять повторне дроблення у багатовалковій дробарці.

4. Подрібнений матеріал на конвеєрній стрічці проходить ручне сортування з відділенням крупних шматків полімерної плівки та магнітну сепарацію.

5. Дрібні шматки плівки та скляний пил видаляються з потоку сировини через всмоктувальні сопла пневматичних сепараторів.

За останні 20 років у США, Канаді, Німеччині розроблені технології, які передбачають використання подріблених відходів тарного скла при будівництві автомобільних доріг. Наприклад, в США використовують матеріал "гласфальшт", до складу якого входить 60% подрібненого скла, 5% асфальту, 35% кам'яних зерен та інших наповнювачів. Додавання здрібненого скла до складу асфальтових дорожніх покриттів надає їм поліпшеного естетичного вигляду (іскристості) та стає краще помітним у темну пору доби. Склобій від утилізації триплексу не вдається повністю очистити від дрібних залишків плівки, через що його не доцільно використовувати в подальшій переробці шляхом скловаріння. Такі відходи доцільно використовувати для використання у якості добавки до складу дорожніх та теплоізоляційних матеріалів.

Важливим напрямком використання склобою є виробництво пористих матеріалів, які можуть ефективно застосовуватися у будівельній галузі. Піноскло - це неорганічний негорючий теплоізоляційний матеріал з комірчастою (пористою) структурою. Діаметр рівномірно розподілених у скляній основі пор складає 0,1... 0,5 мм. Газова фаза в об'ємі піноскла займає 80...95 %, а скляна маса 5...20%. Структура піноскла являє собою оптимальну просторово - об'ємну конфігурацію, здатну при мінімальній щільності витримувати значні механічні навантаження. Піноскло характеризується низькими показниками об'ємної маси, теплопровідності і водопоглинання, високими показниками механічної міцності, вогнестійкості, морозостійкості, шумопоглинання і стійкістю до хімічно агресивних середовищ. Оскільки в структурі піноскла пори мають замкнутий характер, це виключає попадання вологи всередину матеріалу та дозволяє виробам з цього матеріалу переносити значні коливання температури без руйнування.

Піноскло отримують шляхом поєднання спікання скляного порошку при температурах 700...800°C з одночасним спіненням під дією пороутворювачів. Сировиною для виробництва піноскла служить шихта з тонкоподрібненого скляного бою з пороутворювачами, які при нагріванні виділяють газ. Завдяки процесам газоутворення та спінювання скла об'єм скломаси збільшується до 15 разів. Для отримання піноскла із замкнутими порами застосовують вуглецьвмісні пороутворювачі (сажа, подрібнені до порошкоподібного стану

кам'яне вугілля та кокс), а для піноскла зі сполученими порами використовують карбонатні пороутворювачі - мармур, доломіт тощо. Оскільки процес спінювання відбувається за рахунок виділення пороутворювачами газів при підвищених температурах, тиск газового середовища у порах охолодженого матеріалу є на порядок нижчим атмосферного тиску.

Технологічні операції виробництва піноскла включають приготування шихтової суміші, розігрів і спінювання скломаси, відпалу і механообробки виробів. Складний бій у суміші з пороутворювачем розмелюють у кульових млинах у тонкий порошок та завантажують у форми з жаротривкої сталі з каоліновою обмазкою. Форми на вагонетках по роликовому конвеєру подають у тунельну піч. При нагріванні у печі відбувається розм'якшення часток скляного порошку і їх спікання. Гази, що виділяються при розкладанні пороутворювача, спінують в'язку скломасу. В результаті об'єм матеріалу збільшується, повністю заповнюючи форму. Повільне охолодження сприяє рівномірному зниженню температури по всьому об'єму виробів, що попереджує виникнення внутрішніх напружень та утворення тріщин.

Вироби з піноскла можуть мати форму блоків, плит, фасонних деталей, гранул (будівельний пісок або гравій) і безформних шматків (будівельний щебінь). Для надання виробам необхідної форми та розмірів блоки з піноскла можуть розпилюватися, розрізатися, сверлитися тощо.

Блоки з піноскла мають коефіцієнт температурної деформації, близький до цегли та бетону, за рахунок чого його можна застосовувати для облицювання будівельних конструкцій з бетону і цегли. Блоки з піноскла виробляють з наступними розмірами: довжина - від 200 до 475 мм; ширина - від 125 мм до 400 мм; товщина - 60, 80, 100 і 120 мм. Блоки з піноскла застосовують для термоізоляції поверхонь при температурах від -200°C до $+400^{\circ}\text{C}$ при відносній вологості до 96 %. Враховуючи високу вогнетривкість, піноскло використовують для ізоляції ізотермічних резервуарів, призначених для зберігання зріджених природних газів (бутану, пропану, метану). За рахунок низького коефіцієнта водопоглинання даний утеплювач також використовується для гідроізоляції цокольної частини будівель і підвалів. Гранульоване піноскло застосовують в якості теплоізолюючого наповнювача у бетонних виробках та в якості засипки у порожнини стін.

Подібно до звичайного скла піноскло є екологічно безпечним матеріалом. Його застосування дозволяє відмовитися від використання поширених матеріалів на основі фенольних в'язучих речовин, або екологічно шкідливого і пожежонебезпечного пінопласту. Піноскло не піддається руйнуванню гризунами та не може бути укриттям для комах, тому його доцільно

застосовувати при будівництві складів, сховищ харчових продуктів, котеджів, ізоляції холодильних камер тощо.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 146 - Вироби з піноскла: а - облицьовувальні блоки; б - гранульоване піноскло; в - фасонні вироби з піноскла; г - облицьовування стін блоками з піноскла.

До недоліків піноскла відноситься:

1. Для виготовлення спіненого скла необхідно застосовувати високотехнологічне обладнання, робота якого вимагає значних енерговитрат, що призводить до порівняно високої собівартості матеріалу.

2. Піноскло, незважаючи на високу міцність, є крихким матеріалом, що призводить до втрат виробів від ударів при монтажі. Низька ударна міцність приводить до пошкодження матеріалу під час перевезення, розвантаження та встановлення.

3. Більша вага у порівнянні з полімерними видами теплоізоляційних матеріалів (наприклад, пінопласт).

Скляний бій також може використовуватися у якості сировини при виробництві скловати. Скловата, яка виготовлена з шихти з вмістом до 80% склобою, є значно дешевшою від традиційної продукції з піску, соди і вапняку. Склад шихти, яку завантажують у плавильну піч, при досягненні температури 1400 °С забезпечує оптимальні властивості розплавленої скломаси для отримання тонких волокон. При роздуванні розплавленої скляної маси струменем водяної пари з дрібних отворів центрифуги виходять скляні волокна. Утворені волокна обробляються полімерними аерозолями на основі фенольних та альдегідних полімерів. При температурі 250 °С проходить етап полімеризації, за рахунок якої волокна скловати стають твердими й набувають бурштиново-жовтого відтінку. Попутно в температурній камері випаровується залишок води, яку містив аерозоль. Шар просочених аерозолем волокон проходить на конвеєрі операцію вирівнювання вальцями з формуванням однорідного склополімерного шару. Пресування готової продукції дозволяє суттєво економити простір при транспортуванні й зберіганні скловати. За європейськими нормами передбачається шестикратне стиснення. Пружних властивостей скловати достатньо для повного відновлення початкових розмірів після розпакування. Здатність до стискання і еластичність дозволяють використовувати скловату для якісної ізоляції нерівних поверхонь та конструкцій складної геометрії. Заключним етапом виробництва скловати є її розкроювання фрезами й поперечними пилками на мати та рулони.

До переваг скловати відносяться: високі тепло- і шумоізоляційні властивості; мала щільність; пожежна безпека; стійкість до біологічних впливів (шкідників, бактерій); простота транспортування; низька вартість. Скловата є одним найдешевших і доступних видів утеплювачів з теплопровідністю в межах 0,030...0,052 Вт/м·К та високими звукоізоляційними властивостями. За показником термічного опору шар скловати товщиною 50 мм є еквівалентом стіни з керамічної цегли товщиною 1 м.



Рисунок 147 - Зовнішній вигляд матів із скловати

До недоліків скловати відносяться гігроскопічність, що викликає потреба в додатковій пароізоляції; скловата в процесі монтажу створює загрозу потрапляння подрібнених скляних волокон на шкіру і в органи дихання; поява усадки (злежування) після 8 - 10 років експлуатації.

Із бою вапняно-натрієвого скла виготовляють баллотіні - світловідбиваючі сферичні прозорі кульки розміром 50-350 мкм, які використовують у якості добавки для дорожньої розмітки та відбиваючих фарб для дорожніх знаків для безпеки водіння у темну пору доби. Скляні кульки можуть виконувати роль абразивного матеріалу для обробки нержавіючої сталі, кольорових металів та сплавів, пластиків та керамічних виробів, для видалення бруду та іржі з поверхні кораблів.

Питання для самоконтролю

1. Охарактеризуйте основні способи утилізації склобою.
2. Опишіть технологію переробки склобою у якості сировини для виробництва нових скловиробів.
3. В чому полягають переваги використання склобою у якості сировини для виробництва нових скловиробів?
4. Яке обладнання використовують для підготовки склобою до переплавлення?
5. В чому полягають особливості утилізації триплексу?
6. Опишіть технологію виробництва піноскла.
7. У яких випадках доцільно використовувати вироби з піноскла?
8. Опишіть технологію виробництва скловати зі склобою.

12. Рециклінг металобрухту

Незважаючи на стрімке розширення використання полімерних матеріалів, кераміки та композиційних матеріалів найважливішими стратегічними конструкційними матеріалами продовжують залишатися метали. Вони є основою більшості знарядь праці - машин, інструментів, приладів тощо. На відміну від інших відновлених матеріалів, метали можна багаторазово переробляти без погіршення їх властивостей. Серед усієї множини видів відходів металобрухт є сировиною, яка повністю відновлюється в процесі металургійної переробки. Метали ефективно піддавалися рециклінговій переробці протягом усієї історії людства - з бронзових статуй та церковних дзвонів відливали гармати (і навпаки). Підраховано, що близько 80% коли-небудь виплавленої міді продовжує використовуватися до цього часу. Можливість вторинної переробки металів дає змогу майбутнім поколінням використовувати ті самі метали, які вже використовувалися, таким чином скорочуючи видобування рудної сировини та її трудомісткої переробки.

Переробка металобрухту, яка практикується споконвіку, втілює дух сталого розвитку та циркулярної економіки. Переробка металобрухту замикає цикл у виробничому процесі, таким чином зменшуючи кількість відходів, які потрапляють на звалище, і кількість необхідної первинної сировини. Рециклінгова переробка розширює ефективне використання металів і мінералів, зменшує навантаження на звалища та сміттєспалювальні заводи, що призводить до значної економії енергії порівняно з первинним виробництвом.

В процесі експлуатації металеві вироби зношуються, приходять в непридатність, не можуть в подальшому використовуватися за прямим призначенням і здаються на рециклінгової переробки для використання у якості вторинної металургійної сировини. Металобрухт є важливою стратегічною та енергозберігаючою сировиною для металургійного виробництва.

Мідь, алюміній і сталь складають три метали, які найчастіше переробляються у світі. Термін служби сталевих виробів в залежності від призначення складає від кількох тижнів для сталевих упаковок до 100 років для будівель та інфраструктурних елементів. Середній термін служби сталевих виробів становить 40 років.

Переробка металобрухту - це процес отримання металу, який є побічним продуктом різних галузей промисловості та продуктів у кінці терміну служби виробів. До них відносяться відходи виробництва, а також старі автомобілі та техніка. Зібраний металобрухт знову розплавляють, щоб отримати сировину

для широкого спектру процесів і застосувань. Це стає дедалі важливішим сьогодні, коли термін служби продуктів стає все коротшим.

Виробництво сталі може проводитися за двома основними технологіями: з залізної руди та з зібраного металобрухту. Приблизно 70% загального обсягу металу для виробництва сталі в усьому світі отримують із залізної руди, а решту виробляють з металобрухту. Виробництво сталі з металобрухту значно дешевше і наносить меншу шкоду навколишньому середовищу, ніж видобуток і переробка залізної руди. Кожна тонна брухту, що використовується для виробництва сталі, дозволяє уникнути викидів CO₂. Вторинна переробка металобрухту чорних металів забезпечує до 75% економії електроенергії та до 90% економії сировини, яка використовується для виробництва нового металу та зменшення гірничо-промислових відходів; до 80 % знижується забруднення повітря і води. Рециклінг 1 т підготовленого брухту чорних металів дозволяє економити понад 1,8 т залізної руди, агломерату та обкотишів, 0,5 т коксу, 45 кг флюсів і близько 100 м³ природного газу. У результаті використання металевого брухту вартість виробництва сталі знижується до 20 разів у порівнянні зі сталлю, отриманою з залізної руди.

Процес перетворення руди на первинний металевий матеріал потребує значно більших витрат енергії, ніж переробка брухту. Так, використання переробленого алюмінію економить до 95% енергії, необхідної для використання первинних матеріалів. Для міді ця кількість становить 85%, а для сталі – 74% економії енергії. Виробництво алюмінію базується на металобрухті приблизно на 57%, а виробництво міді – приблизно на 41%. Переробка однієї тонни алюмінію заощаджує вісім тонн бокситової руди, 14 мегават-годин електроенергії, 6300 літрів нафти та 7,6 кубометрів місткості сміттєзвалища.

Сталевий металобрухт використовується переважно як складова частина шихти для сталеплавильного виробництва та ливарних цехів. У 2016 році приблизно 45% сировини для виробництва сталі на німецьких сталеливарних заводах складав металобрухт.

12.1. Законодавство України у сфері поводження з металобрухтом

З метою захисту інтересів підприємств вітчизняної металургійної галузі та забезпечення екологічної безпеки довкілля при утворенні, збиранні та використанні металобрухту, відносини, що виникають у процесі здійснення операцій з металобрухтом, регулюються Законом України «Про металобрухт» від 05.05.1999 № 619-XIV. Закон регулює відносини, що виникають у зв'язку з операціями з металобрухтом та спрямований на захист

інтересів національних підприємств металургійної промисловості, а також на захист навколишнього середовища та забезпечення екологічної безпеки рециклінгу металобрухту. Відповідно до цього закону застосовується наступна термінологія:

металобрухт - непридатні для прямого використання виробу або частини виробів, які за рішенням власника втратили експлуатаційну цінність внаслідок фізичного або морального зносу і містять у собі чорні або кольорові метали чи їх сплави, а також вироби з металу, що мають непоправний брак, залишки від виробництва та обробки чорних і кольорових металів і їх сплавів;

збирання металобрухту - діяльність фізичних або юридичних осіб, пов'язана з переміщенням металобрухту від місця його утворення або знаходження до території розташування спеціалізованих або спеціалізованих металургійних переробних підприємств та їх приймальних пунктів;

заготівля металобрухту - діяльність, пов'язана із збиранням, купівлею, зберіганням та реалізацією металобрухту юридичними або фізичними особами - суб'єктами підприємницької діяльності, які здійснюють операції з металобрухтом;

переробка металобрухту - діяльність, пов'язана із доведенням металобрухту шляхом сортування або, в разі потреби, пресування, пакетування, дрібнення, різання до стану, який відповідає встановленим стандартам, нормам і правилам; вилучення металевої складової із шлаків металургійної переробки чорних та кольорових металів і їх сплавів.

Господарська діяльність фізичних або юридичних осіб, пов'язана з нагромадженням, переміщенням металобрухту від місця його утворення або перебування до місця тимчасового зберігання чи заготівлі в Україні контролюється законодавством. Ліцензії на здійснення операцій з металобрухтом видаються лише підприємствам - юридичним особам, які мають спеціальне технологічне брухтопереробне та вантажопідйомне обладнання, вагове господарство, складські приміщення, кваліфікований персонал, забезпечують згідно з законодавством протипожежну, екологічну та радіаційну безпеку і контроль якісного складу металобрухту. Обов'язковою умовою для отримання ліцензії на здійснення операцій з металобрухтом є наявність облаштованої земельної ділянки для здійснення операцій з брухтом кольорових металів та їх сплавів площею не менш як 500 кв. м, з брухтом чорних металів та їх сплавів - не менш як 1000 кв. м, яка повинна мати бетонне або тверде покриття. Забороняється здійснювати заготівлю, переробку, реалізацію, утилізацію та металургійну переробку металобрухту в інших місцях. Ділянка повинна мати бетонне або тверде покриття, яке унеможливило б проникнення в ґрунт шкідливих речовин. Суб'єкти

підприємницької діяльності, які здійснюють операції з металобрухтом, повинні забезпечити контроль за вибуховою, пожежною, екологічною та радіаційною безпекою відповідно до вимог законодавства.

Ліцензії на металургійну переробку металобрухту кольорових і чорних металів видаються лише спеціалізованим металургійним переробним підприємствам.

В експорті металобрухту на сьогоднішній день лідирують Росія, США, Німеччина, Японія, Великобританія, Україна. Основним споживачем брухту і відходів чорних металів є сталеплавильне виробництво, на долю продукції якого припадає більше 78% загального споживання чорних металів. Серед найбільших імпортерів вторинних чорних металів - Туреччина, Китай, Південна Корея. Практично кожна тонна брухту чорних металів, перероблених у сталь, замінює 1 т чавуну, виробництво якого пов'язане зі значним екологічним навантаженням на оточуюче середовище. Розвинуті зарубіжні країни вже тривалий час виробляють сталь на мініметалургійних заводах з використанням в якості сировини переважно металевого брухту.

12.2.Класифікація металобрухту

У загальному вигляді металобрухт – це різні вироби, устаткування, машини, будівлі і споруди або їх металеві частини, непридатні для подальшої експлуатації. Металобрухт може бути промисловим, військовим, судновим, побутовим і безгоспним.

Промисловий металобрухт складається зі скрапу (зашлакованих відходів чорних металів), та відходів, що утворюються при металообробці. Основна маса металевих відходів у машинобудуванні утворюється в чавуноливарних, сталеплавильних, ковальсько-пресових, механічних, інструментальних та термічних цехах у вигляді залишків дрібних відходів виробництва (шайби, гайки, болти), кускових відходів труб і рейок, стружки, сталевих дротів і канатів, залишків відпрацьованого інструменту, бракованих виробів тощо.

Військовий металобрухт включає предмети військової техніки, військово-технічного майна і утилізовані боєприпаси. Судновий металобрухт складається з утилізованих елементів плавучих засобів і їх устаткування. Побутовий металобрухт це переважно предмети і деталі побутової техніки, які втратили свої споживчі властивості.

Металобрухт чорних металів згідно ДСТУ 4121 – 2002 «Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови» поділяють на:

- шихтовий, який є придатним для використання у якості сировини для виплавлення чавуну і сталі;
- для перероблення, який перед використанням у якості шихтового матеріалу потребує додаткової обробки (сортування, подрібнювання, пакетування тощо). У своєму складі він містить сталевий вуглецевий та легований металобрухт, а також металобрухт вуглецевих та легованих чавунів.

За характеристиками і показниками якості металобрухт чорних металів поділяють на види і підвиди. Кожний окремий вид металобрухту характеризується за способом його утворення, фізичними властивостями, розмірами та масою окремих кусків, ступенем засміченості, хімічним складом (низьковуглецева, високовуглецева сталь тощо). Так, у шихтовому металобрухті засміченість нешкідливими домішками за масою повинна перевищувати 2,0%, розмір кусків не більше 1200x500x500 мм, товщина металу не менше 6,0 мм.

Відповідно до ДСТУ 3211:2009 "Брухт і відходи кольорових металів і сплавів" брухт і відходи класифікують за назвою відповідних металів і сплавів. За характеристиками та показниками якості вони поділяються за видами. Вид брухту й відходів характеризують за характером його утворення, фізичним станом (кускові відходи, стружка тощо), габаритними розмірами, розміром і масою окремих кусків, за хімічним складом, засміченістю.

2. Сортування сталевих брухту проводиться за типом і формою. Склад сплавів у брухті може містити в різних кількостях, такі хімічні елементи як вуглець, хром, марганець і нікель.

Металобрухт, що надходить на металургійні підприємства для переробки або використання у якості складових металевої шихти, згідно з чинними нормативними документами повинен обов'язково проходити радіаційний контроль. Потужність дози іонізованого випромінювання та щільність потоку β – частинок на поверхні металобрухту повинні відповідати чинним нормативним документам.

Підприємства і організації, що заготовляють, здають, переробляють та переплавляють металобрухт, а також відвантажують або здійснюють його перевантаження в портах та інших пунктах, повинні перевіряти металобрухт щодо вибухобезпечності. В умовах воєнного стану окремі складові з масиву металобрухту можуть містити вибухові речовини. Вибухові речовини можуть спрацювати під дією тепла, тертя (тертя), удару (наприклад, через падіння предмета, що містить вибухівку) або статичної електрики. Посудини усіх типів і розмірів (балони, бочки, амортизатори тощо), а також усі порожнисті предмети (циліндри двигунів тощо) повинні бути спорожнені від тих речовин, що у них містилися, від крижаних пробок та вологи і мати доступ для огляду

внутрішньої поверхні. Горловини балонів повинні бути відкритими, а на їхньому корпусі повинен бути прорізаний другий отвір; днища бочок та інших посудин повинні бути розкриті. Металобрухт, що надходить з хімічних виробництв, повинен бути очищений від хімічних речовин.

Класифікація є критичним моментом у всьому цьому процесі, оскільки багато предметів сталевих брухту, як правило, містять цінні легуючі хімічні елементи.

Високотехнологічні компанії застосовують рентгенівські технології та інфрачервоне сканування для сортування металевих сплавів. Використання рентгенівської флуоресценції дозволяє точно ідентифікувати численні марки сплавів і швидко аналізувати їхній хімічний склад при сортуванні металобрухту, забезпечуючи гарантовану якість продукту. Портативні рентгено – флуорисцентні аналізатори забезпечують точну ідентифікацію матеріалу шляхом визначення хімічного складу металевих відходів за кілька секунд. Рентгенофлуоресцентний аналіз базується на використанні високоенергетичного рентгенівського випромінювання. Терміном «рентгенівська флуоресценція» позначають генерацію вторинного рентгенівського випромінювання, яке виникає у результаті взаємодії потоку рентгенівського випромінювання з матеріалом зразка, що досліджується. Під дією опромінення зразка інтенсивним потоком рентгенівського випромінювання у ньому виникає вторинне флуоресцентне випромінювання, довжина хвилі якого характеризує хімічний склад речовини.

Під дією рентгенівського випромінювання атоми матеріалу, що аналізується, переходять в збуджений стан – їх електрони переходять на більш віддалені орбіталі. У першу чергу відбувається виліт і втрачання електронів із К-оболонки. На цьому рівні утворюються вакантні місця, які полишили електрони. Після завершення дії рентгенівського випромінювання атом на короткий час залишається у збудженому стані, після чого електрони повертаються на нижчі орбіталі (рис.148). Такий перехід електрона супроводжується утворенням фотона і у спектрі це виглядає як лінія.

Довжина хвиль флуоресцентного випромінювання є індивідуальною характеристикою кожного хімічного елемента. При цьому атоми кожного хімічного елемента випромінюють фотони з певною енергією, яка фактично не залежить від виду хімічного з'єднання в якому вони знаходяться. Наприклад, залізо при опроміненні рентгенівськими променями випромінює фотони $K\alpha$ з енергією 6,4 кеВ. За визначеною довжиною хвилі вторинного рентгенівського випромінювання, можна ідентифікувати даний хімічний елемент. Глибина проникнення рентгенівського випромінювання у металеві зразки складає до 40-50 мкм. Інтенсивність (кількість фотонів, що виділяється за одиницю часу)

є пропорційною концентрації відповідного елемента у матеріалі, що досліджується. Такі залежності дають можливість визначення кількості атомів кожного хімічного елемента, що входить до складу зразка.

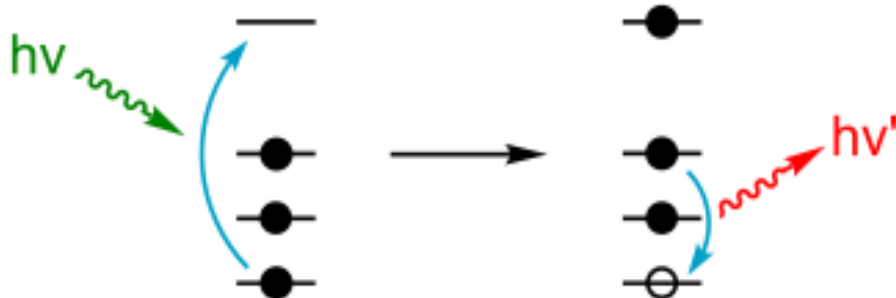


Рисунок 148 - Схематичне зображення процесу виникнення рентгенівської флуоресценції

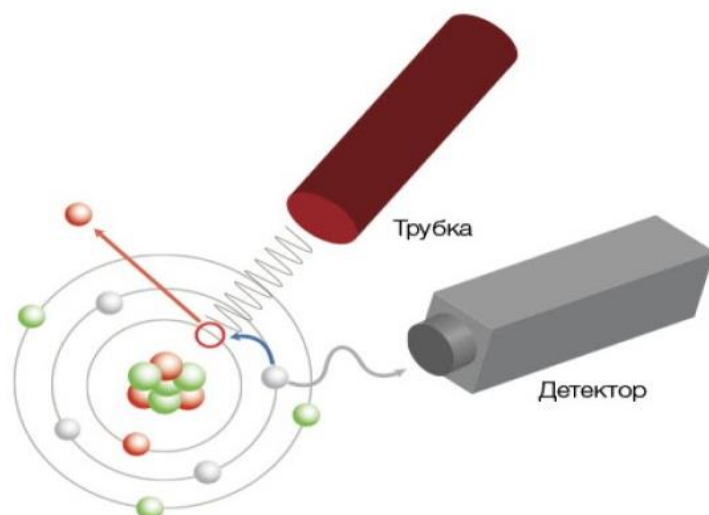


Рисунок 149 - Дія рентгенівського випромінювання на атом зразка матеріалу, що досліджується, при проведенні рентгенофлуоресцентного аналізу

У якості джерела випромінювання при рентгенофлуоресцентному аналізі використовують рентгенівські трубки, які є електронним пристроєм, що складається з двох електродів: катода і водоохолоджуємого анода (мішені), які під'єднуються до полюсів джерела струму з напругою до 60 кВ. Анод і катод розміщуються у скляній вакуумованій трубці (рис.150). Під дією прикладеної напруги розжарений катод випускає електрони, які вражають металеву мішень у рентгенівській трубці. Ці електрони в електростатичному полі рухаються з високою швидкістю і різко гальмуються під час ударної взаємодії з матеріалом анода. При гальмуванні частина кінетичної енергії електронів вивільняється у вигляді рентгенівського. Система рентгенівської трубки екранована для захисту користувача від шкідливої дії рентгенівського випромінювання. Випромінювання з внутрішнього простору рентгенівської трубки виходить через віконце в екрані та спрямовуються на зразок. Рентгенівський

флуоресцентний спектрометр проводить виділення у спектрі піків, ідентифікує їх і проводить вимірювання вмісту хімічного елемента. Відбите випромінювання фокусується у приймальну щілину блоку детектування, де детектор реєструє інтенсивність випромінювання як функцію довжини хвилі і перетворює енергію флуоресцентного випромінювання в електричні імпульси.

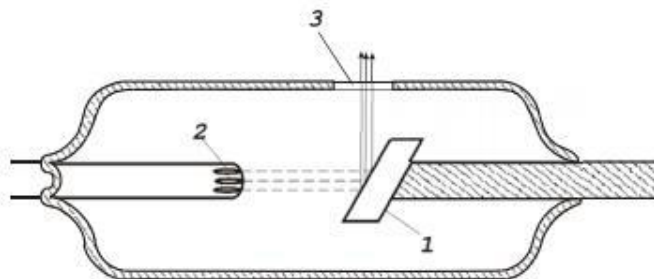


Рисунок 150 - Схема рентгенівської трубки: 1-анод; 2-катод; 3 – віконце для виходу рентгенівського випромінювання

Сигнали від детектора поступають на вхід блоку прийому та обробки сигналу рентгенівського спектрометра. Перехід від виміряної інтенсивності аналітичної лінії до вмісту хімічного елемента, що визначається, є завершальним етапом процесу рентгенофлуоресцентного аналізу. Для отримання значень кількісного вмісту хімічного елемента у матеріалі, що досліджується, проводиться обробка отриманого спектру за допомогою спеціальної комп'ютерної програми, яка вбудована в систему аналізатора. Ця програма проводить необхідні розрахунки та виводить результати обчислень на дисплей. Точність результатів кількісного аналізу забезпечується шляхом порівняння результатів, отриманих для невідомого зразка, з результатами для близького за складом до досліджуваного відомого стандартного зразка.

Портативні рентгенофлуоресцентні аналізатори дозволяють впродовж 2–5 секунд виявити якісний склад зразка (рис.151-152). Такі прилади надійні, прості в експлуатації, зручні та простоті у використанні, компактні та мають вагу менше 1,5 кг.



Рисунок 151 - Проведення хімічного аналізу матеріалу портативним рентгенофлуоресцентним спектрометром



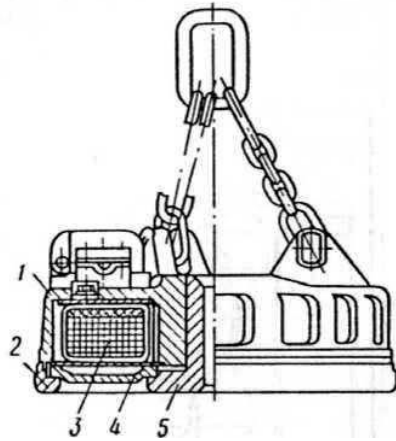
Рисунок 152 - Виведення результатів спектрального аналізу на монітор портативного рентгенфлуоресцентного аналізатора

12.3.Способи переробки металобрухту

Магнітні властивості сталі дозволяють легко відокремлювати феромагнітного брухту від змішаних потоків відходів. Для підйому та перевантаження шматків металобрухту з феромагнітних металів застосовують вантажопідйомні електромагнітні шайби, які працюють у періодичному режимі. Електромагнітна шайба складається зі сталюого сердечника та обмотки з мідного дроту (рис. 153). Конструкція електромагнітних шайб має високу міцність, яка дозволяє їм працювати у важких умовах і витримувати удари при падінні на вантаж. Корпус електромагніту забезпечує надійну герметичність обмотки і запобігає потраплянню вологи. Знизу котушка захищена немагнітної пластиною. Електромагнітну шайбу за допомогою підйомного крана опускають на металобрухт. При подачі електричного струму електромагнітна шайба утворює сильне магнітне поле, яке здатне утримувати матеріали з феромагнітними властивостями та переміщувати їх на потрібне місце. Електричний струм до котушки електромагніта підводиться гнучким кабелем, який автоматично намотується на кабельний барабан при підйомі і змотується з нього під час спуску. При відключенні подачі електричного струму на обмотку електромагніта вантаж звільняється.



а)



б)

Рисунок 153 - Електромагнітна шайба моделі М22 (потужність електромагніту - 4,4 кВт, вантажопідйомність - 8000 кг): а) використання для перевантаження металевих брухтів; б) конструкція: 1 - корпус; 2 - зовнішній полюс, 3 - котушка, 4 - немагнітна шайба; 5 - внутрішній полюс

Одним із шляхів підвищення цінності брухту є його спеціальна підготовка. Переробка металобрухту проводиться для перетворення його, відповідно до вимог стандартів, в шматки певних розмірів і форми, з відділенням неметалевих домішок. До стану придатності для переплавки металобрухт приводиться подрібненням великих металевих предметів на більш дрібні частини або окускування (укрупнення) тонкостінного та легковагового брухту.

Основними способами переробки металобрухту є: 1) сортування; 2) вогнева різка; 3) різка ножицями; 4) пакетування; 5) дроблення; 6) брикетування; 7) переплав в шихтові злитки; 8) подрібнення на копрах, пресах або вибухом.

Вогневе різання металобрухту є одним з найпростіших і поширених способів його переробки. Вона полягає в поділі металобрухту на шматки певних розмірів за допомогою киснево - газових і киснево - газових пальників (рис.129). Найбільшого поширення вогневе різання отримало для розділення сталюого брухту з товщиною до 500 мм. Вогневе різання широко застосовують для розділення великогабаритного брухту: автомобілів, суден, вагонів, контейнерів, балок, рейок тощо. Процес вогневого різання складається з трьох стадій: підігріву металу високотемпературним полум'ям до температури загорання, окислення (згорання) металу в кисневому струмені і видування кисневим струменем рідких продуктів із зони різання. Для розігріву металу газове чи газове полум'я направляють на поверхню металу, а після розігріву його поверхні до температури вище 1150°C через мундштук пальника подають лише кисень, в результаті чого метал починає інтенсивно окислюватися та саморозігріватися. Метал в зоні різання розігрівується до

температури займання в атмосфері кисню, продукти хімічної реакції окислення розплавляються та видувуються газовим потоком. При великих товщинах металу витрати кисню становиться значно зростають, так як він необхідний не тільки для окислення металу, але і для видування продуктів горіння і розплавленого металу по перетину шматка металобрухту.



Рисунок 154 - Різання металу киснево-газовим пальником

Кисневе різання набуло популярності як точний і економічно ефективний метод різання низьковуглецевої сталі. Різання сталі забезпечується створюється екзотермічною хімічною реакцією між чистим киснем і сталлю з утворенням оксиду заліза. Кисневим різанням можна різати лише метали, оксиди яких мають нижчу температуру плавлення, ніж у основного металу. Тільки м'яка сталь і деякі низьколеговані сплави відповідають вищезазначеним умовам. Вогневе різання є неприйнятним для розділення брухту з високолегованих сталей, оскільки присутні в їх складі легуючі елементи в результаті окислення утворюють тугоплавкі оксиди, які не піддаються плавленню при досягаємих температурах.

Різання кольорового металобрухту вогневими методами супроводжується значними втратами металу, має низьку продуктивність і відноситься до робіт підвищеної небезпеки. Вона застосовується і основному для розділення великогабаритних відходів (літаковий брухт, гребні гвинти тощо) при таких обсягах переробки, коли застосування інших методів економічно недоцільно.

Значно прискорити процеси розділення металевого брухту дозволяє застосування механічних способів різання. Оброблення металобрухту механічними ножицями є найбільш продуктивним і дешевим способом його переробки. Використання ножиць для розділення брухту з сортового прокату і

труб підвищує продуктивність праці одного робітника з 6 до 20 тонн за зміну. Для різання сталевих брухту, листових і довгомірних конструкцій з метою зменшення його габаритів переважно застосовують алігаторні і гідравлічні ножиці.

Гідравлічні алігаторні ножиці мають поширення в різних галузях промисловості, включаючи обробку металобрухту та виробництво (рис.155). Ці машини названі по наявності шарнірної щелепи, що приводиться в рух гідравлічним циліндром і нагадує пащу алігатора, яка при стисканні розрізає метал. Алігаторні ножиці включають: привід, рухому і нерухому щелепи, на яких кріпляться ножі, кривошипно – шатунний механізм, притискний пристрій, запобіжний пристрій. Кривошипно - шатунний механізм перетворює обертальний рух колінчатого вала в рух, що стискає рухомі щелепи (рис.130). На машинобудівних та металургійних заводах, а також на майданчиках заготівлі металобрухту використовуються алігаторні ножиці з зусиллям різання від 3,15 до 10 МН. Розкриття леза ножиць становить до 800 мм. Різка металобрухту на алігаторних ножицях проводиться поштучно, а тому їх застосування є малопроодуктивним.

Ефективним способом є переробка металевих брухту на прес-ножицях з попереднім підпресуванням у приймальній камері. Прес - ножиці являють собою пресовий агрегат, що складається з станини, приводу, завантажувального і подаючого пристроїв, механізмів притиску і різу. Гідравлічні прес-ножиці можуть працювати як в режимі пресування, так і в режимі різання.

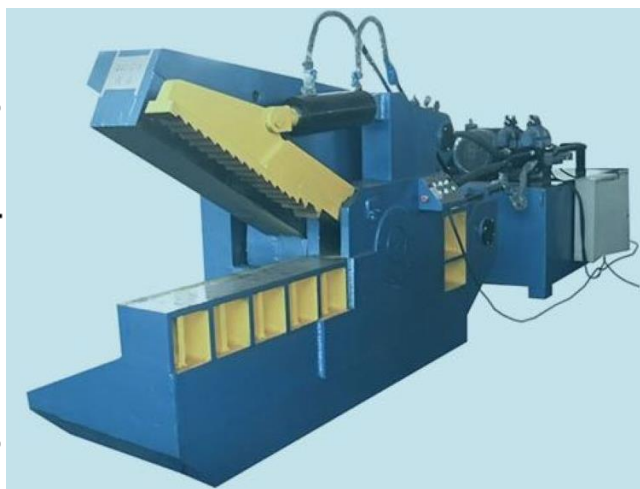
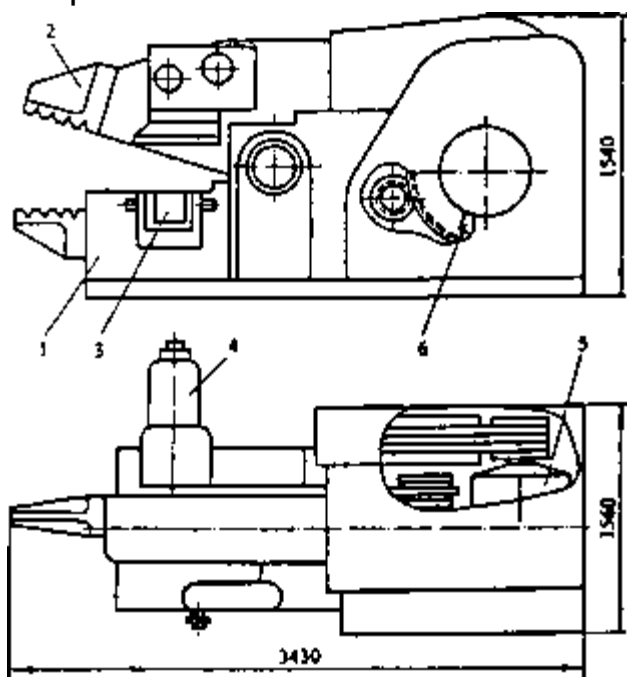


Рисунок 155 - Алігаторні (важільні) ножиці : 1 - станина, 2 - щелепа, 3 - ролик, 4 - опора, 5 - привід; 6 - запобіжний пристрій

Процес пресування у пакети дрібного та тонколистового металобрухту здійснюється в гідравлічних і електромеханічних пакетувальних пресах (рис.156). Пресування на такому обладнанні послідовно здійснюється в трьох площинах. Так, металобрухт завантажується у прес-камеру преса, де відбувається пресування у вертикальному напрямку. При цьому формується висота пакета. Потім проводиться поперечне пресування, в результаті якого формується ширина пакета. На заключній стадії механізм поздовжнього пресування формує довжину пакета. Після закінчення процесу пакет виштовхується через вікно видачі пакетів з камери пресування.

Пакетування металобрухту широко використовують для ущільнення легковагового тонколистового брухту, обрізків листів, дроту, тросів та перетворення його в пакети. Пакетований металобрухт характеризується зниженими втратами металу на вигорання у процесі послідовного металургійного переплавлення. Пресування у пакети дозволяє значно зменшити габарити переданих в металобрухт великогабаритних конструкцій з металу - кузовів автомобілів, металевих частини великої побутової техніки тощо. Прес дозволяє надати лому не тільки мінімальний обсяг, але і найбільш оптимальну форму для складування і подальшого транспортування (рис.157). Також, пакетований металобрухт при зберіганні під відкритим небом в меншій мірі піддається корозії. Пакетований металобрухт значно простіше транспортувати, особливо коли мова йде про великі партії сировини. Це відкриває можливості для зниження транспортних витрат і підвищує рентабельність бізнесу.



Рисунок 156 - Гідравлічний пакетувальний прес



а)



б)

Рисунок 157 - Пакети листового металобрухту (а) і брикети з пресованої стружки (б)

Додатковим чинником, що підвищує ефективність виробничого процесу в металургії, є брикетування металевої стружки. В процесі обробки металів різанням утворюється значна кількість стружки, яка часто покрита мастильно-охолоджуючою рідиною і має залишкову вологість до 15%. Зібрана стружка спресовується під високим тиском у циліндричні брикети і у такому вигляді зберігається, транспортується і завантажується у металургійні печі. Брикетуванню піддається суха і неокиснена стружка одного виду, що не містить сторонніх домішок.

В процесі роботи віброживильник преса для брикетування рівномірно подає подрібнену стружку з бункера в контейнер брикетувального преса, де порції стружки попередньо ущільнюються (рис.158). Після наповнення контейнера гідравлічний прес тисне на прес-штемпель, який ущільнює стружку у брикет з зусиллям $1000-2300 \text{ кг/см}^2$. Утворений брикет по лотку видаляється за межі преса і цикл повторюється. Брикетування зменшує об'єм, який займає стружка, у 10-15 разів. Брикети отримані в ході переробки сталєвої стружки на пресі для брикетування мають високу щільність (не менше 4500 кг/м^3), що сприяє зменшенню втрат металу при металургійному переплавленні. В брикетах з металевої стружки міститься значно менша кількість залишків мастильно-охолоджуючих рідин і масла, у порівнянні з вихідною сировиною. Після проведення брикетування вміст вологи в металевій стружці зменшується до 2%.



Рисунок 158 - Прес для брикетування стружки

Для переробки великогабаритного масивного сталевого або чавунного лому з товщиною стінки до 200-600 мм застосовується копрове дроблення. Зазвичай за допомогою копра розбивають чавунні блоки циліндрів, виливниці, валки прокатних станів тощо. Пристрій для розбивання брухту за рахунок енергії важкого падаючого елемента називається копром (рис.159). При цьому дроблення металевго брухту відбувається під дією падаючої деталі спеціальної форми - сталевий копровий баби. Оптимальною є копова баба грушеподібної форми з плоским дном. Енергія удару на копровій установці, яка витрачається на дроблення, залежить від маси і форми копровий баби, а також висоти її падіння. Копри розрізняються за вагою копровий баби (5...15 т.). Висота підйому копровий баби складає 18...35 м. Робота на копрі вимагає великої уваги і ретельного виконання правил ведення робіт. Копер повинен мати знизу міцне огородження, що попереджує розлітання осколків.

Для встановлення на шаботі копра під розбивку габаритних шматків брухту застосовуються мостові крани. Підготовку копра до роботи проводять у наступній послідовності:

- бабу копра прикріплюють до троса захватним пристосуванням;
- працівників, які обслуговують копер, виводять з копрового приміщення;
- бабу піднімають на необхідну висоту.

За сигналом відповідальної особи натягують трос захватного пристосування. Захват, який утримував копову бабу, розкривається, баба падає на брухт і розбиває його. Після розбивання брухту робочі входять в робочу зону копра для розбирання та сортування шматків брухту.

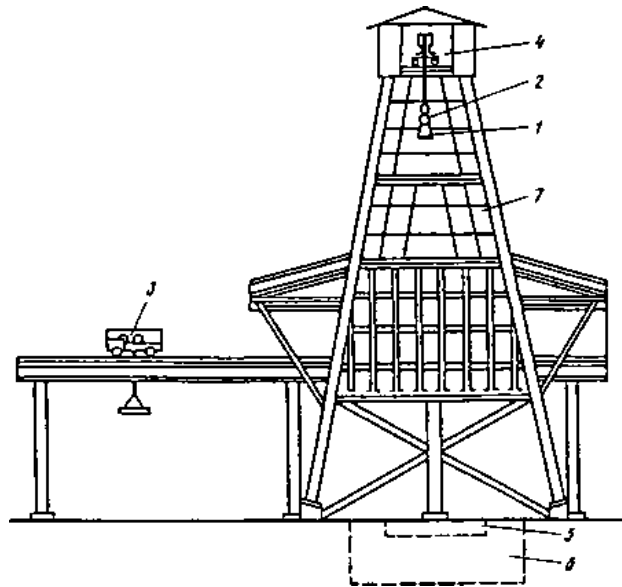


Рисунок 159 - Баштовий копер для подрібнення металевого брухту:

1 - копова баба; 2 – захват для копровий баби; 3 - мостовий кран; 4 - підйомний механізм; 5 - шабот; 6 - фундамент; 7 – башта копра

При виробництві сталі також утворюються відходи, які за складом є аналогічними металобрухту. Цей тип брухту ефективно повертають назад у той самий виробничий потік, звідки він надійшов, оскільки він не змінений і, отже, не потребує додаткової обробки.

Відсортований сталевий брухт переплавляється переважно в електродугових печах. У розплавлену сталь додають флюси (наприклад, вапно), що покращує її якість і сприяє видаленню домішок. Готову сталь заливають у форму, метал після охолодження і кристалізації утворює злитки, які стають сировиною для різних виробничих і промислових процесів. виготовлення тонких листів, прутків або балок.

Особливу цінність, як сировина, мають відходи кольорових металів. У структурі таких відходів найбільшу долю складають алюмінієвий, свинцевий, мідний і цинковий брухт. Як правило, процеси переробки відходів кольорових металів складні та вимагають дорогого устаткування. Оскільки кольорові метали знаходяться у металобрухті у вигляді сплавів, їх розділення викликає значні складнощі.

Відходи кольорових металів поділяються на 9 груп:

- I - алюміній та сплави на алюмінієвій основі;
- II - магній та сплави на магнієвій основі;
- III - мідь та її сплави;
- IV - нікель та його сплави;
- V - олово, свинець та їх сплави;

VI - цинк та сплави на його основі;

VII - брухт свинцевих акумуляторів від легкових автомобілів;

VIII - брухт алюмінієвої консервної тари;

IX - брухт консервної тари із білої жерсті.

Проведення сортування металобрухту дозволяє відділити з загальної маси металобрухту кольорових металів фрагменти з однорідним хімічним складом. Оскільки сплави кольорових металів характеризуються великою різноманітністю марок і складністю хімічного складу, то питання сортування їх відходів набувають першорядного значення. При переробці відходів кольорових металів застосовується видове сортування, яке проводиться за фізичними і хімічними ознаками:

- за зовнішніми характерними ознаками (колір, характер зламу, твердість, схильність до намагнічування тощо);

- предметними ознаками (найменування деталей);

- по клеймам маркування деталей та виробів з ДСТУ або по заводський марці;

- за результатами хімічного, спектрального чи рентгенівського аналізу.

Застосування магнітного сепаратора підвісного типу дозволяє відокремити чорні метали від немагнітних складових, що містяться у відходах виробництва. Підвісні електромагнітні сепаратори встановлюються над стрічковими конвеєрами, якими транспортуються суміші магнітних і немагнітних подрібнених відходів. Принцип роботи підвісних сепараторів полягає в притягуванні магнітних частинок до розвантажувальної стрічки, яка виносить їх убік для розвантаження.

Сортування відходів кольорових металів проводиться на сортувальних столах, конвеєрах або конвеєрних лініях, де поєднуються ручне та механізоване сортування. При ручному сортуванні механізуються допоміжні операції: транспортування, відділення домішок тощо.

При утилізації подрібнених кольорових металів першочерговою задачею розділення по алюмінію, міді, цинку. При утилізації таких відходів використовується сепарація в важких середовищах, яка полягає в розділенні матеріалів за щільності в гравітаційному або відцентровому полі. Поділ проводиться у суспензіях, щільність яких є проміжною між питомою густиною розділюваних часток. Важкі суспензії являють собою зважені в воді тонкодисперсні частинки мінералів або сплавів, в якості яких використовують феросиліцій, пірит, магнетитові і гематитові концентрати крупністю до 0,16 мм.

Суміш суспензії і металобрухту надходить по завантажувальному лотку в ванну, що складається з двох з'єднаних в нижній частині відділень. В одному з відділень розміщено елеваторне колесо для вивантаження суспензії разом з

затонулою важкою фракцією. Легка фракція вивантажується з верхньої частини ванни. Їх змішуванню в зоні вивантаження запобігає розділова перегородка.

Радіаторний (латунний) лом переробляється на алігаторних ножицях, або за допомогою вогневої різки. Оброблення радіаторів проводять шляхом відокремлення залізного кожуха та патрубків від латунного корпусу радіатора.

Відходи кольорових металів очищають, відділяючи від них воду, мастила і механічні домішки. Цей процес проводиться в обертових печах-сушарках і центрифугах з наступним вловлюванням та знешкодженням парів мастил. Приведення брухту і відходів кольорових металів до габаритного стану виконують пакетуванням і брикетуванням, ножничною та вогневою різкою, застосовуючи відповідне обладнання (пакетувальні преси, брикетуючі преси, алігаторні ножиці).

Широкого поширення в останні роки знаходить рециклінгова переробка алюмінієвих банок з під напоїв та аерозолів. У 2003 році, лише в США, було перероблено 62,6 млрд алюмінієвих банок. Муніципальні служби встановлюють спеціальні контейнери для збору алюмінієвих банок. У центрі сортування банки проходять магнітну сепарацію, де від зібраної маси відділяються випадково вкинуті сталеві банки. Відібрані алюмінієві банки миють, подрібнюють, та спресовують у 15-кілограмові брикети для подальшої обробки на металургійних підприємствах. Брикети завантажують у плавильну піч, де відбувається вигорання фарби на банках, їх розплавлення та змішування зі свіжими добавками первинного алюмінію. Розплавлений алюміній розливають на злитки. Утворені злитки піддаються прокатці на тонкі листи, які є сировиною для виготовлення нової тари. За оцінками, зібрані використані алюмінієві банки менш ніж через 60 днів знову з'являються у магазинах як нова тара для харчової продукції.

12.4. Рециклінгова переробка зношених автомобілів

Світова індустрія рециклінгової переробки зношених автомобілів забезпечує зайнятість понад 1 млн. чоловік. Загальна річна вартість продукції, яка отримується у світі за рахунок рециклінгу автомобілів оцінюється у понад 175 млрд. доларів США. Переробка автомобілів стала 16-м за величиною сектором у Сполучених Штатах, охоплюючи 140 000 людей і генеруючи 32 мільярди доларів США річного доходу.

В усіх розвинених країнах утилізація автомобілів є обов'язковою для їх власників, а її технологія детально відпрацьована. Для того щоб власники не кидали свої зношені автомобілі на звалищах, а передавали їх на переробку, в країнах Європи, в США і Японії діють «утилізаційні бонуси». Німеччина була

однією з перших країн, де була введена утилізаційна премія (2 500 євро), яка дала серйозний ефект (40 тис. чоловік здійснили заміну старих автомобілів на нові). Європейський Союз впровадив директиви, які зобов'язують виробників брати участь у фінансуванні переробки зношених автомобілів.

Щорічно в світі виробляється не менше 50 млн. автомобілів, і якщо прийняти, що в середньому легковий автомобіль важить 1200 кг, то виявиться, що щорічно більше 60 млн. т матеріалів витрачається на їх виготовлення. Терміни експлуатації автомобілів безперервно скорочуються, і сучасний світ зіткнувся з проблемою повторного використання автомобільних матеріалів. На створення автомобіля в середньому витрачається не менше 50 різних видів матеріалів і не менше 10 тис. окремих деталей. Залежно від конструкції автомобіля і технології його виготовлення він складається на 60-80 % із сплавів заліза, решта – кольорові метали, скло, пластмаси, які також проходять рециклінгову переробку. Використання металургійних технологій для утилізації старих автомобілів є невід'ємною частиною сучасного сталеплавильного виробництва.

Рециклінгова переробка зношених автомобілів - це процес їх розбирання на компоненти (складальні одиниці - кузов, двигун, коробка передач, акумуляторні батареї; фільтри; баки; шини; нейтралізатор, скло; експлуатаційні рідини, електрообладнання, сидіння тощо), оцінки їх технічного стану, сортування, переробки тощо. Наприкінці терміну експлуатації транспортні засоби мають цінність як джерело запасних частин і вторинної сировини.

Рециклінгова переробка зношених автомобілів забезпечує розв'язання наступних проблем:

- зменшення споживання невідновлюємих природних ресурсів і джерел енергії за рахунок вторинного використання автомобільних компонентів (табл.29);
- зниження собівартості виготовлення автомобільних компонентів за рахунок переробки або вторинного використання відновлених матеріалів;
- очищення вулиць міст і звалищ від покинутих старих автомобілів.

Рециклінгова переробка автомобілів у Німеччині включає наступні етапи:

1. Приймання підприємством зношеного автомобіля і видача відповідного сертифіката власнику автомобіля.

2. Мийка автомобіля і розміщення його у торговому комплексі підприємства з приймання автомобілів, в якому він знаходиться протягом місяця, і покупець може вибрати та придбати необхідний йому агрегат чи вузол. Деякі вузли демонтуються заздалегідь і виставляються для продажу за зниженою ціною.

3. Автомобіль надходить на попереднє розбирання, де з нього знімають шини і акумулятор, двигун, масляні фільтри, баки для палива, каталітичні

нейтралізатори, радіатор, пласмасові деталі, зливають залишки палива і експлуатаційні рідини (наприклад, гальмівної рідини). Каталітичний нейтралізатор містить дорогоцінні метали, такі як платина, родій і паладій, які мають значну цінність. Обов'язково проводиться демонтаж подушок безпеки і інших піротехнічних елементів.

4. Кузов передається на подрібнення чи пресування. Подрібнення на дрібні металеві фрагменти здійснюється у масивних дробильних машинах. Після подрібнення кузова автомобіля отримують три фракції: магнітну (чорні метали), повітряну (неметалічні матеріали з низькою щільністю) і фракцію, в яку входять немагнітні кольорові метали – алюміній, цинк, мідь, а також нержавіюча сталь. Подрібнена маса піддається сортуванню. Спочатку повітряним струменем видувують легкі складові - неметалева фракція (скло, гума, шкіра, текстиль, дерево тощо). З решти маси магнітні сепаратори відділяють частки феромагнітних чорних металів, а потім методом флотації відсортовують кольорові метали. Чавун та сталь становлять приблизно 65% ваги транспортного засобу.

Таблиця 29

Матеріали, які використовують при виробництві легкових автомобілів

Назва матеріалу	Вміст матеріалу у типовому автомобілі, % від аси		
	США	Японія	Європа
Сталь і чавун	67	72,2	65
Пластики	8	10,1	12
Скло	2,8	2,8	2,5
Гума	4,2	3,1	6
Рідини і оливи	6	3,4	2,5
Кольорові метали	6	6,2	8
Інші матеріали (фарба, ізоляція, електропроводка)	4	2,2	4
Всього, кг	1438	1270	1185

Переробники металевого брухту найбільш широко використовують шредерну переробку металобрухту, яка кардинально вирішує проблему отримання зручного, готового до використання в сталеплавильних агрегатах брухту з відділенням шкідливих домішок. Шредерна обробка забезпечує подрібнення залишків автомобіля на шматки розміром 5-150 мм, що не

вимагає додаткової обробки перед переплавленням у металургійних печах. За годину потужний шредер здатний подрібнити до 60 т металолому або до 100 штук автомобілів.

Потужні шредери включають два – три паралельні вали, на яких закріплені в шаховому порядку ріжучі диски, що виготовлені з високоміцних зносостійких сталей. Вали шредера обертаються назустріч один одному з різною частотою. Це забезпечує захоплення, подрібнення та видалення відходів, які втягуються в проміжки, утворені між сусідніми ріжучими дисками валів. Кожен вал шредера містить ножі оснащені гачками, які захоплюють, проколюють та розривають матеріал. Вали шредера прикладають величезну силу для проколювання та розриву матеріалу. Розмір подрібнених часток металу визначається товщиною ножів.

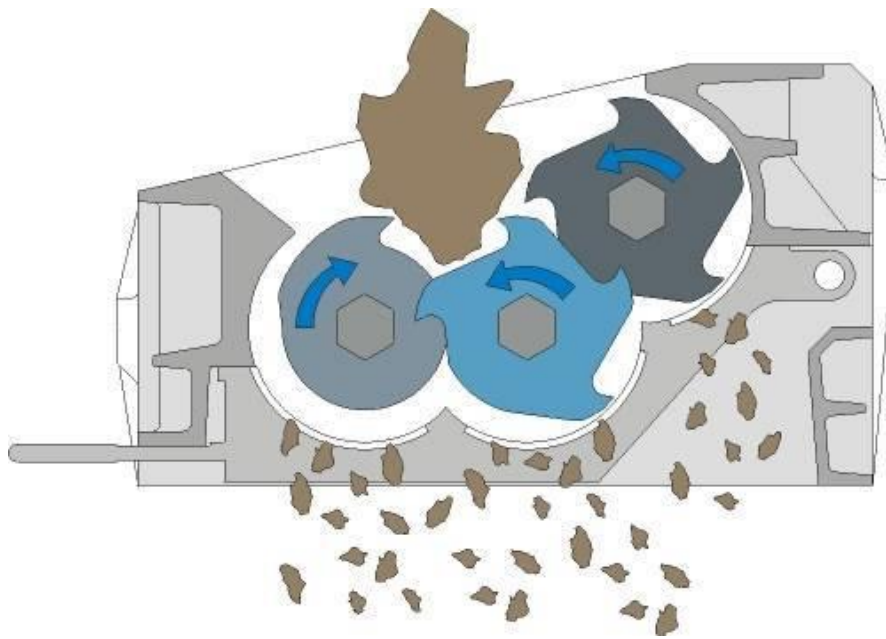
Після подрібнення вхідний матеріал транспортується до вібраційного сита, яке розділяє матеріал на шматки розміром менше і більше 150 мм. Негабаритні шматки матеріалу повертаються до шредера через зворотну стрічку для повторного подрібнення. Просіяний матеріал подається на магнітний барабан, який розділяє чорні та кольорові матеріали. Обидва матеріали вивантажуються за допомогою конвеєрних стрічок.

Для подальшої обробки шматки з феромагнітних чорних металів подаються на мобільну сортувальну стрічку. При ручному сортуванні видаляються залишки неметалевих матеріалів, а також відходи які можуть містити кабель і нержавіючу сталь. Сучасна переробка металобрухту все більше зосереджується на тенденції впровадження автоматизованих технологій сортування та обробки.

Отримана легка подрібнена фракція подрібнювача, являє собою суміш різних матеріалів, таких як пластик, гума, скло і використовується для рекуперації енергії на сміттєспалювальних заводах або при засипці шахтних виробок.

Всього в світі налічується в експлуатації близько 800 шредерів, якими у Німеччині обладнано 40 шредерних заводів, у Великобританії - 46, у Франції – близько 40.

Технологія шредерного подрібнення практично не застосовується в Україні через високу вартість обладнання і необхідність концентрації побутових відходів і автолому на одному переробному підприємстві. Для подрібнення автомобільних кузовів в Україні в основному застосовують дробарки молоткового типу, що складаються з роз'ємного сталевого корпусу, облицьованого зносостійкими плитами, дискового ротора і дробильної плити.



а)



б)



в)

Рис. 160 - Шредер для подрібнення великогабаритних відходів: а) схема роботи шредера; б) приклад подрібнення легкового автомобіля у шредерній установці; в) ножі шредера

12.5.Рециклінгова переробка суднового брухту

Значну долю в постачанні металевого брухту займають продукти переробки суднового брухту. Приблизно через 30 років міцність конструкції більшості кораблів погіршується, Після 25-30 років експлуатації вантажне судно стає надто дорогим для обслуговування та ремонту і судноплавні компанії виводять його з експлуатації та здають для переробки на металобрухт. У порівнянні з затопленням, переробка на металобрухт є найбільш екологічно чистим і економічно обґрунтованим способом позбавлення від старих кораблів. На цьому етапі можна видобувати для рециклінгу цінні матеріали, такі як сталь, залізо, алюміній і пластик. Згідно зі статистичними даними, понад тисячу суден, що вийшли з ладу, переробляються протягом одного року.

Базельська конвенція встановлює спеціальні керівні принципи та правила для видалення суден, які визнані застарілими та неефективними. Основна мета цих настанов - зберегти безпеку та гармонію природи під час викидання судна. Корабель, що виводиться з експлуатації, має бути перероблений відповідно до екологічно чистої стратегії, яка не матиме серйозного впливу на навколишнє середовище.

Розбирання суден біля морського берега є поширеним методом, оскільки він використовує переваги природних пляжів із зонами високого рівня припливів і відливів і довгими мулистими ґрунтами, тому не вимагає додаткової інфраструктури. Корабель спочатку ставиться на якір біля берега, де демонтуються масивні елементи, щоб зробити його якомога легшим. Потім під час припливу корабель переміщується на глинисту поверхню берега, де він піддається повній рециклінговій переробці. Оскільки розміщення судна на березі забруднює мулисті ґрунти і морську воду, їх розбирання не вважається екологічно безпечним. Процес утилізації суден є складним, погано піддається механізації і включає в себе наступні стадії:

1. Підготовка судна до утилізації. На даному етапі вивчається технічна документація судна, для того щоб визначити, які небезпечні компоненти входять до складу матеріалів корабля. Ці знання необхідні, щоб при проведенні демонтажних робіт не виникли загорання і вибухи.

2. Демонтаж складових частин. Під час припливу судно підводять на мілину в задалегідь визначене місце. В період відпливу майже все судно виявляється на суші. Далі здійснюють демонтаж агрегатів, вузлів, трубопроводів, кабелів і інших складових корабля, який триває до моменту, коли від судна залишається лише корпус.

3. Розрізування корпусу. Корпус судна піддають розрізанню на окремі відсіки. Розділення корпусу судна на частини виконується за допомогою

ручних киснево – газових пальників у складних санітарних умовах без вентиляції, часто в ізольованих приміщеннях. Ручне киснево – газове різання є малопродуктивним (виробка різальщиків не перевищує 2 т/год). Металеві поверхні старих суден покриті багатьма шарами фарби, основу якої складає свинцевий сурик та з'єднання міді. При згорянні таких покриттів у полум'ї киснево - газового різача в атмосферу виділяється значна кількість диму і отруйних газів. Під впливом високих температур відбувається сублімація свинцю і міді з утворенням високотоксичних аерозолів, що надходять у повітря робочої зони і в організм людини. При проведенні робіт з розбирання суден не використовують спеціалізоване обладнання, а переважно користуються універсальними лебідками і гідравлічними підйомниками.

4. Розрізання секцій. Отримані на попередньому етапі відсіки розрізають на блоки і листи. Маса типового фрагмента складає близько 500 кг. Розрізані складові корпусу переміщують на берег, де їх піддають подальшому розрізанню на більш дрібні шматки з метою їх подальшого транспортування.

5. Сортувальні роботи. Метали і сплави, що застосовуються у виробництві суден мають високу цінність і тому після різання секцій ці матеріали упорядковано відправляються на подальшу обробку з метою їхнього повторного використання.

6.Транспортування. Місце утилізації суден вибирають, орієнтуючись на близьке знаходження залізних чи автомобільних шляхів, що зменшує витрати на транспортування відділених матеріалів. Розсортовані елементи вантажівками або залізничними платформами відправляються на переробні металургійні підприємства.

Історично склалося так, що на планеті утворилося три основні центри розбирання суден: Індія, Бангладеш і Пакистан. В цих країнах розбирається близько 85% всього списаного світового флоту. На виконанні цих робіт задіяно понад 100 тисяч осіб. Тисячі тонн сталі розділяються робітниками з використанням мінімуму інструментів і заходів безпеки.

За даними Міжнародної організації праці, розбирання суден є однією з найнебезпечніших робіт у світі. Цей процес пов'язаний із ризиками, які призводять до періодичної загибелі робітників, травм і професійних захворювань. Незважаючи на ряд проблем, з якими стикаються такі суднорозбірні заводи, такі роботи є процвітаючим бізнесом. Така ситуація склалася з наступних причин:

- в цих регіонах стабільно високі ціни на судновий лом, що обумовлено високим попитом на чорний метал при передачі металобрухту до таких країн, як Японія, Китай, Південна Корея;
- наявністю дешевої робочої сили;

- великою довжиною берегової лінії, яка виділена для переробки списаних суден, та сприятливими кліматичними умовами;
- відсутністю жорстких екологічних законів, що попереджують забруднення навколишнього середовища.



Рисунок 161 - Корпуса суден в процесі розбирання

Контрольні питання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте існуючі схеми збору і утилізації металевого брухту;
2. Опишіть принцип роботи електромагнітних шайб для розвантаження металобрухту.
3. Охарактеризуйте технологію розділення крупногабаритного металевого брухту.
4. Охарактеризуйте обладнання для розділення крупногабаритного металевого брухту.
5. Основні принципи розділення чорних і кольорових металів.
6. У чому полягає суть розділення кольорових металів у важких середовищах?
7. Опишіть закордонний досвід утилізації автомобілів.
8. Опишіть утилізацію технології утилізації суден.

13. Відновлення відходів гірничо-металургійної галузі

13.1. Відновлення техногенних родовищ

Видобуток корисних копалин є важливою складовою частиною сучасного природокористування. Ця діяльність забезпечує вихідною сировиною базові переробні галузі економіки держав: чорної і кольорової металургії, хімічної, нафтопереробної промисловості, виробництва цементу, будівельних матеріалів тощо.

Гірничодобувна діяльність включає видобуток, переробку корисних копалин і їх металургійну переробку. Техногенні родовища корисних копалин - це ділянки накопичення відходів видобутку, збагачення та переробки мінеральної сировини, запаси яких оцінені і мають промислове значення. Техногенні родовища мають різноманітний мінеральний склад і є потенційним джерелом різноманітних корисних копалин, а також будівельних матеріалів (щебінь, пісок, гравій тощо).

При відкритому (кар'єрному) способі розробки родовищ корисних копалин спочатку вилучають розкривні породи, що дозволяє отримати доступ до фактичних пластів або жил руди під ними. Розкривні породи - це верхній шар ґрунту та/або породи, що покриває рудне тіло. Розкривні породи гірничодобувної промисловості – це неоднорідні матеріали, що складаються з осадових, метаморфічних або магматичних порід, ґрунту та пухких відкладень розміром від дрібних часток до валунів. Розкривні породи не піддаються жодним переробним процесам, але їх необхідно видалити, щоб отримати доступ до руди під ними. Як правило, на кожен тонну видобутої руди витісняється 5 т розкривних порід.

В пластах корисних копалин також містяться шари пустої породи, яку необхідно відокремити від руди. При збагаченні добутої сировини її тонко подрібнюють і відділяють пусту породу, що супроводжується утворенням відходів, які називають хвостами. Розкривні породи та порожня порода в основному утворюються на етапі видобутку, тоді як хвости та відходи переробки утворюються на етапі переробки руди. При підземному або відкритому видобутку корисних копалин утворюються три основні типи твердих відходів:

- гірські відходи у формі уламків породи, що представляють собою некомерційну частину видобутої породи;
- хвости збагачувальних фабрик, що складаються з пустої породи, води та іноді хімічних добавок, що використовуються на етапі переробки руд;
- забруднений осад, який утворюється при очищенні використаних вод.

Під час видобутку руд і вугілля щорічно на поверхню з надр піднімають десятки мільйонів тон порожньої породи. Управління розкривними породами здійснюється шляхом їх використання для відновлення раніше вироблених ділянок для відновлення рослинності та відновлення їх первісного вигляду до видобутку. Ефективне управління розкривними породами передбачає їх зворотну засипку в розкопану зону шахти. Застосовують цементований спосіб засипки, який передбачає використання шахтних пустих порід зв'язаних цементним розчином.

Відходи гірничодобувної промисловості займають великі площі, вони спричиняють серйозні екологічні проблеми та значні екологічні порушення.



Рисунок 162 – Воронки просідання ґрунту на території залізорудних шахт у Кривбасі



Рисунок 163 - Ставок-накопичувач шахтних вод шахт «Артем-1» і «Гігант-Глибока» у Кривбасі

За походженням техногенні родовища відходів поділяють на наступні типи:

- породні техногенні родовища відходів гірничодобувної промисловості;
- техногенні родовища відходів кольорової та чорної металургії (шлами і шлаки);
- техногенні родовища відходів теплоелектростанцій (зола і шлаки);
- техногенні родовища відходів хімічного виробництва (шлами).

За морфологічними ознаками техногенні родовища поділяють на наступні типи:

1. Родовища насипні, що представляють собою пагорби і терикони. До цього типу відносяться:

- терикони з порожньої породи, утворені біля вугільних шахт і розрізів;
- відвали з порожніх порід рудників, утворені при добуванні руд кольорових, чорних і рідкісних металів;
- відвали розкривних порід, які утворилися при складуванні при відкритому способі добування корисних копалин;
- хвостосховища - відвали, в яких проведено захоронення відходів збагачення корисних копалин (пустої породи) - хвостів.

2. Родовища наливні, що утворюються при заповненні рідкими відходами збагачення западин земної поверхні. Коли хвости осідають та зберігаються під шаром води, цей спосіб називається підводним осадженням. Така технологія допомагає стабільно мінімізувати окислення і пилевої ерозії переважно сульфідних мінералів. Представниками цього типу техногенних родовищ відходів є:

- відходи збагачення руд (шламо - і хвостосховища гірничозбагачувальних фабрик) у вигляді шламо - болотистого осаду;
- шламові відвали кольорової та чорної металургії;
- шлакові відвали енергетичного комплексу, що виникають при гідравлічному видалення золи і шлаків з теплових електростанцій;
- шламові відвали хімічних виробництв.

На гірничо - збагачувальних комбінатах з видобутої руди отримують концентрат, а відходи з пониженим вмістом корисних складових переміщують у хвостосховища (рис. 164). Хвости утворюються, коли гірська порода, що містить рудоутворюючі мінерали економічної якості, подрібнюється для полегшення вилучення цих мінералів у млині. Хвости є залишковим матеріалом процесу збагачення і складаються з дрібнозернистої мулистий суспензії з високим вмістом води. Хвости часто перекачують через труби для зберігання в хвостосховищі. Найпоширеніший тип хвостохранилищ розміщується на поверхні з високими насипами, спроектованими для

утримання хвостів і води. Зазвичай хвостосховища розміщують в кількох кілометрах від гірничозбагачувальної фабрики, переважно у низинах рельєфу (улоговинах, розпадках тощо).



Рисунок 164 – Хвостосховище відходів збагачення залізної руди біля м. Кривий Ріг

Техногенні родовища корисних копалин супроводжуються утворенням ділянок накопичення відходів видобутку, збагачення та переробки мінеральної сировини. Техногенні родовища мають різноманітний мінеральний склад і є потенційним джерелом різноманітних корисних копалин, а також будівельних матеріалів (щебінь, пісок, гравій тощо). Для виробництва будівельного щебеню можуть успішно використовуватися скельні породи з відвалів: пісковики, вапняки, метаморфічні сланці, гнейси і магматити. Виробництво вапна, вапняного і доломітового борошна може здійснюватися на базі карбонатних розкривних порід практично усіх залізрудних родовищ цих районів.

В промислових відходах окремих гірничих та металургійних підприємств накопичуються у підвищених концентраціях багато компонентів, які при застосуванні відповідних технологій збагачення знаходять використання. Відновлення техногенних родовищ відходів переробки пустої породи руд здатні забезпечувати сировиною потреби промислового виробництва у таких важливих хімічних елементах, як ванадій, скандій, цинк і свинець. У розвинених індустріальних країнах світу рівень використання відходів гірничої та гірничо-рудної промисловості у якості вторинної сировини досягає 70...80%. Так, у США з відходів гірничодобувної галузі отримують 20% виробляемого алюмінію, 33% заліза, 50% свинцю і цинку, 44% міді. В Україні цей показник не перевищує 15%. Організація відбору цих компонентів з відвальних порід може

мати стратегічне значення, оскільки природні родовища їх видобутку на Україні відсутні.

Підприємства гірничої та гірничо-рудної промисловості України здійснюють розробку корисних копалин на понад 5 тис. родовищ. Застосування застарілих технологій та обладнання при добуванні корисних копалин призводить до значних втрат корисної сировини, яка потрапляє у відвали та хвостосховища. На сьогодні в Україні до 90% відходів промислового виробництва становлять відходи видобутку і збагачення корисних копалин. На території України протягом десятиліть складавалися відходи, які утворювалися при добуванні та збагаченні корисних копалин, що привело до утворення териконів біля вугільних шахт, відвалів біля підприємств гірничодобувної промисловості, озер із мільйонними тоннажами осадів після виробництва соди, мінеральних добрив та інших хімічних речовин. У гірничорудних і вуглепромислових районах та біля великих промислових центрів (Кривбас, Донбас, Дніпродзержинськ, Запоріжжя, Дніпропетровськ, Кременчук, Львівсько-Волинський басейн тощо) накопичені значні об'єми розкривних та шахтних порід, металургійних і енергетичних шлаків, відходів збагачення. Загальна кількість розкривних порід у відвалах на території Донецько - Придніпровського і Центрально-Чорноземного регіонів України в кінці ХХ століття оцінювалася у 27 млрд. т.

13.2.Управління відходами техногенних залізрудних родовищ

В Україні поширення знаходить відкритий спосіб видобутку корисних копалин, який здійснюється шляхом розробки кар'єрів. При товщині шару розкривних порід не більше кількох десятків метрів розкривні породи видаляються з поверхні, що дозволяє здійснювати безпосередній доступ до родовища. В процесі розробки родовищ залізної руди у відвали переміщують розкривні породи, об'єми яких становлять 30...70% від об'ємів розроблюваного рудного масиву. До складу розкривних порід залізрудних родовищ входять осадові породи (глини, піски, суглинки, вапняки тощо), кристалічні сланці, кварцити та інші скельні породи.

Рихлі розкривні породи видаляються у відвали переважно за допомогою скреперів. Тверді скельні породи при розкривних роботах відділяють від масиву вибуховим способом, розробляють екскаваторами та видаляють у відвали автомобільним або залізничним транспортом.

Після розколювання вибухами скельна маса розкривних порід неоднорідна за формою і складом. За гранулометричним складом утворені скельні породи являють собою неоднорідний матеріал від пилоподібних і

піщаних фракцій до брил розміром 1 м. Щільність цих порід знаходиться в межах 2600...4100 кг/м³. Порожню породу, яка відокремлена від видобутих корисних копалин, складають у відвалах (відвальна порода). При добуванні залізної руди у відвали у значній кількості також попадають бідні на залізо мінерали типу кварцитів та інші гірські породи. До складу залізистих кварцитів входить 9...18% оксидів заліза, 38...89% оксидів кремнію (фракції - від 5 мм (3...5%), до 80 і більше мм (26...92%). Такі залізовмісні мінерали характеризуються високими показниками міцності, морозостійкості і повністю відповідають вимогам до матеріалів підстилаючих шарів дорожніх покриттів.

Основним напрямком використання зібраних у відвали розкривних порід є використання їх для утворення дамб, гребель, насипів, обвалувань, основ доріг, а також для виробництва будівельних матеріалів. Скельні породи можуть використовуватися у якості сировини для виробництва щебеню, який застосовують як заповнювач у бетонних сумішах. Встановлено, що бетони з наповнювачами з відвальних порід по стійкості до стирання навіть перевершують бетони, які виготовлені з використанням гранітного щебеню. На багатьох гірничо-збагачувальних комбінатах України побудовані щебеневі комплекси для утилізації розкривних порід. Однак, обсяги утворення відходів від розкривних робіт в Україні значно перевищують масштаби можливої переробки, і основним напрямком їх використання є зворотна засипка та рекультивація території відпрацьованих кар'єрів. Більшість з цих відходів є інертними і не завдають шкоди навколишньому середовищу. Однак окремі відходи гірничодобувної промисловості можуть містити певну кількість небезпечних речовин, таких як важкі та радіоактивні метали.

В техногенних родовищах крім мінеральних складових, які можуть застосовуватися в будівельній індустрії, також містяться цінні хімічні елементи, які, при застосуванні відповідних технологій збагачення, придатні для переробки у процесах чорної і кольорової металургії. Підприємства чорної металургії, відновлюють з залізної руди сплави заліза, а всі інші компоненти, зокрема мідь, цинк, свинець, золото переходять у відвали. В той же час, практика свідчить, що собівартість видобування і переробки цих металів із техногенних родовищ часто є нижчою, ніж їх вилучення із природної сировини, запаси якої в Україні обмежені або взагалі відсутні. У багатьох відвалах містяться промислові концентрації чорних, кольорових та рідкісноземельних металів. На сьогодні в Україні відсутні приклади використання відвалів у якості додаткової сировини.

Розвиток сучасного гірничорудного виробництва характеризується зростанням обсягів видобутку корисних копалин при постійному зниженні їх якості та ускладненні умов розробки природних родовищ. Поклади багатих

магнетитових залізних руд, на яких сьогодні працюють вітчизняні металургійні заводи, поступово виснажуються. Невідповідність між якістю сировини, що добувається, і вимогами до неї споживачів обумовлює необхідність застосування в гірничо-металургійному комплексі технологічних процесів збагачення руд. Добуті в кар'єрах руди в обов'язковому порядку проходять збагачення - операції, в результаті яких підвищується концентрація корисних елементів (заліза, марганцю тощо). Збагачення є підготовчою операцією перед проведенням основних технологічних операцій глибокої механічної, хімічної і фізико-хімічної переробки сировинних матеріалів з отриманням кінцевої товарної продукції.

За своєю суттю збагачення залізних руд - це механічний процес розділення частинок руди на корисний мінерал та пусту породу. З залізної руди, яка не проходила збагачення, при металургійній переробці утворюється значна кількість шлаку, що вимагає підвищених витрат палива та знижує продуктивність роботи доменних печей. Збагачення залізних руд дозволяє відокремити значну частину порожньої породи, підвищивши в сировині, яка йде на металургійну переробку, концентрацію заліза. Підвищення концентрації заліза за рахунок зниження вмісту пустої породи та шкідливих домішок у рудах після збагачення дає суттєвий економічний ефект, який значно перевищує витрати на збагачення. Збагачення забезпечує скорочення транспортних витрат, витрат палива та підвищує ефективність природоохоронних технологій у металургійному виробництві.

Методи збагачення базуються на наявності відмінностей у фізичних і фізико-хімічних властивостях залізовміщуючих компонентів руди і пустої породи - промивності, густині, магнітній сприйнятливості, змочуваності поверхні тощо.

Технологія збагачення залізних руд включає підготовчі та основні операції. Підготовчі операції включають зменшення крупності шматків руди. Вихідні руди, що надходять на збагачення, переважно представлені міцними зростками рудних і нерудних мінералів (рис.165).

При проведенні підготовчих операцій для руйнування зростків до повного вивільнення зерен корисного компонента та одержання механічної суміші зерен корисного компонента і пустої породи залізну руду дроблять, проводять гідравлічну класифікацію тощо. Чим тонше подрібнено руду, тим повніше залізовмістні складові будуть відділятися від порожньої породи.

До основних операцій відносяться процеси безпосереднього збагачення руди. Для збагачення залізних руд застосовуються наступні методи: промивка, гравітаційне збагачення, магнітна сепарація і флотація. Хімічний склад мінеральної частини руди при збагаченні зазвичай не змінюється.



Рисунок 165 - Будова шматка залізної руди зі світлими прошарками пустої породи (кварциту)

Цільове відділення з'єднань заліза від пустої породи здійснюється за допомогою технологічних операцій магнітної сепарації, флотації або комбінованого процесу флотаційно-магнітної сепарації. При цьому широко використовують технології збагачення методами сухого і мокрого магнітного розділення. Магнітні шківні і магнітні барабанні сепаратори є широко використовуваним обладнанням для попереднього сухого магнітного розділення, а для попереднього збагачення вологого типу використовують високоградієнтні вологі магнітні сепаратори. При вологій магнітній сепарації суміш тонкоподрібненої залізної руди з водою подається на зовнішню поверхню магнітного барабана, який обертається. Залізовмістні частинки притягуються до поверхні барабана. Концентрат утворюється при змиванні водою магнітних фракцій руди з барабану поза межами дії магнітного поля.

Тривалий час слабomagнітні гематитові (окислені) залізні руди металургійною промисловістю України не використовувалися, а концентрувалися у хвостах збагачення та у відвалах розкривних порід. Даний клас бідних залізних руд після відповідної підготовки також може використовуватися у металургійному виробництві замість первинної залізорудної сировини. Ефективне збагачення шламів може здійснюватися шляхом послідовного відбору тонкоподрібнених залізовмістних фракцій на магнітних сепараторах з різною напруженістю магнітного поля. На першому етапі сепарації на сепараторі зі зниженою індукцією магнітного поля на поверхні барабана (0,04...0,06 Тл) відбирається фракція з високою магнітною сприйнятливістю (магнетит), що дозволяє отримати продукт з вмістом до 54% заліза з виходом до 18%. На другому етапі на сепараторі з підвищеною індукцією (до 0,4 Тл) відбираються гематитові включення – залізовмістні складові з більш низькою магнітною сприйнятливістю. Така схема дозволяє отримати продукт з вмістом до 32% заліза. При цьому в шламосховище зливається пульпа з вмістом заліза менше 11%.

При флотаційному збагаченні подрібнену руду у вигляді пульпи у флотаційній машині продувають повітрям за присутності флотаційних реагентів (крохмалю, соди, соснового масла, мінеральних олив, уайт-спіріту тощо). Особливістю флотаційного методу є можливість штучного регулювання змочуваності і розділення тонкоподрібнених мінеральних зерен. Частинки залізовмісної складової залишаються у камері флотаційної машини, а більш легка порожня порода збирається у піні і відділяється.

Зневоднення продуктів збагачення після фільтрації здійснюють методами дренажування (гравітаційне стікання води), центрифугування, згущення в гідроциклонах, фільтрування і термічного сушіння.

У результаті збагачення залізних руд отримують залізорудні концентрати, які придатні для подальшої переробки у доменних печах, і як відход - хвости збагачення. Концентрати – це продукти збагачення, в яких вміст корисних компонентів вищий, а вміст шкідливих домішок нижчий, ніж у первинній рудній сировині. Хвости – це відходи процесу збагачення, в які переходять порожня порода, шкідливі домішки і частина корисних компонентів руди, які є нерентабельними для основної обробки. Хвостове господарство є одним з найдорожчих в обслуговуванні об'єктів гірничозбагачувальних комплексів. Хвости видаляють у хвостосховища гідравлічним способом у вигляді пульпи з відношенням твердої фази до рідкої від 1 : 10 до 1 : 30. З хвостів наливається дамба, яка виконує роль огороження хвостосховища. При відстоюванні пульпа поділяється на осадову тверду фазу хвостів і воду. При скиданні пульпи в хвостосховище на надводних пляжах відбувається фракціонування хвостів по щільності і крупності. На ділянках, близьких до місця випуску пульпи, осідають найбільш крупні і важчі частки, вміст заліза в осадах цієї зони може досягати 30%. Більш ефективний відбір рудної складової зі шламів збагачення залізної руди досягається при проведенні їх додаткового фракціонування методом гідравлічної класифікації за допомогою гідравлічних концентраторів. Робота гідравлічних концентраторів базується на принципі різної швидкості осідання частинок різної маси в потоці рідини, що рухається вгору.

У Криворізькому залізорудному басейні переважно добуваються бідні руди, які необхідно піддавати процесу збагачення. Гірничо-збагачувальні комбінати відправляють у відвали більше половини переробленої гірської породи у вигляді залізистих шламів. Вони представляють собою дрібно-дисперсний порошок, який містить 10-28% фракції розміром більше 0,14 мм, решту складає залишкова фракція з меншими розмірами. Середньозважений діаметр частинок у хвостах знаходиться в межах 0,05...0,2 мм, з переважанням частинок розміром 0,07...0,005 мм. До складу шламу входить:

кварц 60...80%, сполуки заліза 13...18%, сполуки інших хімічних елементів 15-20%.

У відходах збагачення Нікопольського марганцевого басейну втрати марганцю складають 27%. Щорічний приріст хвостів збагачення марганцевих руд складає 4...5 млн. т, а їх загальна кількість - близько 70 млн. т.

Хвостосховища є техногенними родовища корисних копалин, з яких при застосуванні прогресивних технологій збагачення можливо отримувати високоякісну металургійну сировину. Прогнозується, що з часом у розробку все ширше будуть залучатися родовища з рудами низької якості, вміст заліза у яких мало відрізняється від складу шламів з техногенних родовищ. Тому у майбутньому накопичені відходи гірничого виробництва у техногенних родовищах можуть стати одним з основних джерел мінеральної сировини.

Обсяг застосування сучасних технологій утилізації залізовмісних відходів на підприємствах гірничо-металургійного комплексу України є вкрай низьким, що не виправдано ні з економічної, ні з природоохоронної точки зору. На сьогодні лише на Центральному гірничо-збагачувальному комбінаті (Кривбас) працює установка з переробки складованих відходів збагачення залізистих кварцитів. Практика цього підприємства показала, що масова частка заліза в концентраті з хвостів лише дещо менша, ніж що отримують із добутих з родовища кондиційних залізистих кварцитів, але собівартість такого концентрату є на 40% нижчою. При цьому звільняються площі у хвостосховищах для поточних відходів збагачення, що дозволяє не виводити з обігу сільськогосподарські землі для розміщення нових хвостосховищ.

Основним напрямком утилізації хвостів, утворених при збагаченні залізних руд, є їх використання як вторинної сировини в дорожньому будівництві та для виробництва будівельних матеріалів. Частина шламу (з фракціями більше 0,14 мм) доцільно використовувати замість піску при виготовленні будівельних розчинів і бетонів. Піски, які входять до складу відходів збагачення, також можуть використовуватися у штукатурних розчинах, для отримання силікатної цегли, а також в якості сировини для отримання бесклінкерного шлакоцементу шляхом спільного помелу піску разом з доменними шлаками.

Хвостосховища та шламосховища займають величезні площі, підтоплюють прилеглі території та забруднюють підземні води. При підсиханні надводні пляжі створюють інтенсивне пилоутворення. Сухий поверхневий шар пилоподібних відходів, що знаходяться у відвалах і відкритих сховищах, активно переноситься вітром на великі відстані, забруднюючи сільськогосподарські угіддя та навколишнє середовище. У населення, що проживає поряд з гірничозбагачувальними підприємствами спостерігається підвищений рівень онкозахворювань і смертності, що в першу чергу

пояснюється впливом на організм людини різноманітних викидів від діючих хвостосховищ. Щорічний економічний збиток від забруднення навколишнього середовища відвалами та хвостосховищами Криворізьких гірничо-збагачувальних комбінатів оцінюється в 300 млн. доларів.

Для боротьби з пилом, гірничо - збагачувальні комбінати проводять насадження на поверхні хвостосховищ рослин з міцним корінням (наприклад, очерету), що стримує рознесення пилу. Вода, яка збирається після відстоювання пульпи, повторно використовується збагачувальною фабрикою або після очищення і скидається у стоки. Для поліпшення процесу поділу твердої і рідкої фаз пульпи застосовують її обробку реагентами - коагулянтами.

У 1984 році інститутом «Кривбаспроект» було спроектовано Криворізький гірничо-збагачувальний комбінат окиснених руд, місцем розташування якого є околиці м. Долинська (Кіровоградська область). Будівництво комбінату було намічено здійснити силами і засобами країн - членів Ряди економічної взаємодопоміги: східної Німеччини, Румунії, Радянського Союзу, Угорщини та Чехословаччини. Комбінат активно будувався у 1985 - 1993 роках (рис.166).



Рисунок 166 - Криворізький гірничо-збагачувальний комбінат окиснених руд

Очікувалося, що пуск комбінату дозволить розв'язати проблему залучення до промислової переробки складованих у відвалах 500 млн т видобутих слабкомагнітних окиснених руд з вмістом 37% заліза. Технологія переробки окиснених руд передбачала застосування сучасної магнітно-

флотаційної технології збагачення руд та сепараторів з сильним магнітним полем, які здатні відділяти з сировини концентрат з вмістом заліза на рівні 66% при використанні безстічної системи водообігу. Проектна потужність першої черги підприємства передбачала переробку з відвалів 26,4 млн т окиснених руд та випуск окатишів з залізовмісного концентрату 9,8 млн. т на рік. Крім того, очікувалося суттєве покращення екологічної ситуації в регіоні Кривбасу та створення близько 2700 нових робочих місць. Після розпаду СРСР будівництво комбінату було припинено, а Німеччина, Чехія, Болгарія вийшли з участі у договорі. Готовність будівництва станом на 2018 рік оцінювалася у 70%, на спорудження було витрачено 1,649 млрд доларів США при загальній вартості будівництва 2,4 млрд. доларів США.

13.3.Обладнання для підготовки рудних відходів до відновлення

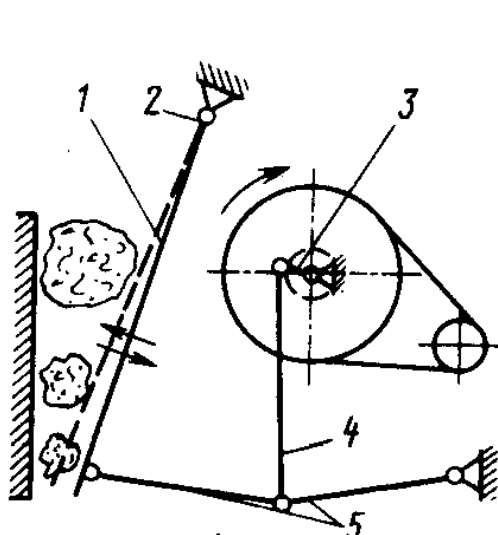
Інтенсивність і ефективність процесів збагачення гірничих порід зростає зі зменшенням розмірів частинок матеріалів, що переробляються. У зв'язку з цим першими технологічними операціями переробки залізорудних відходів є процеси зменшення розмірів їх шматків. Дроблення здійснюється у щоккових, конусних, валкових і інерційних дробарках.

Конусні дробарки, як правило, застосовують на підприємствах з великою виробничою потужністю для руд з найбільш високою міцністю. Щоккові дробарки доцільно застосовувати для подрібнення руд середньої міцності на збагачувальних фабриках невеликої продуктивності. У порівнянні з конусними дробарками вони більш пристосовані для дроблення глинистих і вологих порід, займають менше місця по висоті, простіші за конструкцією. До недоліків щоккових дробарок відноситься сильний шум та пилоутворення при роботі.

Щоква дробарка - це механізм, в якому матеріал дробиться шляхом роздавлювання між рухомими щокками. Головним параметром щоккових дробарок є розмір (ширина та довжина) приймального отвору камери дроблення, яка утворюється між рухомою та нерухомою щокками. Машинобудівна промисловість випускає дробарки з розмірами приймального отвору (мм): 160x250, 250x400, 250x900, 400x900, 600x900, 900x1200, 1200x1500, 1500x2100, 2100x2500.

Робочими елементами щоккових дробарок є дві щоки: нерухома і рухома 1, що коливається на осі 2 (рис.170). Приводить у дію рухому щоку через розпірні плити 5 шатун 4, який з'єднано з ексцентриковим валом 3. Обертання ексцентрикового валу забезпечується потужним механізмом приводу. В утворену між плитами щік клиновидну камеру дроблення завантажуються гірська порода, розмір шматків якої обмежений впускним отвором дробарки.

Під час зближення щік шматки породи подрібнюються і провалюються у нижню щілину, ширина якої регулюється за необхідними розмірами шматків подрібненого продукту. В процесі роботи щоки дробарки піддаються інтенсивному абразивному зносу, тому вони футеруються змінними плитами зі зносостійкої сталі.



а)



б)

Рисунок 167 - Схема роботи щокової дробарки (а); зовнішній вигляд щокової дробарки



Рисунок 168 - Застосування у кар'єрі мобільної конусної дробарки на гусеничному ході

У порівнянні зі щоковою дробаркою, конусна дробарка більш складний і ефективний механізм для дроблення рудних матеріалів. Конусні дробарки

випускаються для крупного, середнього та дрібного дроблення (рис.168). Кусковий матеріал руйнується між двома конусами, один з яких (зовнішній) нерухомий, а внутрішній, завдяки обертанню ексцентрикового стакана, рухається з гойданням так, що кожна його точка описує у горизонтальній площині коло (рис.169). Рухомий конус при круговому коченні роздавлює матеріал, який завантажується у робочий простір. На відміну від щоккових дробарок, процес дроблення у конусній дробарці відбувається безперервно, що забезпечує вищу продуктивність.

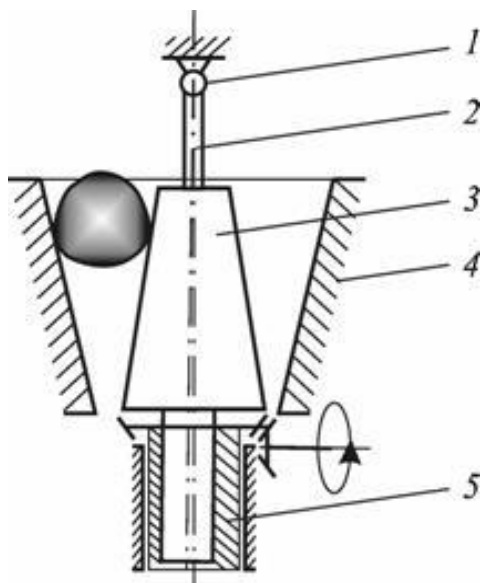


Рисунок 169 - Схема конусної дробарки крупного дроблення: 1 - вузол підвісу рухомого конуса; 2 - вал; 3 - рухомий конус; 4 - нерухомий конус; 5 - ексцентриковий стакан

Для тонкого помолу руд та вугілля до розміру часток менше 5 мм широко використовують барабанні млини. Робочими елементами цих млинів є захищений зсередини броньованими плитами барабан і завантажені в нього мелючі робочі тіла (чавунні чи сталеві кулі). Під час обертання барабана кулі притискаються до його стінок відцентровою силою, піднімаються на деяку висоту, а потім падають або скочуються вниз (рис. 170). Матеріал, який перебуває у барабані, подрібнюється мелючими робочими тілами шляхом розбивання при падінні, роздавлюванні і розтиранні під час скочування. Подріблюєми матеріал подається у млин і виводиться з нього крізь порожнисті цапфи барабана. Вивантаження подрібненого матеріалу здійснюється під дією власної ваги або з потоком повітря, яке відсмоктується вентилятором. Подрібнений продукт надходить на лінії сортування, де розділяється по фракціям.

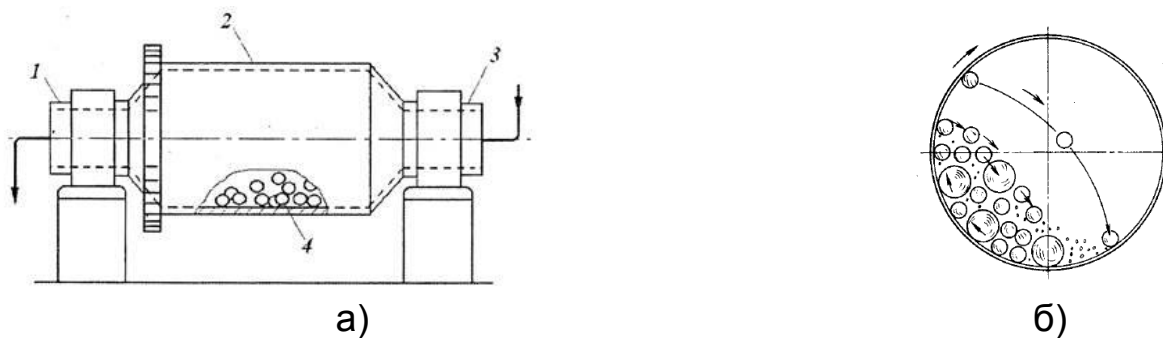


Рис. 170 - Схема барабанного млина (а): 1 – цапфа; 2 – барабан; 3 – завантажувальний пристрій; 4 – пристрій для вивантаження подрібненого матеріалу; (б): рух мелючих тіл у барабанному млині

Для розділення твердих відходів на фракції за розмірами використовують процеси грохочення (розсівання) частинок матеріалу, що переробляється, на просіюючих поверхнях під дією гравітаційно-інерційних і гравітаційно-відцентрових сил. Грохочення одна з головних операцій обробки корисних копалин, що має на меті поділ їх по крупності в сухому стані. Грохочення може мати:

- самостійний характер, у разі приготування готових продуктів, носить назву сортування;
- підготовчий характер (класифікація), коли матеріал підготовляється для проведення подальших технологічних операцій.

При грохоченні суміш частинок відходу розділяється на дві фракції: надрешітний продукт, що складається з частинок, розмір яких більше ніж розміри отворів сита, і підрешітний продукт, частинки якого пройшли через отвори сита. Грохочення застосовується для розділення корисних копалин за крупністю на просіюючих поверхнях з розмірами отворів від часток міліметра до кількох сотень міліметрів. При грохоченні за схемою “від крупного до дрібного” сита розташовують одне під одним. Верхнє сито має більші отвори, нижнє – дрібніші. Продукт, що пройшов через отвори даного грохоту, але залишився на наступному ситі, називають фракцією певного розміру.

Продукти класифікації з точно визначеним діапазоном розмірів зерен називаються класами. Крупність класів виражається у міліметрах і позначається числом зі знаком «+» або «-». Наприклад, + 50 мм (більше 50 мм); - 0,5 мм (менше 0,5 мм), або двома числовими показниками, що позначають максимальний і мінімальний розміри зерен у даному класі (наприклад, 100 - 10 мм).

Грохот - пристрій для механічного розділення сипких (грудкуватих) матеріалів за крупністю частинок шляхом їх просіювання через поверхню решітки чи сита з заданою шириною щілин або отворів (рис. 139). Грохоти

застосовують для сортування подріблених матеріалів - руди, вугілля, шлаків, щебеню тощо.

Грохоти поділяються:

- за принципом дії на нерухомі і рухомі;
- за формою решета на плоскі, барабанні і стрічкові;
- за родом просіючої поверхні – з колосниковими решітками, дротяними сітками, штампованими решетами з чарунками (отворами) різних форм і розмірів.

У гірничо-рудній промисловості для класифікації сухих матеріалів найпоширенішими є вібраційні грохоти - машини на пружинних опорах з однією або кількома прямокутними вібруючими поверхнями, що, що просівають встановленими у коробі (рис. 171). Виникнення вібрації забезпечується дебалансним віброзбудником, який кріпиться на коробі грохоту і приводяться в рух електродвигуном. За рахунок виникаючої вібрації відбувається переміщення руди уздовж просіюючих поверхонь та її просіювання.



Рисунок 171 - Вібраційний грохот

Для підвищення ефективності просівання рудних матеріалів, що містять глинисті і дрібнозернисті частки, застосовують «мокре» просівання з використанням додаткової подачі на сито великої кількості води.

13.4.Відновлення відходів металургійного виробництва

На відміну від багатьох країн, більш ніж 95% відходів, які утворюються та накопичуються в Україні, це промислові відходи, і їх найбільшу частину складають відходи чорної металургії. На окремих підприємствах цієї галузі їх утворюється до 80 видів, а в цілому обсяг технологічних відходів дорівнює

об'єму основного виробництва. Більша частина відходів містить шкідливі для навколишнього природного середовища та людини речовини.

Україна в довоєнний період займала провідне місце у світі з виробництва продукції чорної металургії. У 2019 році металургійними підприємствами України було вироблено 20,05 млн. т чавуну, 20,82 млн. т сталі, 18,16 млн. т прокату. При цьому при виплавці чавуну і сталі утворювалася значна кількість твердих відходів (шлаків, шламів тощо). На підприємствах з повним металургійним циклом переважають тверді відходи у вигляді пилю і шлаків. У тому випадку, коли застосовується мокре газоочищення, замість пилю одержують відходи у вигляді шламів. Відходи металургійного підприємства розподіляються наступним чином: 57...63 % шлаки; 4...6 % мінеральні відходи (лом вогнетривких матеріалів); 15...17 % металобрухт; 9...13 % пил, шлам, окалина; 2...4 % інші види. На підприємства чорної металургії припадає виділення в атмосферу близько 15 % всіх промислових викидів пилю, 8...10 % – викидів діоксиду сірки, 10...15 % – загального обсягу споживання води. Під дією факторів зовнішнього середовища, відбуваються хімічні реакції з виділенням сірководню в навколишнє середовище, а опади змивають небезпечні речовини в ґрунт і водойми.

Основну частину металургійних відходів складають шлаки, які є багатокомпонентними системами, утвореними з продуктів високотемпературної взаємодії руди, порожньої породи, флюсів, палива, продуктів окислення оброблюваних матеріалів, футеровки плавильних агрегатів та штучних мінералів. Шлак (нім. *Schlacke*) – це металургійний розплав, що покриває поверхню рідкого металу при металургійних процесах (плавці сировини, обробці розплавлених проміжних продуктів і рафінуванні металів), який після затвердіння стає кристалічною або склоподібною речовиною. Металургійні шлаки відносяться до IV класу небезпеки. Відвали металургійних шлаків, навіть за умови припинення виробництва, є значною екологічною проблемою. Займаючи значні території, доменні шлаки під впливом природних факторів у результаті гідратації, подальшого розпаду і запилювання, завдають непоправної шкоди навколишньому середовищу.

Розплавлений доменний шлак є побічним продуктом у процесі виробництва чавуну і утворюється в кількості до 500...700 кг на 1 т виплавленого чавуну. Теплота, що міститься в розплавленому доменному шлаку з температурою 1500 °С, досягає до 1600 МДж/т. У 2015 році у світі при виробництві чавуну було отримано близько 345,6 млн т доменного шлаку. Загальна енергія, яку містила така кількість розплавленого доменного шлаку, оцінювалася як еквівалент 1,8 млн т умовного вугілля. При виплавці сталі вихід шлаків на 1 т

є значно меншим: 200...300 кг при переробці в конверторах та до 100 кг при виплавці сталі в електропечах. Склад доменних шлаків залежить від якості вихідної сировини для виплавки чавуну, а також технологічними параметрами плавки.

З усіх видів металургійних шлаків у виробництві будівельних матеріалів найбільш широко застосовуються доменні шлаки, що обумовлено їх провідним положенням у загальному балансі шлаків, а також наближенням їх складу до складу цементних сумішей, здатністю при швидкому охолодженні набувати властивості гідравлічної активності. Головні компоненти доменного шлаку – кислотний оксид SiO_2 і основні оксиди CaO , FeO , MgO , а також амфотерні оксиди Al_2O_3 і ZnO . Оксиди, що входять до складу шлаків, утворюють такі мінерали як силікати, алюмосилікати, ферити тощо.

Ступінь гідравлічної активності шлаку характеризується модулями основності і активності. Модуль основності характеризує процентне відношення суми основних оксидів до суми кислотних оксидів, які входять до складу шлаку:

$$M_0 = (\% \text{CaO} + \% \text{MgO}) / (\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3).$$

Залежно від модуля основності розрізняють основні шлаки, у яких $M_0 \geq 1$ і кислі, мають $M_0 < 1$.

Модуль активності шлаку характеризує процентне відношення кількості глинозему у шлаку до вмісту кремнезему: $M_a = \% \text{Al}_2\text{O}_3 / \% \text{SiO}_2$.

Гідравлічна активність шлаків зростає зі збільшенням значень обох модулів, при цьому чим вищим є модуль активності, тим швидше відбувається твердіння розчину на основі шлакового цементу.

Властивості доменних шлаків у значній мірі залежать від їх структури, яка визначається швидкістю охолодження при затвердінні. При повільному охолодженні шлак кристалізується у вигляді стійких мінералів, які не володіють в'язучими властивостями. При повільному охолодженні шлаків поряд з утворенням мінералів можуть відбуватися і їх поліморфні перетворення, що призводить до розпаду та мимовільного перетворення шматків шлаку на порошок. При швидкому охолодженні кристалізація шлаків не встигає завершитися і шлаки набувають переважно склоподібну (аморфну) будову. Необхідної склоподібної будови гранули шлаку можуть досягти лише при швидкому охолодженні нижче температури перетворення (приблизно 900°C). При склоподібній будові складові шлаку знаходяться у нестійкому неурівноваженому стані, а їх активність є значно вищою, ніж у шлаків з кристалічною будовою. Для підвищення активності шлаків, що застосовуються у якості сировини для виготовлення цементу, рідкі шлаки обов'язково повинні підлягати прискореному охолодженню.

Доменний шлак, який після зливання з доменної печі повільно охолоджується на відкритому повітрі, є сировиною для виробництва шлакового щебеня. За такої технології рідкі шлаки з температурою до 1400°C зливаються з шлаковоза в траншею шарами товщиною 250 - 500 мм (рис. 172). Через 2 - 3 години шлак повністю кристалізується на відкритому повітрі, потім його прискорено охолоджують при поливанні водою, що призводить до утворення в масиві сітки тріщин. Наступну партію шлаку зливають в цю траншею після випаровування вологи з поверхневого шару. Загальна висота злитого у траншею шлакового матеріалу досягає 2 м. Шлакові масиви розробляють екскаваторами з подальшим дробленням і грохоченням. При подрібненні повільно охолодженого доменного шлаку утворюється до 15...20% шлакового піску. Доменні шлаки характеризуються великою пористістю, морозостійкістю та стійкістю до стирання. Питома густина застиглого шлаку складає $2700\ldots3000\text{ кг/м}^3$, а насипна щільність $1300\ldots1500\text{ кг/м}^3$. Утворений шлаковий щебінь, після розділення по фракціям, реалізують споживачам.



Рисунок 172 - Зливання рідкого шлаку з шлаковозів у траншею

Щебінь з відвальних доменних шлаків розміром до 250 мм - розповсюджений будівельний матеріал, що використовується для виконання різних видів покриттів, основ і підстилаючих шарів дорожніх одягів (рис.173). Особливо економічно вигідним є застосування щебеню з доменного шлаку, в районах, де розташовані металургійні комбінати. При плановому проведенні ремонту до 3 тис. км доріг на рік, використання доменних шлаків в дорожньому

будівництві може складати до 5 млн т. Кабінет Міністрів України у 2019 році видав директивне розпорядження щодо активізації застосування металургійних шлаків у будівництві автомобільних доріг.



Рисунок 173 - Доменний шлак після повільного охолодження на повітрі

При зливанні з доменної печі у потоці рідкого шлаку залишаються зважені частки рідкого чавуну, які разом з затверділим шлаком втрачаються у вигляді корольків - дрібних застиглих крапель металу (рис.174). Втрати металу в корольках у шлакових включеннях складають 0,3...1,2% від маси виплавленого чавуну. Зменшенню цих втрат частково сприяє зниження в'язкості рідкого шлаку. Однак, в основному, зменшення втрат металу технологічною схемою досягається при відборі корольків шляхом проведення дроблення, просіювання і магнітної сепарації охолодженого шлаку. Відібраний при магнітній сепарації метал утилізується як добавка до шихти при виплавці сталі.



Рисунок 174 - Корольки чавуну у доменному шлаку



Рисунок 175 - Ділянка подрібнення відвальних доменних шлаків на щебінь

Відвальні шлаки сконцентровані у певних регіонах країни. Тому їх негативний вплив на довкілля і здоров'я населення є локальним і стосується передусім мешканців осередків металургійної промисловості, таких як Донецька, Запорізька, Дніпропетровська та Луганська області. Таке розташування призводить до логістичних труднощів при утилізації шлаків. Логістичні витрати становлять близько 80-90% від ціни кінцевого покупця, в той час як сам шлак має мінімальну вартість.

Швидке охолодження рідкого шлаку водою дозволяє за рахунок вибухового розтріскування одержувати гранульований шлак - дрібнозернистий сипучий матеріал у вигляді склоподібних гранул із середнім розміром 2...8 мм. При цьому забезпечується вирішення наступних задач:

- виключається енергозатратна стадія механічного подрібнення шлаків;
- утворюються шлаки з скловидною (аморфною) будовою.

Для виготовлення гранульованих шлаків використовують методи мокрої, напівсухої і сухої грануляції. Способи грануляції дозволяють при порівняно невеликих капітальних витратах забезпечити швидку переробку значних кількостей шлаків. З доменної печі періодично випускається рідкий шлак, який по шлаковому жолобу спрямовується до чаші шлаковозу і транспортується до установки грануляції шлаку. Шлаковий розплав при різкому охолодженні водою піддається грануляції, внаслідок чого шлак набуває склоподібної структури. При грануляції в басейнах кількість склоподібної фази у шлаку знаходиться в межах 40...95%. Грануляція заснована на властивості розбризкування розплавленого шлаку при зіткненні з водою за рахунок

мікрОВибухів та розтріскування гарЯчих шлакових шматків під дією термічних напружень з утворенням гранул (рис.176).

Поширеним простим способом є мокра грануляція шлаку в басейнах (рис. 194). При басейновому способі грануляції розплавлений шлак з температурою 1300...1400⁰С з чаші шлаковозу зливають по похилому жолобу у заповнений водою басейн об'ємом до 800 м³. Витрата води при мокрому способі грануляції становить до 3 м³/т. З однієї сторони біля басейну проходить залізнична колія для шлаковозів, а з іншого - колія для залізничних вагонів, в які завантажують утворений гранульований шлак. Вивантаження гранульованого шлаку з басейну здійснюється грейферним краном на майданчик для вилежування і зневоднення.

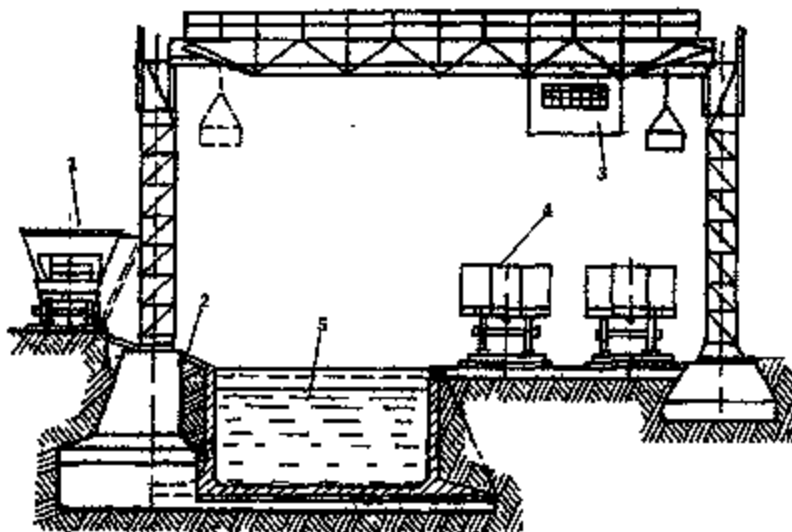


Рисунок 176 - Схема басейнової установки для грануляції шлаку: 1- чаша шлаковоза; 2-ухил для стікання шлаку; 3-грейферний кран; 4-залізничний вагон; 5-басейн з водою

Волога, яка міститься у гранульованому за басейновим способом шлаку у кількості 25...30%, є баластом, при зберіганні і транспортуванні у зимовий час ускладнює і здорожує завантаження і вивантаження, оскільки веде до змерзання маси. Для проведення сушіння шлакового продукту перед розмелюванням необхідні додаткові витрати тепла - до 80 кг умовного палива на 1 т сухого гранульованого шлаку. При використанні технології басейнової грануляції повністю втрачається значна кількість теплової енергії, в атмосферу виділяється сірководень, утворюється значна кількість водяного пару з охолоджувальної води, що призводить до погіршення санітарно – гігієнічних умов праці.

Басейновий спосіб грануляції шлаку характеризується високою продуктивністю, низькою капіталоємністю і обслуговується невеликим числом працівників. Загально визнано, що технологія басейнової грануляції доменного шлаку не відповідає вимогам сталого розвитку в умовах циркулярної економіки.

Більш прогресивним є гідрожолобний спосіб грануляції (напівсуха грануляція), який полягає в застосуванні для дроблення шлакового розплаву обмеженої кількості води, що подається під високим тиском на жолоб, через який зливається розплав з чаші шлаковоза. На торці гідравлічного жолобу змонтовано гідронасадку, яка має ряд отворів. Вода, що подається в гідронасадку під тиском 0,4...0,8 МПа у кількості 0,7...1,5 м³ на 1 т шлаку, підхоплює стікаючий по гідравлічному жолобу рідкий шлак, дробить його на краплі, охолоджує і відкидає до приймальної площадки складу на відстань від 5 до 25 м. У польоті частинки шлаку продовжують інтенсивно охолоджуватися повітрям і водою. Технологічна схема грануляції шлаку на гідрожолобних установках (рис.177) включає наступне поєднання вузлів:

- шлакоприймальну ванну;
- буферну ємність, що примикає до сталевого гідравлічного жолоба довжиною 9...10 м, який встановлено з підйомом під кутом 3°.

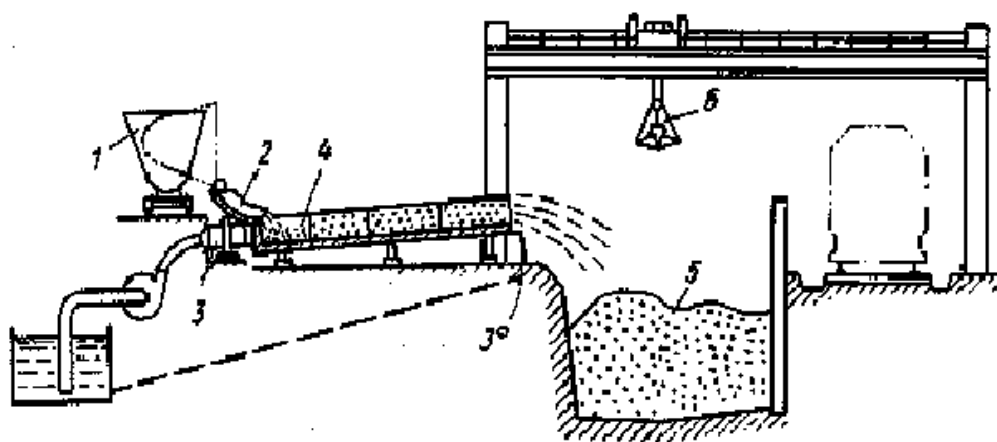


Рисунок 177 - Схема установки гідрожолобної грануляції доменного шлаку: 1 – шлаковозна чаша; 2 - шлакоприймальна ванна; 3 - гідронасадка; 4 – гідравлічний жолоб; 5 - гранульований шлак, 6- грейферний кран

При відвантаженні шлаків з шлакоприймальної ванни грейферним краном відбувається додаткове зневоднення гранульованої продукції. Вода, що стікає з грейферного захвату, повертається до системи оборотного водопостачання, яка складається з приймального резервуара, відстійників і насосної станції. На виході отримують гранульований шлак з вологістю до 10%.

Способи грануляції шлаку, які пов'язані з подрібненням при взаємодії з водою, вимагають його подальшого зневоднення. Рівень вологості гранулированого шлаку – одна з найважливіших його характеристик. Вода є баластом при транспортуванні шлаку і вимагає витрати дефіцитного палива на її випаровування перед перемелюванням при виробництві шлакопортландцементу.



Рисунок 178 - Гранульований доменний шлак

Останніми роками розширюється використання технології сухої грануляції шлаку, яка поєднує гранулювання сухого шлаку з можливістю рекуперації відпрацьованого тепла. В основу технології закладено метод відцентрового гранулювання, для якого є характерним простота та компактність установки, легкість керування, низькі витрати енергії та води. Розплавлений шлак розпилюється за допомогою обертового диска на дрібні краплі (< 2 мм). Шлак подається в центр диску з ківша через вертикальну вогнетривку футеровану трубу. При обертанні диску рідкий шлак відкидається назовні до краю чашки, де він розпилюється (рис.179). Каплі шлаку контактують із потоком повітря та швидко охолоджуються перед тим, як зіткнутися з металевою поверхнею гранулятора, відбиваються назад від цієї поверхні та переміщуються до реактора з киплячим шаром, де відбувається подальше їх охолодження до 100°C за рахунок передачі тепла повітрю. Рекуперована теплова енергія передається розігрітим повітрям в котел-утилізатор для підігріву води та виробництва пару.



Рисунок 179 - Розпилення шлаку при сухому центробіжному способі гранулювання

У 2018 році Україна займала 25-е місце у світі з експорту шлаків. Зовнішню торгівлю України шлаками було зосереджено на азіатському ринку.

Для реалізації підприємства чорної металургії пропонують наступні вторинні матеріали: гранульований шлак - 55%, шлаковий щебінь - 35%, шлакову пемзу - 6%, оборотні продукти металургійного виробництва - 4%.

На відміну від багатьох видів промислових відходів, обсяг утилізації доменних шлаків у світовій практиці досягає 100%. У 1995 р було прийнято рішення Європейського співтовариства про виключення металургійних шлаків з Європейського каталогу відходів і переведення їх у розряд побічних продуктів виробництва. З 25 млн т доменних шлаків, що утворилися у 2000 році в європейських країнах, майже 100% було використано у якості вторинних матеріалів. Використання відходів чорної металургії у якості вторинних матеріальних ресурсів дозволяє вирішувати ряд важливих задач з економії сировини, запобігати забрудненню водойм, ґрунту і повітряного басейну, здешевлювати будівництво доріг. Одним з перспективних напрямків відновлення шлакових матеріалів вважають будівництво доріг. У гірничодобувній галузі металургійний шлак використовується для засипки виробленого шахтного простору.

Рівень цін на гранульований доменний шлак – 130...150 грн/т, що визначає економічну доцільність їх використання. Подрібнений доменний відвальний шлак коштує значно дешевше – 50...80 грн/т (залежно від фракції). Для довідки – ціна добутого у кар'єрах гранітного щебня знаходяться у межах від 150 до 250 грн/т.

В довоєнний час в Україні щороку утворювалося 11-12 млн тонн металургійних шлаків. У 2018 року металургійні підприємства України передали для використання в будівельній індустрії лише 45,9% шлаків - 4,9 млн т. У 2018 році Україна займала 25-е місце у світі з експорту металургійних шлаків. Зовнішню торгівлю України шлаками було зосереджено на азіатському ринку.

На металургійних підприємствах України накопичено 240 млн. т шлаків, 128 млн. т з яких є сталеплавильні. Під складування металургійних шлаків зайнято площі понад 16 тис. га, а наповненість існуючих сховищ обумовлює необхідність постійного відведення нових територій. При складуванні у відвалах шлаки є джерелом забруднення атмосфери, гідросфери і ґрунтів та наносять значну шкоду здоров'ю людей. Нерідко місцем складування відходів металургії стають ділянки з родючими ґрунтами.

Традиційне виробництво цементного клінкеру з вапняку, піску, глини та інших компонентів вимагає проведення високотемпературного процесу відпалювання при температурі близько 1450°C. Проведення такої обробки вимагає значного споживання теплової енергії та утворення високих питомих викидів CO₂ (приблизно 1 т CO₂ на 1 тону утвореного клінкеру).

Цементна промисловість використовує гранульований доменний шлак як активну мінеральну добавку при виробництві шлакопортландцементу. Грануляція доменних шлаків фіксує склоподібний стан шлакових гранул, що підвищує активність гідравлічних властивостей, які роблять шлак придатним для використання у вигляді добавки в портландцементному виробництві. Молоті гранульовані доменні шлаки характеризуються гідравлічною активністю - здатністю взаємодіяти у розмеленому стані з водою і затвердівати, перетворюючись в міцний камінь. Шлаковий порошок, який одержують у результаті тонкого помолу сухого гранульованого шлаку, є основним компонентом при виробництві шлакових цементів. Відповідно до європейського стандарту BS EN 15167-1: 2006, основними критеріями оцінки якості гранульованого шлаку є фактичний вміст склоаморфної фази, який має становити не менше 66,6 %, і питома поверхня 3750–4500 см²/г, отримана після помелу. Для досягнення цього показника гранульований шлак піддають механічному помелу до фракції 0–75 мкм. Внаслідок протікання реакції між цементом і водою утворюється цементний камінь, що скріплює зерна наповнювачів у єдиний моноліт.

Шлакопортландцемент отримують шляхом спільного тонкого помолу клінкеру (спеченої суміші вапняку і глини), доменного гранульованого шлаку і гіпсу (CaSO₄ · 2H₂O). Активні речовини, що містяться в шлаку, покращують технічні властивості цементу, підвищують міцність виготовлених будівельних

конструкцій. Європейськими нормами дозволяється вводити до складу портландцементу 35% доменного гранульованого шлаку, а в шлакопортландцемент – до 80%.

Шлакопортландцемент за своїми фізико-механічними властивостями (повітряній стійкості, морозостійкості, об'ємній деформації, тепловиділенню при затвердінні, стійкості в прісних і сульфатних водах та жаростійкості) рівноцінний клінкерному портландцементу. Виробництво його є більш економічно вигідним, ніж виробництво портландцементу, за рахунок використання меншої кількості дорогого енергоємного клінкеру. Часткова заміна клінкера порошком подрібненого доменного шлаку забезпечує помітне зменшення негативного екологічного впливу цементного виробництва на навколишнє середовище. Заміна цементного клінкеру доменним гранульованим шлаком є привабливою економічною альтернативою для цементної промисловості, оскільки досягається значне скорочення витрат на енергоносії. При використанні добавок доменних шлаків у складі цементу паливно-енергетичні витрати на одиницю продукції знижуються майже у 2 рази, а собівартість - на 25...40%. Однак, при використанні гранульованих доменних шлаків при виробництві в'язучих речовин виникають додаткові енерговитрати від 25 до 90 кВт·год на 1т, які пов'язані з операціями розмелювання шлаків. Шлакопортландцемент у залежності від вмісту шлаку використовують як звичайний цемент чи як стійкий до дії агресивних вод, його собівартість знижується на 25-30 %, у порівнянні з портландцементом.

Шлаколуужні цементи - це гідравлічні в'язучі речовини, які одержують при спільному перемелюванні доменних гранульованих шлаків до отримання питомої поверхні частинок шлаку 4000...4500 см²/г і лужних компонентів - кальцинованої або каустичної соди та рідкого скла. У якості лужних компонентів зазвичай використовують відходи їх виробництва. Оптимальний вміст лужних сполук у в'язучій речовині, у перерахунку на Na₂O, становить 2...5% від маси шлаку. Шлаколуужні цементи мають високу міцність, водостійкість, водонепроникність, корозійну стійкість, біо- і термостійкість. Бетони з таких цементів стійкі до дії нафтопродуктів і слабких розчинів органічних кислот. Вони здатні тверднути при низьких температурах. Шлаколуужні цементи використовують у будівництві, а також для знешкодження радіоактивних та токсичних відходів, що містять важкі метали (шлами гальванічного виробництва, шлами водоочищення, золошлакові відходи термічного термічної переробки сміття).

На теперішній час українські цементні заводи додають близько 24% доменних шлаків у свою продукцію. Основними споживачами металургійних шлаків в Україні є виробники цементу: компанії CRH («Подільський цемент» у

Кам'янці-Подільському, «Цемент» у Одесі, «Миколаївцемент» у м. Миколаїв Львівської області), «Дікергофф Цемент Україна» (заводи «Волинь-Цемент» у м. Здолбунів Рівненської області та «Югцемент» у смт. Ольшанське Миколаївської області), «ГайдельбергЦемент Україна» (заводи у с. Кривий Ріг і Кам'янське Дніпропетровської області), Івано-Франківськцемент та ін. Гранульовані доменні шлаки використовують як добавки до сировини при виробництві портландцементу замість глини чи як активні добавки до портландцементного клінкера.

На відміну від доменних, сталеплавильні шлаки важче піддаються грануляції, оскільки мають вузький інтервал переходу з рідкого в твердий стан і містять метал, який, армуючи шлак, ускладнює його дроблення. За складом і властивостями сталеплавильні шлаки змінюються не лише в залежності від марки сталі, що виплавляється, але і в межах однієї плавки. Хімічний та мінералогічний склад, структура та властивості первинних та кінцевих шлаків різко відрізняються. Все це суттєво ускладнює їхню переробку. Переробка сталеплавильних шлаків зводиться переважно до грубого дроблення з метою вилучення їх металу. Найбільш відпрацьованим та поширеним способом переробки є механічне подрібнення, що полягає в дробленні та помелі матеріалу з наступною класифікацією та відбором металу в процесі магнітної сепарації. Грубе дроблення і подрібнення в кульових млинах сталеплавильних шлаків вимагає великих енергетичних витрат.

У порівнянні з доменними шлаками сталеплавильні шлаки характеризуються більш високим вмістом оксидів заліза (до 20%) і марганцю (до 10%). Сталеплавильний шлак частково може бути використано у грубоподрібненому стані у якості флюсових добавок при доменному виробництві чавуну завдяки тому, що до його складу входить до 5% оксиду кальцію. У доменну піч певну кількість сталеплавильного шлаку можуть завантажувати безпосередньо з шихтою або після подрібнення у вигляді добавки до агломерату. Використання 1 кг конверторних шлаків при виробництві 1 т чавуну дає можливість заощадити до 0,35 кг залізорудної сировини, 0,43 кг сирого вапняку, 0,104 кг коксу. Шлаки від виробництва марганцевих феросплавів доцільно застосовувати при плавці чавуну, що дозволяє економити на добавках феросплавів.

За кордоном сталеплавильні шлаки застосовуються в трьох основних напрямках: в сільському господарстві - для вапнування ґрунтів, в дорожньому будівництві - в будівництві доріг, а також в якості залізовмісного матеріалу для вторинної переплавки в доменних печах.

У рослинництві шлак застосовують як добрива, додаючи ґрунтам необхідних мікроелементів, що допомагає збільшити врожайність та знизити

кислотність ґрунту. Шлаки можна використовувати у сільському господарстві як розкислювач ґрунтів замість вапняку. Така практика вже тривалий час застосовується у країнах Європейського Союзу. В Україні також є позитивний досвід застосування шлаків металургійного комбінату «Азовсталь», які вміщують 10...12% P_2O_5 , у якості фосфорного добрива типу суперфосфату.

При виробництві феросплавів утворюються шлаки, що містять до 15-20 % металевих включень. Феросплавні шлаки переробляють на щебінь, пісок, використовують при виплавці сталі, феросплавів, у цементній промисловості, виробництві будівельних матеріалів.

З розплавлених металургійних шлаків відливають камені для мощення доріг і підлог промислових будівель, бордюрний камінь, антитикорозійні плитки, труби й інші вироби. За такою технологією рідкий шлак із доменних печей шлаковозами доставляють до ливарних цехів і розливають в металеві або цементні ливарні форми.

Аналіз залізовмісних відходів у технологічному ланцюгу «видобуток руди - збагачення руди - агломерація руди - виробництво чавуну - виробництво сталі - отримання прокату» свідчить, що на кожному наступному етапі виробництва металевої продукції масова частка заліза у металургійних відходах підвищується. На останньому етапі виробничого циклу в процесі гарячої прокатки сталей утворюється прокатна окалина - дрібнодисперсний промаслений шлам з розміром часток 0,05...0,3 мм та вмістом 60...72% заліза. На 1 т виробленого прокату утворюється 11,6...19,4 кг стальної окалини. Таким чином, в утворених техногенних залізовмісних відходах масова частка заліза перевищує її концентрацію в концентраті, що отримують на збагачувальних фабриках (65...68%). Окалина використовується, в основному, як складова шихти агломераційних фабрик металургійних комбінатів. Агломерація (від лат. *Agglomerare* - нагромаджую) - метод термічного окусковання пилоподібних руд, концентратів і металовмісних відходів шляхом їх спікання. В результаті проведення агломерації агломераційних машин одержують агломерат - продукт спікання шихти, що містить здрібнений рудний матеріал, пилоподібні відходи, вапняк і кокс. Спікання відбувається за рахунок горіння коксу при продуванні повітря крізь шар шихти.

При роботі основного устаткування підприємств металургійної промисловості - доменних і сталеплавильних печей, утворюється велика кількість тонкодисперсного пилу, що складається з оксидів різних елементів. Тонкодисперсний залізовмісний пил збирається у фільтрах при очищенні газів доменного, агломераційного і сталеплавильного виробництв і направляється на подальшу переробку, в основному, як оборотний компонент шихти у агломераційному виробництві.

Ряд відходів хімічної промисловості, відпрацьовані або заборонені до використання матеріали медицини, засоби хімічного захисту рослин мають високу токсичність. Для їх видалення зазвичай пропонуються складні спеціалізовані технологічні процеси і агрегати, що пов'язано з великими витратами. Крім того, видалення не повинно призводити до утворення вторинних продуктів, часом ще більш токсичних. Металургійні агрегати, робота яких поєднує високі температури і наявність окислювально-відновних умов, дають резервні можливості для знищення різних токсичних відходів. Окислювальний характер в зоні дуття і температура до 2000°C створюють оптимальні умови для безпечної утилізації токсичних і діоксинонебезпечних матеріалів при їх подачі у фурменну зону доменних печей. В Японії і Німеччині отримано позитивні результати при вдуванні у доменні печі твердих гранульованих або подрібнених відходів хлорвмістних пластмас. При цьому одночасно зі знищенням органічних відходів, відбувається утилізація теплової енергії, що виділяється при їх згоранні.

У будівництві застосовуються різні типи бетонів з наповнювачами на основі металургійних шлаків. Для важких бетонів (питома густина 2600...1800 кг/м³) в якості заповнювачів використовують відвальний щебінь та гранульований доменний шлак. При виробництві легких шлакових бетонів питомою густиною менше 1800 кг/м³ в якості наповнювачів використовують щебінь на основі шлакової пемзи. За собівартістю шлакова пемза - найдешевший штучний пористий заповнювач. Способи виробництва шлакової пемзи засновані на спученні шлакового розплаву з обмеженою кількістю води. При контакті шлакового розплаву у певних пропорціях з водою відбувається кипіння води з утворенням пару. Бульбашки пару, проникаючи в розплавлений шлак, охолоджують його та втрачають можливість виділитися назовні. В результаті в'язка шлакова маса спучується і застигає у вигляді матеріалу з пористою структурою. Шлаковий розплав виливається з шлаковозних чаш у басейн, що представляє собою металеву ванну з перфорованим дном. Знизу через отвори у дні басейну подаються фонтануючі струмені води, на які виливають шлаковий розплав. Місткість басейну дозволяє злити весь розплав з шлаковозного ківша (до 16 м³). В'язкий шлак спучується і впродовж 1,5...2 хв твердне, остигає в вигляді брил, піддається дробленню і розсіву на фракції. Отримана шлакова пемза має однорідну дрібнопористу структуру (рис.180). Технологічний цикл виробництва шлакової пемзи становить 15... 20 хв. Основний вплив на рівень пористості при цьому мають хімічний склад шлаків і наявність в них розчинених газів, в'язкість і поверхневий натяг шлакових розплавів.

Шлакову пемзу застосовують як теплоізоляційний матеріал та заповнювач

в легких бетонах, як абразивний матеріал для шліфування дерева, металу, а також для полірування кам'яних виробів.

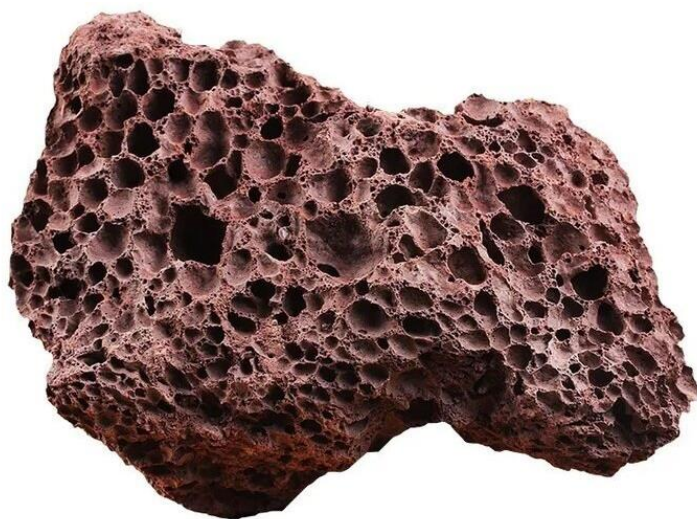


Рисунок 180 - Шлакова пемза

Найбільш ефективним напрямом використання сталеплавильних шлаків є переробка їх на щебінь для дорожнього будівництва. Такий шлаковий щебінь вдвічі дешевший за природний, а капітальні вкладення в організацію виробництва його на базі шлакових відвалів утричі менше, ніж у будівництво кар'єру зі щебневим заводом такої ж потужності. Крім того, в багатьох економічних районах відсутні родовища каменю для виробництва щебню, і дорожні організації транспортують його на відстань 1000 км і більше.

Щебеневі матеріали з металургійних шлаків доцільно використовувати як для влаштування підстилаючих шарів на дорогах всіх категорій, так і для влаштування покриття на автомобільних дорогах IV-V категорії. Тестування дослідної ділянки бетонної дороги, яке проводила спеціальна лабораторія компанії "Хайдельберг Бетон Україна" показало, що бетон, виготовлений з використанням шлакових відходів металургійного виробництва не поступається за показниками міцності класичному бетону на основі гранітного щебня і піску. Експериментальна ділянка дороги була облаштована за принципом шаруватого пирога. Підстилаючий нижній шар - з доменного шлаку крупної фракції, верхній – з дрібної (рис.199). Всі шари були утрамбовані і покриті гідроізоляцією - спеціальною плівкою. Над подушкою встановлювали каркас зі сталюї арматури, який заливався бетоном. Бетон для проведення практичної перевірки використовували трьох видів - класичний на основі гранітного щебню і піску і спеціальні, виготовлені на основі відвального доменного і сталеплавильного шлаків. Ділянки дороги було розділено на три зони, кожна з яких заливали певним видом бетону, щоб провести об'єктивну

оцінку впливу на стійкість покриття перепадів температур і навантаження великовагового автотранспорту (рис.181). Лабораторні випробування проведені відповідно до державного стандарту ДСТУ Б В.2.7-220:2009 "Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю" показали, що бетони на основі шлаків не поступаються класичним.

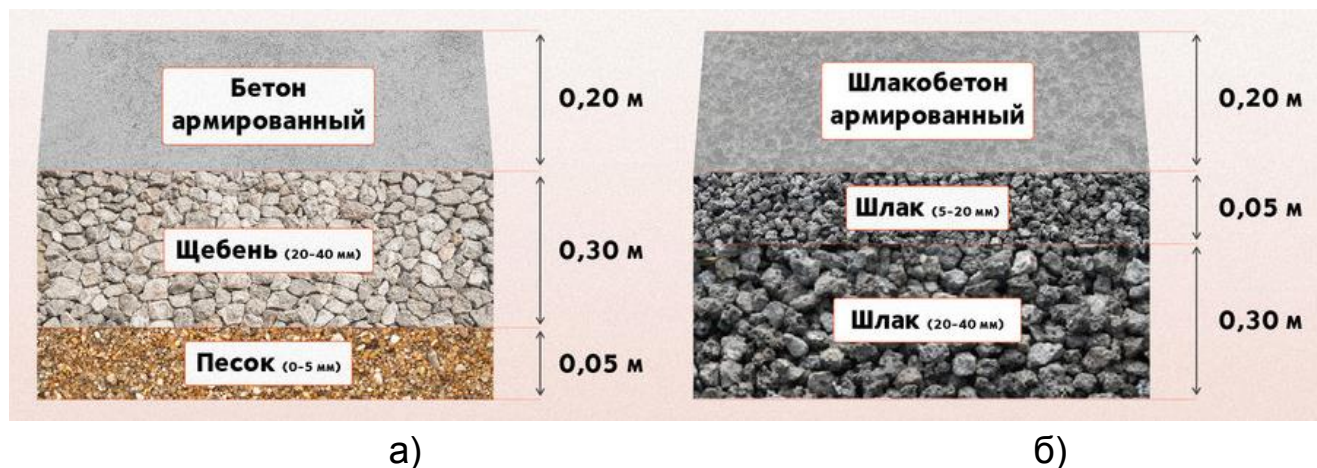


Рисунок 181 - Використання відвальних шлаків замість кам'яного щебня в основі дорожнього покриття: а) класичний варіант; б) покриття на основі металургійних шлаків.

На сьогодні в Україні напрацьована база нормативно-технічних документів, що враховує як вітчизняний, так і європейський досвід в питанні використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві. Ці норми регламентують вимоги до технологічних процесів і складових дорожнього бетону, головним з яких є застосування шлакопортландцементу, а також безпосередньо металургійних шлаків. Використання металургійних відходів у дорожньому будівництві дозволяє суттєво зменшити забруднення навколишнього середовища та отримувати значний соціальний ефект.

Перероблені металургійні шлаки використовувалися у будівництві трас Маріуполь–Запоріжжя, Запоріжжя–Дніпро, Дніпро–Кривий Ріг та автодорога Дніпро–Царичанка–Кобеляки–Решетилівка.

З розплавлених металургійних шлаків відливають камені для брукування доріг і підлог промислових будинків, бордюрний камінь, протикорозійні плитки, труби й інші вироби. По зносостійкості, жаростійкості і ряду інших властивостей шлакове лиття перевершує вироби з залізобетону і сталі.

У Японії з металургійних шлаків створюють штучні острови для максимального видалення відходів та створення додаткових ділянок суходолу.

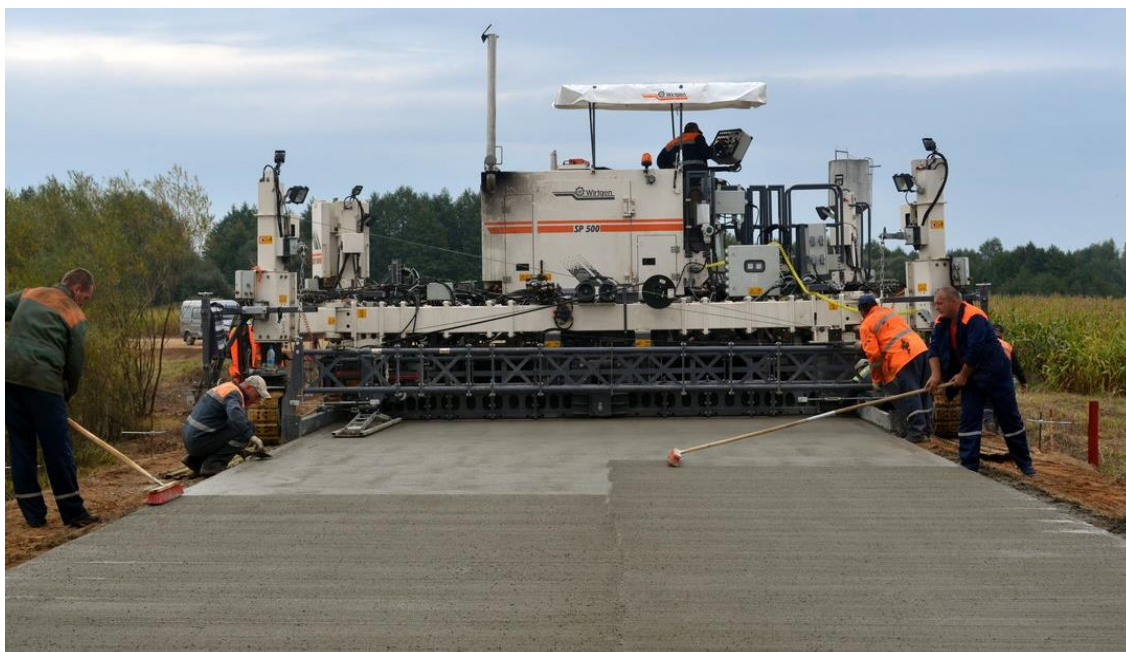


Рисунок 182 - Будівництво бетонної автомобільної дороги з використанням металургійних шлаків

Вихід шлаків кольорової металургії на одиницю виплавленого металу значно більший у порівнянні з чорною металургією, наприклад – на 1 т виплавленого нікелю утворюється до 150 т шлаку. Ці шлаки містять до 60 % оксидів заліза, кремнію, алюмінію, кальцію, магнію, а також значну кількість таких дефіцитних компонентів, як мідь, кобальт, цинк, свинець, кадмій, рідкоземельні метали. Перспективним напрямком їх використання є комплексна переробка, що включає попереднє вилучення кольорових і рідких металів, заліза з наступним використанням силікатного залишку для виробництва будівельних матеріалів аналогічно шлакам чорної металургії.

13.5. Відновлення та видалення відходів вугледобування

Економіка України в довоєнний період щорічно споживала до 100 млн. т вугілля, з яких майже 80 млн т видобувалося підприємствами Донецького, Дніпровського і Львівсько-Волинського вугільних басейнів. Внаслідок вироблення найбільш якісних родовищ, погіршення гірничо-геологічних умов видобутку та застосування застарілих технологій, якісні характеристики вугілля, що добувалося в останні роки, за зольністю, гранулометричним складом, вологістю і вмістом сірки мають тенденції до погіршення.

Вимоги щодо підвищення якості палива визначають економічну ефективність використання вугілля, обумовлюють ріст обсягів збагачення та сортування. Зокрема, коксохімічне виробництво потребує проведення технологічних операцій по зниженню зольності вугільного концентрату і вмісту

сірки, підтримки оптимального марочного складу коксової шихти з підвищенням частки пісного вугілля, що придатне для спікання, запаси якого в Україні обмежені. Основною метою збагачення вугілля є видалення мінеральних домішок (порожньої породи), що потрапляють при видобутку з покрівлі пласта, а також з мінеральних прошарків.

У сучасних умовах поширення набули наступні технології збагачення видобутого вугілля: важкосередовищна сепарація, гвинтова сепарація, флотація. Технологічні схеми різних вуглезбагачувальних фабрик значно відрізняються, що у першу чергу обумовлюється характеристикою збагачуваного вугілля і вимогами до якості і асортименту товарних продуктів збагачення. Схеми збагачення вугілля і технологічні процеси, що їх реалізують, вибираються у залежності від наступних факторів: призначення вугілля, його мінералогічного, гранулометричного і фракційного складу, вологості, зольності, необхідної глибини збагачення. Збагачення вугілля крупністю більше 0,5 мм переважно проводиться з використанням гравітаційних процесів, крупністю менше 0,5 мм – методом флотації. Обладнання, яке найчастіше використовується на таких підприємствах, призначене для відділення вугілля від мінеральних складових і включає методи, які використовують різницю в питомій вазі між вугіллям і пустою породою.

Відповідно до типових технологічних схем збагачення добуто вугілля після подрібнення піддають гідравлічній класифікації по крупності, потім збагачують методом гравітації, розділюючи на концентрат, промисловий продукт (проміжний продукт збагачення вугілля, що за вмістом корисного компонента потребує подальшої переробки у технологічній схемі) і порожню породу (відходи гравітаційного збагачення вугілля). Утворений шлам з розміром зерен менше 1 мм направляють на флотацію.

За технологічним призначенням процеси переробки вугілля на збагачувальних фабриках поділяються на:

- 1) підготовчі процеси, призначені для розкриття компонентів гірничої маси, розділення її на машинні класи, попереднє знешламлення тощо. До підготовчих операцій в схемах переробки вугілля відносять операції дроблення і грохочення. Шматки промпродукту містять суміш зростків з розкритими зернами вугілля та пустої породи, яка перед збагаченням підлягає додатковому подрібненню. Дроблення застосовується для підготовки вугілля до послідуного збагачення, а також при приготуванні шихти заданої фракції для виробництва коксу. Збільшення вмісту дрібних і тонких класів в рядовому вугіллі сприяє значному утворенню шламових продуктів. Це обумовлює

необхідність проведення знешламлення вугілля перед процесами гравітаційного збагачення і класифікації шламів перед флотацією.

2) основні (збагачувальні) процеси, призначені для розділення вихідного продукту на концентрат, відходи та промпродукт. Процеси збагачування базуються на відмінностях у фізичних і фізико-хімічних властивостях частинок вугілля і порожньої породи. Так, порожня порода має значно вищу питому густину ($2,4...2,5 \text{ т/м}^3$) у порівнянні з густиною шматків збагаченого вугілля ($1,35...1,5 \text{ т/м}^3$).

Гравітаційні процеси збагачення вугілля основані на наявності різниці у густині, крупності і формі вугільних і породних частинок, що приводить до різної швидкості їх руху у середовищі (воді, повітрі, суспензії). На вуглезбагачувальних фабриках застосовують наступні гравітаційні процеси: збагачення у важких суспензіях, відсадку, гвинтову і протитечію сепарацію. Гравітаційні процеси використовують для збагачення вугілля в широкому діапазоні крупності від 0,2 мм (гвинтові сепаратори, важко-середовищні гідроциклони), до 200–300 мм (важкосередовищні сепаратори).

3) допоміжні (заклучні) процеси, які застосовують для згущення, зневоднення, знешламлювання, знепилення вугілля, а також для регенерації оборотних вод. Зневоднення продуктів мокрого збагачення вугілля крупністю більше 13 мм проводиться на грохотах, елеваторах з перфорованими ковшами, а також у дренажних бункерах. Для зневоднення дрібних класів вугілля застосовують центрифугування, а у зимовий період додатково застосовують проведення термічної сушки.

Знепилення – процес відділення з вугілля частинок пилу розміром менше 0,5 мм. Знепилення здійснюється двома способами: мокрим – на грохотах і у гідроциклонах; сухим – на грохотах і в повітряних класифікаторах різних конструкцій.

Важкосередовищна сепарація використовується для збагачення вугілля при високому вмісті фракцій пустої породи. Для цього найчастіше використовують суспензії мінеральних порошків - середовища з високою питомою густиною (магнетиту, феросиліцію тощо). Важкосередовищну сепарацію застосовують для збагачення при розмірі шматків 6...300 мм. При важкосередовищній сепарації вихідний вуглевмістний матеріал надходить по жолобу у напівциліндричну ванну колісного сепаратора. Через нижній патрубок у ванну подається магнетитова суспензія густиною від 1400 до 2200 кг/м^3 , яка розділяється на транспортний (горизонтальний) і висхідний (вертикальний) потоки. У ванні сепаратора вугілля розділяється в суспензії на легку фракцію (концентрат) і важку фракцію (порожня порода). Переміщення легкого продукту вздовж ванни здійснюється транспортним потоком суспензії, а

вивантажування його з ванни проводиться гребковим механізмом (рис.183). Гребковий механізм розвантажує концентрат на сито для попереднього відділення суспензії і зворотного повернення її у технологічний процес збагачення. Порожня порода осідає на дні ванни, звідки потрапляє у ковші елеваторного колеса. При обертанні елеваторного колеса відбувається розвантаження порожньої породи із сепаратора.

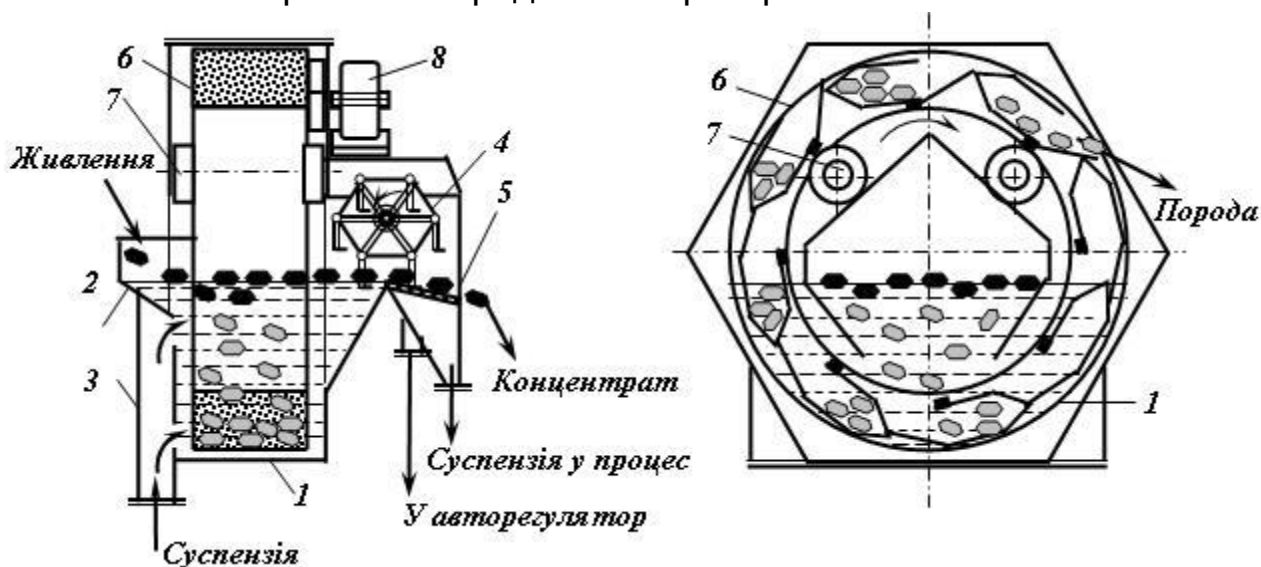


Рисунок 183 - Схема двохпродуктового сепаратора з вертикальним елеваторним колесом: 1-корпус; 2-завантажувальний жолоб; 3-суспензійний патрубок; 4-гребковий механізм; 5-сито; 6-елеваторне колесо; 7 – котки, на які спирається елеваторне колесо; 8 – привод гребкового механізму.

Флотація базується на використанні різниці у фізико-хімічних властивостях часток вугілля і порожньої породи (частки вугілля – гідрофобні, частки породи – гідрофільні). В основі даного процесу лежить вибіркове прилипання зважених у воді вугільних частинок до поверхні повітряних бульбашок. На відміну від вугільних частинок, мінерали порожньої породи до бульбашок не прилипають.

Збагачення вугільного шламу здійснюється за допомогою пінної флотації. Пульпа, яка являє собою суміш вугільного шламу з водою, інтенсивно перемішується, після чого подається у флотаційну машину, де в ній створюються бульбашки повітря діаметром до 2 мм. Для стабілізації утворення повітряних бульбашок до складу пульпи додатково вводять рідкий флотаційний реагент. В якості таких реагентів при флотації вугілля застосовуються продукти переробки нафти (гас, солярове масло, контакт Петрова тощо). Вугільні частки крупністю до 0,5 мм, пройшовши попередню обробку реагентом, прилипають до повітряних бульбашок і виносяться на поверхню пульпи. На поверхні утворюється шар стійкої піни завтовшки до 150

мм, яка насичена вугільними частинками. Відділення піни здійснюють з використанням спеціального пристрою - пінознімача. Змочені водою частинки порожньої породи не приклеюються до повітряних бульбашок і опускаються на дно флотаційного апарату та постійно віддаляються з нього.

У вугільній промисловості утворюються сотні мільйонів тонн відходів вугілля, породи та відходів очищення, що містять дрібне вугілля (побічний продукт попередніх операцій з переробки вугілля), вугільну породу, вугільний шлам, летючу золу, дренаж вугільних шахт і метан вугільних пластів, які забруднюють ландшафт у районах видобутку. При підземному видобутку вугілля на 1000 т добутого вугілля на поверхню піднімається до 210 - 300 т шахтних порід. Поряд з ділянками вуглевидобутку утворюються техногенні ділянки з ставками - відстійниками та відвалами пустої породи конічної форми - териконами. Терикони мають висоту 30–100 м і більше, кут відкосу до 40° (рис.184). За двісті років розробки вугільних родовищ в Україні утворилося понад 1100 териконів, під якими зайнято 6300 гектарів родючої та придатної для промислового і житлового будівництва землі. В териконах Донбасу міститься: 10...20% вугілля, до 15% глиноземів (сировина для отримання алюмінію), до 20% оксидів кремнію і заліза. Порожня порода вміщує такі хімічні елементи як германій, скандій, галій, вісмут тощо. Загальна кількість рідкоземельних елементів у відвалах складає близько 230...260 грамів на тонну.



Рисунок 184 - Терикон пустої породи біля вугільної шахти

Терикони є техногенними зонами підвищеної екологічної небезпеки. Щорічно з поверхні одного терикона видувається вітром приблизно 400 тонн породного пилу і вимивається дощами близько 8 тонн солей. Все це стає

чинниками деградації природних ландшафтів і завдає шкоди здоров'ю населення. Шкідливі речовини створюють на прилеглих територіях безжиттєві простори, проникаючи не тільки у поверхневі шари землі, але й у підземні води. Водним шляхом за рахунок атмосферних опадів відбувається міграція з відвалів радіонуклідів і важких металів.

До методів біологічної меліорації відносяться заліснення і дернення, а також удобрення земель. Дернення є найбільш доцільним методом рекультивації поверхні териконів. У світовій практиці наявні позитивні приклади рекультивації деградованих ландшафтів териконів та переробки відвалів вугільних шахт. Рурський басейн, найбільший кам'яновугільний басейн у Західній Європі, на сьогодні озеленений та перетворений на туристичний регіон. Часто на подібних територіях будуються вітрові електростанції. У Китаї колишні відвали стали місцем розміщення сонячних електростанцій.

Одним із найнебезпечніших екологічних впливів породних відвалів вугільної промисловості є загроза пожеж. Всі породні відвали, які містять вугілля, стають вразливими до самозаймання та самопідтримуваного горіння. Це пов'язано з окисненням сульфідів, які входять у вигляді периту до складу вугільних відвальних порід. Самозаймання відвальної маси, яка складається з суміші мінеральних і вуглефікованих складових, є наслідком хімічних реакцій окиснення вугілля і вуглевісних компонентів киснем, що надходить ззовні. Окиснення починається з адсорбції кисню на поверхні вугілля і вуглефікованих утворень. Реакція окиснення супроводжується виділенням тепла. В результаті температура в окремих місцях териконів, де приток свіжого повітря максимальний, підвищується до температури займання і розвивається самозаймання, яке потім поширюється на інші ділянки відвалу. Окиснення супроводжується утворенням сірчаної кислоти та її з'єднань, міграцією шкідливих газів і пилу повітряним шляхом (рис. 185). Небезпечними є скриті лійки, усередині яких відбувається горіння при температурі 1000...1100°C. В атмосферу з палаючих териконів виділяється значна кількість газоподібних шкідливих речовин, з яких найбільш небезпечними є сірководень, аміак, ціаніди тощо. Значну небезпеку становлять вибухи, що супроводжуються раптовими викидами великих об'ємів накопичених усередині терикону горючих газів. В забрудненому атмосферному повітрі біля тліючих териконів у значних концентраціях присутні сполуки нітрогену, сульфур та радіонукліди.

Найбільше схильні до самозаймання терикони, що були утворені при транспортуванні порожньої породи до вершини рейковим транспортом (скіп, вагонетка), тому що у цьому випадку їхня будова забезпечує найбільший приток повітря у середину відвалу, що сприяє окисненню горючої частини

породи. В териконах вугільних шахт на Донбасі, Львівсько-Волинському басейні накопичено понад 2,1 млрд. м³ горілих гірських порід, представлених аргілітами, алевролітами, пісковиками, вапняками, залишками горючих компонентів.



Рисунок 185 - Горіння терикону Центральної збагачувальної фабрики «Червоноградська» біля міста Червоноград (Львівська обл)

На сьогоднішній день у світовій практиці широко використовують горілі породи з териконів з відпаленою мінеральною глинисто-піщаною частиною. Такі породи містяться у старих або повністю перегорілих териконах і утворюються в результаті природного вигорання під впливом високих (до 1000°C) температур. (аргіліти, алевроліти і пісковики) мають алюмосилікатна природу. Фізико-механічні властивості горілих порід з териконів дозволяють використовувати їх як матеріал для будівництва тротуарів та насипів автошляхів, а також в якості наповнювачів у бетонах.

Горілі породи, як і інші відпалені глинисті матеріали, мають активність по відношенню до вапна і можуть частково використовуватися в ролі гідралічних добавок у в'язучих вапняно-пуцоланового типу. Висока адсорбційна активність і міцне зчеплення з органічними в'язучими також дозволяють застосовувати їх у складі асфальтових і полімерних композицій.

З метою дотримання норм викиду шкідливих речовин в атмосферу проводяться заходи по ліквідації або зведенню до мінімуму шкідливого впливу териконів. В усіх випадках терикони, що горять, потребують попереднього гасіння. Найбільше розповсюдження отримав спосіб гасіння конічних відвалів водою з одночасним зливом вершини і надання відвалу плоскої форми, який легше захищати від самозаймання.

За сучасними технологіями на вугільних шахтах, аби запобігти спонтанному займанню решток вугілля, підняту з шахт породу складують у

плоскі відвали з розділенням шарами інертного матеріалу. Формування плоского породного відвала здійснюється ярусами. Акумуляція тепла у таких відвалах знижується за рахунок відносно повільного росту його висоти. Після утворення кожного ярусу по усій його площі відсипається і ущільнюється котками шар інертного матеріалу товщиною 0,3 м. У якості інертних матеріалів можуть бути використані глина, суглинок, горілі породи з раніше перегорілих відвалів.

З матеріалів териконів можливо організувати промислове виділення рідкоземельних елементів: галію, ітрію, цирконію, скандію, германію, їх концентрація у відвальній породі становить в середньому 230...260 г/тонну. При переробці крупна породна фракція з териконів може використовуватися для будівництва та ремонту доріг, слугувати сировиною для керамічної промисловості.

Найбільш екологічним напрямком утилізації шахтних порід є їх залишення у виробленому шахтному просторі. Збільшення глибини розробки і пов'язане з цим зростання проявів гірського тиску зумовлюють необхідність розширення закладки виробок пустою породою без її підйому на поверхню. У США, Німеччині, Японії, Франції засипка і забутовка підземних гірничих виробок є обов'язковим технологічним процесом, в результаті чого обсяг накопичених на поверхні землі гірничо-промислових відходів є мінімальним. Це дозволяє зменшити негативні наслідки припинення діяльності шахт, зокрема, повернути у господарський обіг родючі землі, зайняті під відвалами, поліпшити екологічну ситуацію у вуглевидобувних районах, попередити просідання земної поверхні в процесі обрушення покрівлі вироблених просторів закритих шахт.

Внаслідок відсутності досвіду проведення робіт, технічних і економічних труднощів підземні виробки на Україні заповнюються порожньою породою в обмежених обсягах. На шахтах України для комплексної механізованої закладки використовуються дробильно-закладні установки «Титан». Пересувний комплекс «Титан» складається з навантажувальної машини, дробильно-закладувальної машини та зрошувальної насосної установки. Порода із забою надходить в бункер установки «Титан», а з нього, пройшовши стадію подрібнення, порожня порода потрапляє в повітродувку і по трубопроводу транспортується у вироблений простір.

Відходи вуглезбагачення, з яких утворені терикони, можуть використовуватися у якості:

- енергетичної сировини для спалювання чи газифікації;
- сировини для виробництва сірки;
- для влаштування насипів, рекультивації територій;
- сировина для виробництва будівельних матеріалів;

- матеріалів для будівництва доріг, засипання провалів.

Терикони на території України, сформовані у 60–70 роках минулого століття, містять велику кількість викопного вугілля, часто понад 20 %. На поверхні териконів, завжди знаходиться шар якісного дрібного вугілля, який атмосферними опадами поступово відмивається з масиву пустої породи. У процесі розбору таких відвалів вугільна фракція може відділятися та використовуватися як кондиційне паливо тепловими електростанціями та котельнями. На сьогодні діє ряд приватних компаній, які поступово переробляють терикони, відбраюючи з них вугільну складову, а залишками заповнюють покинуті кар'єри на міських околицях.

Одним з найбільш простих напрямків переробки подрібнених відходів вуглезбагачувальних підприємств є використання їх як сировини для виробництва керамічних виробів. Світова будівельна промисловість все частіше орієнтується на виробництво цегли саме з відвальних порід. Застосування у виробництві будівельних матеріалів вуглевмістних відходів є одним з основних напрямків зниження ресурсоемності і витрат палива. Для зменшення усадки, деформації і тріщин при сушінні і випалі при виробництві керамічних виробів до жирних пластичних глин додають отощуючі матеріали на основі відходів вугледобутку. Випалювання виробів з відходів вуглезбагачення зазвичай проводять в умовах, що поєднують процеси вигорання вугільних часток та спікання черепка. Цегла-сирець, утворена з таких відходів, перевершує за рядом властивостей цеглу, яка виготовлена з традиційної глинистої маси. Використання відходів вуглезбагачення як паливної та отощуючої добавки при виготовленні керамічних виробів дозволяє скоротити витрата умовного палива на 50...70 кг на 1000 шт. цегли і підвищити показники їх міцності.

З відходів вуглезбагачення виробляють аглопорит - штучний легкий і пористий наповнювач для бетонів. Аглопорит також застосовують у якості теплоізоляційної засипки покрівельних перекриттів будівель, теплокомунікацій тощо. Технологія виробництва аглопорита полягає в випалі гранульованої шихти з глинистих порід і подрібнених відходів видобутку вугілля. Густина аглопоритового щебеню складає 400...800 кг/м³, міцність аглопоритового щебеню 0,6...3,6 МПа. При використанні у якості наповнювача аглопоритових матеріалів з відходів вуглезбагачення можна виробляти легкі бетони питомою густиною 1080...1470 кг/м³.

На сьогоднішній день у світовій практиці широко використовують горілі породи з териконів з відпаленою мінеральною глинисто-піщаною частиною. Такі породи містяться у старих або повністю перегорілих териконах і утворюються в результаті природного вигорання під впливом високих (до

1000⁰C) температур. Горілі породи з териконів (аргіліти, алевроліти і пісковики) мають алюмосилікатна природу. Фізико-механічні властивості таких порід дозволяють використовувати їх як сировину для будівництва тротуарів та насипів автошляхів, а також в якості наповнювачів у бетонах.

Питання для самоконтролю

1. Опишіть основні види техногенних родовищ.
2. Що собою являють відходи видобутку залізної руди? Які існують підходи до їхньої утилізації?
3. Що собою являють відходи збагачення залізної руди? Які існують підходи до їхньої утилізації?
4. Що собою являють металургійні шлаки? Які існують підходи до їхньої утилізації?
5. В чому полягає різниця між властивостями доменних відвальних і гранульованих шлаків?
6. Які основні напрямки використання відвального шлаку?
7. В чому полягають переваги шлакового щебню у порівнянні з кам'яним щебнем?
8. Яким чином відходи металургійного виробництва використовують у якості сировини для агломерації?
9. Опишіть напрямки раціонального використання відходів вугледобування?
10. Як раціонально утилізувати відходи з горілих териконів?

14. Відновлення відходів теплоенергетики

В Україні в довоєнний час значна частина виробництва електроенергії була сконцентрована на 22 теплових електростанціях, у якості палива для яких використовується кам'яне вугілля. На сучасних теплових електростанціях вугілля спалюють у пилоподібному стані. Після вдування пилоподібного палива у топочному агрегаті відбувається його досушування, нагрів і займання у факелі з утворенням золошлакових відходів. У складі продуктів згорання виділяють золу виносу, паливні шлаки та золошлакову суміш. Теплова електростанція потужністю 1 млн. кВт за добу спалює біля 10000 т вугілля, при цьому утворюється біля 1000 т золи і шлаку. За статистичними даними, в Україні накопичено понад 250 млн т золошлакових матеріалів. Більшість цих відходів не утилізується і потрапляє у відвали, під які в Україні відведено понад 20 тисяч гектарів землі.

Процес згорання вугілля на теплових електростанціях супроводжується утворенням мікрочастинок золи з мінеральних складових палива. При згорянні кам'яного вугілля зола являє собою обпалену глинисту речовину з включеннями дисперсних частинок кварцового піску. При випалюванні мінеральної частини палива глиниста речовина дегідратується і утворюються низькоосновні алюмінати і силікати кальцію. Хімічний склад золи є неоднорідним, оскільки для спалювання використовується вугілля з різних родовищ. В середньому склад золи знаходиться в межах: SiO_2 – 37... 63%, Al_2O_3 – 9...37%, Fe_2O_3 – 4...17%, CaO – 1...32%, MgO - 0,1...5%, SO_3 - 0,05...2,5%.

Зола виносу - тонкодисперсний незгораючий залишок, який складається з дрібних частинок розміром від 3 до 150 мкм (рис.186). Цей побічний продукт уловлюють з димових газів за допомогою золоуловлювальних електрофільтрів. Застосовуючи гідророзділення золи-виносу з золовідвалів отримують:

1) магнітну фракція, яка представлена магнетитом і карбідом заліза крупністю 0,05 ... 0,6 мм (високоякісна сировина для використання на різних технологічних стадіях у металургійній промисловості);

2) немагнітна фракція крупністю 0,1 ... 0,6 мм, представлена високоглиноземистими мінералами (застосовується як наповнювач для бетонів);

3) немагнітна фракція представлена глиноземисто-кремністими мінералами, з підвищеним вмістом частинок вуглецю крупністю 0,05 ... 0,40 мм (добавка до сировини для виробництва цегли);

4) вугільна піна в міксері (пульпа), представлена вуглецевими частинками з домішкою тонких (менше 0.06 мм) силікатних частинок та дрібних сфер.

Наявність незгорілих органічних частинок у золі виносу знаходиться в межах 0,5...20%. Вони є шкідливими домішками і погіршують технічні властивості золошлаків. Розширення використання сухої золи-винесення потребує запровадження технологічних інновацій у вигляді високоефективних електрофільтрів, установок для збору та зберігання сухої золи-винесення в силосах за межами заводу та засобів для завантаження в режим транспортування, а також транспортування до місця розташування установ - користувачів вторинної сировини.

Важчі частинки зольного залишку осідають у подовій частині топки та сплавляються між собою при температурі понад 1000°C, що призводить до формування окремих шматків шлаку. Паливний шлак - це матеріал, що накопичується в нижній частині топкового простору теплових агрегатів. Утворені шлаки гранулюють, застосовуючи їх прискорене охолодження водою. Величина частинок шлаку знаходиться в межах 20...30 мм. При спалюванні палива у пиловидному стані шлаки становлять 10...25% від маси утвореної золи. Вміст склоподібної фази у шлаках становить 85-98%. На відміну від золи, шлаки, що утворюються при більш високих температурах, практично не містять залишків незгорілого палива і характеризуються більшою однорідністю. Шлаки з топки теплових електростанцій видаляють гідравлічним або сухим способом. Практично всі теплові електростанції, побудовані у СРСР, були спроектовані за системою гідровидалення шлаків.

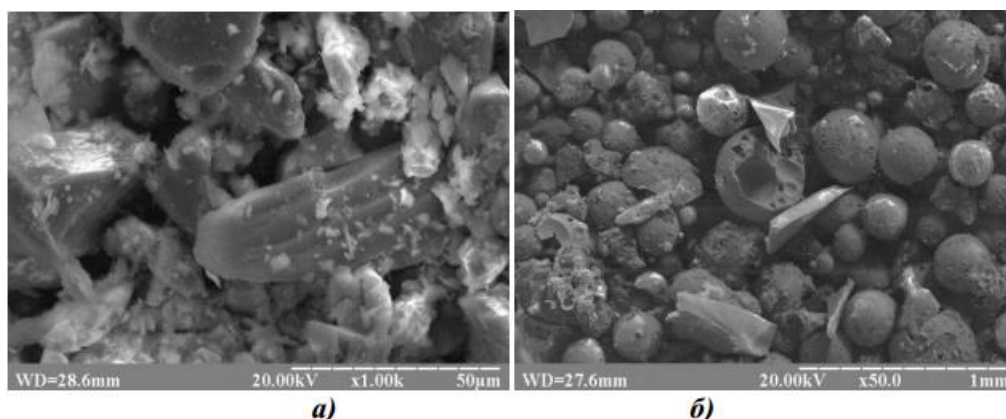


Рисунок 186 - Мікрофотографії подрібненого вугілля і золошлакових відходів в умовах ДТЕК «Криворізьська ТЕС»: а - вугілля; б - золошлакові відходи

При гідравлічному способі, який має найбільше поширення, зола і шлак змішуються та видаляються у вигляді золошлакової суміші. Золошлакові відходи видаляють у вигляді пульпи низької концентрації системами

трубопроводів у гідрозоловідвали, які є одним з головних джерел забруднення навколишнього середовища при виробництві електричної енергії. Система труб і насосів забезпечує подачу пульпи в обвалований басейн – золовідвал, де вода з домішками дренує, а зола осідає (рис.187 - 188). У золовідвалі відбувається процеси випаровування води та утворення так званих «пляжів». «Пляж» - це суха ділянка з частинок пилу. Одночасно з утворенням «пляжу» відбувається інфільтрація води і потрапляння розчинених форм токсичних компонентів золошлаків у ґрунтові води. Небезпечні складові золи можуть мігрувати з поверхні золовідвалу повітряно-водними шляхами, забруднюючи атмосферу, ґрунт, ґрунтові та поверхневі води в районах, розташованих за декілька кілометрів від накопичувача відходів. Пилевиділення відвалів та забруднення приповерхневих горизонтів води наносить значну шкоду здоров'ю людей, які проживають поблизу. У золовідвалах теплових електростанцій України в мікрокількостях присутні свинець, мідь, цинк, кадмій, хром, нікель, а також радіонукліди. Відвали є джерелом підвищеної екологічної небезпеки і чинять негативний вплив на здоров'я людини, підземні і поверхневі води, атмосферу, рослинний і тваринний світ. Найбільш небезпечними є кристали кварцу і муліту, які викликають фіброзні зміни легеневої тканини. При цьому значна частина мінеральної доставляє згорілого і незгорілого вугілля окислюється з утворенням сірчистих сполук, що в надалі веде до формування кислотних та забруднених стоків.



Рисунок 187 - Золошлаковидалення гідротранспортом на тепловій електростанції

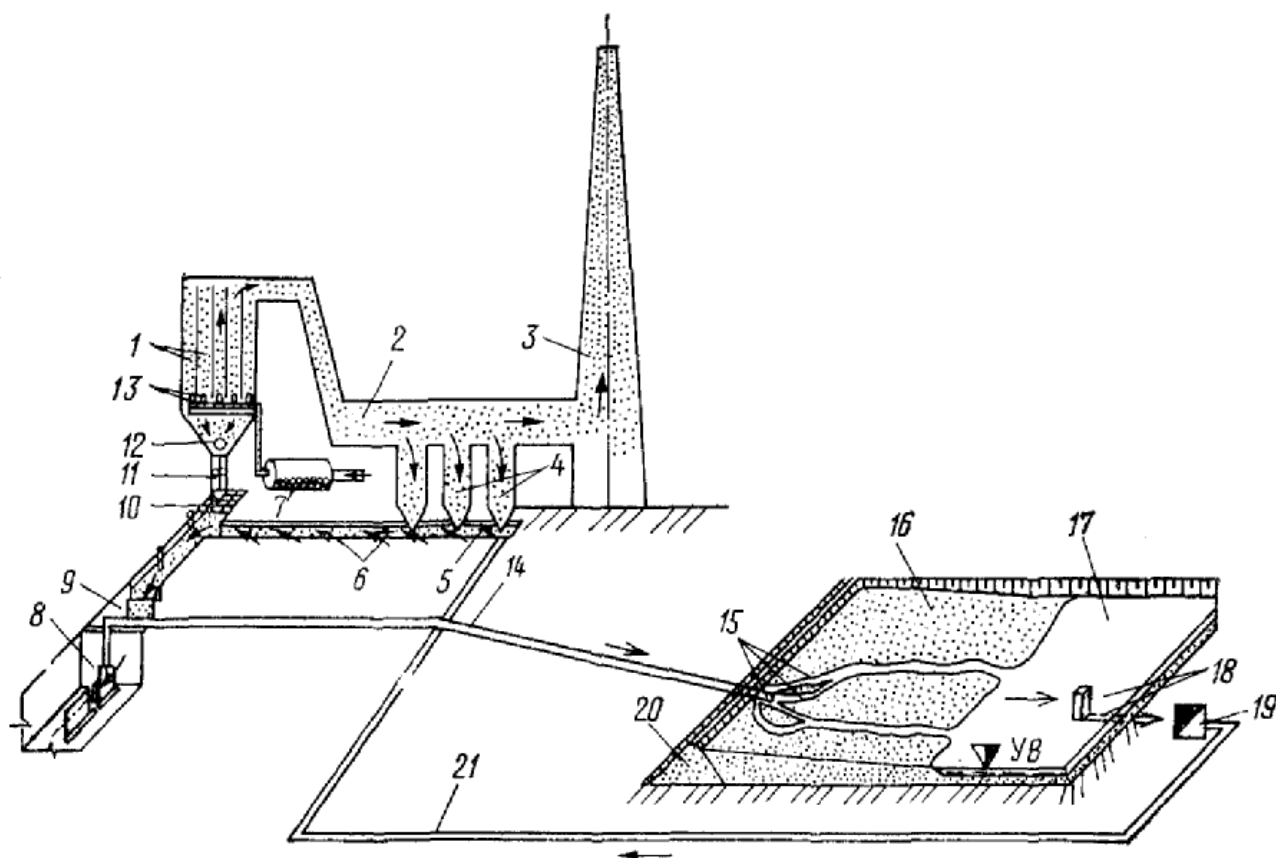


Рисунок 188 - Принципова схема гідрозолошлаковидалення на тепловій електростанції: 1 - котел; 2 - димовий(зольний) канал; 3 - димова труба; 4 - золовловлювачі; 5 - змивний канал гідрозоловидалення; 6 - спонукальні сопла; 7 – пиловугільний млин; 8 – багерний насос; 9 -приймальний зумпф; 10 - решітка затримки великих шлакових включень; 11 - дробарка шлаку; 12 - шлакова шахта; 13 – форсунки подачі пиловугільного палива; 14 - напірний пульпопровід; 15 - потоки пульпи; 16 - надводний укіс наміву; 17 - ставок-відстійник; 18 - водозбірний колодязь

Пиловиділення відвалів та забруднення приповерхневих горизонтів води наносить значну шкоду здоров'ю людей, які проживають поблизу. Пиловидні відходи швидко піддаються вивітрюванню і при осушенні при швидкості вітру 3 м/сек починають порохити. В процесі складування золошлакового матеріалу формується фільтраційний потік токсичних водорозчинних сполук миш'яку, селену, ванадію, фтору, хрому, що міститься у цих відходах. Відвали золошлакових відходів займають великі ділянки цінних родючих земель, які практично безповоротно вилучаються з корисного використання. В середньому площа відвалів теплової електростанції складає до 200 га.

Екологічно безпечне зберігання золошлакових відходів досягається лише на спеціально обладнаних полігонах, які створюються далеко від населених

пунктів, з чітким дотриманням норм природоохоронного законодавства. По периметру майданчиків, на яких зберігаються золошлакові відходи, повинні бути виконане обвалування і відособлена мережа водовідведення. На золовідвали завозиться глина, земля і скоп (залишкові продукти виробництва картонно-паперового комбінату), які при додатковому зволоженню створюють бар'єр проти рознесення вітром пилоподібних відходів.



Рисунок 189 - Золошлаковий відвал Ладижинської ТЕС (м. Ладижин)

На сьогодні близько 500 млн. т золошлакових відходів знаходиться під відкритим небом у відвалах теплових електростанцій України. Застосування золи в різних галузях промисловості дуже обмежене у зв'язку з неоднорідністю її складу і великим вмістом вугілля, що не згоріло (10... 20%). Основною вимогою, що забезпечує успішне застосування зольних відходів теплових електростанцій, є стабільність їх фізико-хімічних показників та вміст незгорілого палива. Це дозволить застосовувати їх в не переробленому вигляді, або в якості вихідних сировинних компонентів при переробці в різні матеріали та вироби. Для зменшення антропогенного навантаження на навколишнє середовище накопичені роками золошлакові відходи вимагають консервування.

При високих температурах мінеральні речовини, що входять до складу вугілля, плавляться і в газовому потоці розпадаються на окремі дрібні краплі всередині яких міститься газова фаза. Якщо внутрішній тиск газу всередині краплі врівноважується силою поверхневого натягу розплаву, то така крапля не розривається і при охолодженні перетворюється у порожню кульку - алюмосилікатну мікросферу (рис.190). Зола виносу теплових електростанцій містить 2...3 % мікросфер - алюмосилікатних порожнистих сипких сферичних частинок розміром до 100 мкм. Алюмосилікатні мікросфери надають золошлаковим відходам темносирий колір. Мікросфери мають густину меншу за густину води ($580-690 \text{ кг/м}^3$). Внутрішня порожнина частинок заповнена азотом і діоксидом вуглецю. Цей матеріал має ряд унікальних властивостей: низька щільність, висока механічна міцність, хімічна інертність, термостійкість, низька теплопровідність. Алюмосилікатні мікросфери є найбільш цінним компонентом зольних відходів теплових електростанцій.

Незважаючи на те, що вміст алюмосилікатних мікросфер в золі є невеликим, на великих теплових електростанціях їх утворення може складати кілька тисяч тон за рік. Через систему гідровидалення мікросфери у складі золошлакової пульпи поступають в озеро золовідвалу, де у вигляді шару піни товщиною у кілька сантиметрів дрейфують по водній поверхні (рис.191). З поверхні води мікросфери збираються дренажними насосами і відфільтровуються.

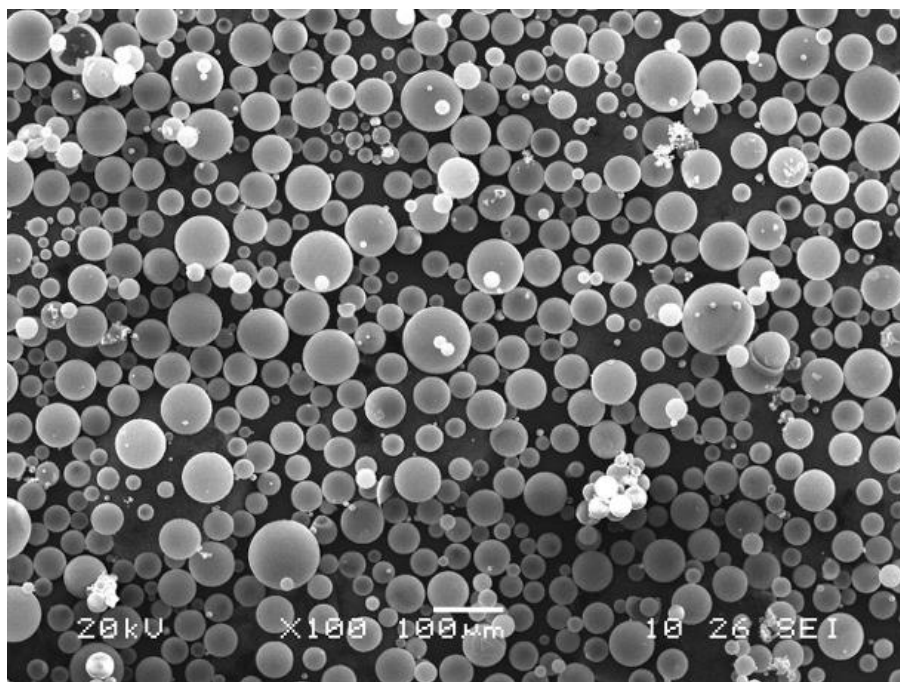


Рисунок 190 – Електронно – мікроскопічне зображення алюмосилікатних мікросфер

Мікросфери мають оптимальне співвідношення площі поверхні та займаного об'єму. При використанні мікросфер у якості наповнювача, досягається підвищення міцності кінцевого продукту. Композиційний матеріал матиме меншу густину, низьку теплопровідність буде хімічно інертним, термостійким, матиме добру звукоізоляцію. Сферична форма наповнювача означає, що для зволоження його поверхні потрібна менша кількість рідких компонентів (смола, затверджувача, модифікатора, розчинника тощо), ніж для наповнювача іншої, відмінної від сферичної, форми. Дані матеріали здатні функціонувати в умовах дії агресивного середовища та високої температури. Використання мікросфер сповільнює горіння матеріалу, оскільки даний наповнювач має високі вогнетривкі властивості.



а)



б)

Рисунок 191 - Формування обмеженої ділянки збору мікросфер на поверхні озера золівдвалу (а), збір мікросфер з поверхні озера золівдвалу (б)

Приклади раціонального застосування мікросфер:

1. У керамічній промисловості як сировина для виготовлення ізоляторів, вогнетривких виробів, посуду. Мікросфери мають вищу температуру плавлення (близько $1200...1600^{\circ}\text{C}$), ніж температура плавлення мікросфер з синтетичного скла. Тому вони широко використовуються для виробництва високотемпературної ізолюючої вогнетривкої кераміки, а також вогнетривких покриттів.

2. У будівництві для виробництва надлегкого бетону, теплоізоляційного жаростійкого бетону, сухих будівельних сумішей, цементу, звукоізоляційних матеріалів. Мікросфери мають низьку теплопровідність (близько $0,1 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$). У зв'язку з цим, вони широко використовуються в якості ізоляційного матеріалу для геотермічних цементів, оздоблювального і штукатурного гіпсу для ізоляції зовнішніх стін будівель. Завдяки високій термостійкості мікросфери не втрачають міцнісних властивостей до температури 980°C .

3. У хімічній промисловості у якості добавки до лакофарбувальних матеріалів, композитів, пластмас, як компонент у суміші для виготовлення автомобільних шин. Сферичні наповнювачі характеризуються високою розтікаємостью, тому їх не складно розбризкувати, нагнітати насосом, наносити шпателем тощо. Вони знижують усадкову деформацію і є відмінними наповнювачами для мастик герметиків для герметизації тріщин і швів.

4. Полімерні матеріали з мікросферами (так звані сферопластики) використовуються при виготовленні різних плавучих засобів, наприклад, човнів, сигнальних буїв, блоків плавучості, рятувальних жилетів тощо. При цьому досягається зниження витрати полімерів в 1,15...1,3 рази та вартості пластмасових виробів в 1,2...1,3 рази; збільшення строку експлуатації пластмасових виробів при роботі у контакті з агресивними середовищами в 2...3 рази; зростає стійкість пластмаси до горіння, дії підвищених температур і тиску.

5. В нафтогазовій промисловості для тампонування нафтових і газових свердловин та для використання у складі бурових розчинів. Тампонажний цемент використовують для заповнення простору між стовбуром свердловини і обсадною трубою, зміцнюючи і захищаючи її. Міцний легкий наповнювач знижує щільність тампонажного цементу і забезпечує безусадочність цементного каменю, що покращує зв'язок пласта з обсадними трубами.

Алюмосилікатні мікросфери в Україні поки що залишаються мало затребуваним матеріалом кінцевими споживачами, оскільки відсутні підприємства, що могли б використати їх у своєму виробництві. Тому зольні мікросфери, які виробляються підприємствами України, експортуються до багатьох країн світу. На Близький Схід і США мікросфери з України експортуються здебільшого для потреб нафтогазової галузі, в європейські країни – для будівельної галузі та виготовлення вогнетривів.

У світі накопичено значний досвід використання золошлаків. Лідери в цьому питанні - Англія і Німеччина, де золошлакові відходи переробляються практично повністю завдяки державній політиці, що стимулює вторинну переробку відходів. У Польщі введення в дію законів, що регулюють процес поводження з відходами, в тому числі золошлаками, дозволило збільшити рівень їх повторного використання за 20 років в 3,5 рази - до 80%. Польські законодавці значно збільшили вартість земель під золовідвали, що зробило їх економічно не вигідними для теплових електростанцій. Порівняно з розвиненими країнами, де частка переробки золошлакових відходів у вторинну сировину сягає 90%, в Україні утилізація відходів теплоелектростанцій становить не більше 2%.

До основних напрямків утилізації золошлакових відходів відноситься:

- у будівництві як альтернатива гравію, щебню та піску, добування яких є трудомістким, дорогим та є руйнівним для екології;
- використання для виготовлення цементного клінкеру;
- добавки до багатокомпонентних будівельних матеріалів і будівництва (важкий, пористий, силікатний бетон);
- сировина для виробництва глинисто-золяного керамзиту та керамічної цегли;
- техногенний ґрунт для влаштування дорожніх насипів;
- засипний матеріал для засипки вироблених кар'єрів;
- ізоляційний матеріал для полігонів твердих побутових відходів.

Головна перевага використання золошлаків у всіх цих випадках полягає у значній економії первинної сировини і ресурсів. При визначенні раціональних галузей використання золошлакових відходів враховується їх невисока вартість, стійкість до низьких температур, здатність до ущільнення.

Золошлакові відходи широко використовуються в шляховому будівництві, де їх застосовують як засипку під час улаштування основи для асфальтобетонних покриттів, що у середньому на 30% знижує собівартість робіт з будівництва доріг. За фізико-хімічними властивостями золошлакові відходи є повноцінною заміною річковому піску. При будівництві автомобільних доріг золи виносу сухого відбору використовують в якості активної гідралічної домішки разом з цементом або вапном, а також, як самостійна повільно твердіюча в'язуча речовина для влаштування шарів основи.

Золошлакові відходи можуть бути економічно використані для будівництва доріг і бетонних тротуарів, насипів, виробництва цегли, черепиці, штукатурки тощо, особливо поблизу теплових електростанцій, коли відстань до виробництва складає до 100 км.

У якості заміника частини цементного клінкеру можуть також бути пуцолани – мінеральні речовини, які після видобутку не потребують спеціальної термічної обробки, за винятком подрібнення та підсушування, що є їх головною перевагою. Зола виносу володіє пуцолановими властивостями, тобто гідралічною активністю. Зола виносу може вводитися до складу портландцементу у кількості до 15%. Введення золи в цемент знижує його міцність в початкові періоди твердіння, а при тривалих термінах тверднення міцність цементів з добавками золи стає навіть вищою, ніж у матеріалі без добавок золи.

Зола у складі бетону виконує роль активної мінеральної добавки, а також мікронаповнювача, що поліпшує властивості будівельних сумішей. Використання золошлакових відходів в будівництві покращує укладання

важких видів бетону, поліпшує їх економічні показники за рахунок часткової заміни цементу і піску. Так при виробництві бетону із застосуванням золошлаків на 15...30% скорочується обсяг необхідних добавок цементу. Найчастіше золошлаки використовують для повноцінної або часткової заміни добавок піску. Встановлено, що введення некласифікованих фракцій золи виносу Придніпровської ТЕС у бетонні суміші у кількості 370 ...410 кг на 1 м³ дозволяє скоротити витрату цементу до 20%. Проведені дослідження з заміщенням на 30% високомарочного цементу ПЦ-400 добавками золи виносу при виготовленні бетонів М 200 показали, що економія цементу може досягати до 25% із збереженням базового рівня міцності. Важливо, що добавка золошлакових відходів підвищує міцність бетонних конструкцій, які перебувають в агресивному середовищі (сульфатному, морському).

Відходи теплових електростанцій можуть використовуватися у якості сировини для виробництва штучних пористих заповнювачів та теплоізоляційних матеріалів – глиноземистозольного аглопориту та керамзиту, які отримують спученням і спіканням в печах маси із суміші з 80% золошлакових відходів та глини. Використання золошлакових відходів при виготовленні пористих заповнювачів лімітується вмістом сірки, вуглецю, оксидів заліза, кальцію і магнію. У виробництві цегли нормуються оксиди кальцію, сірки, алюмінію. Для більшості виробництв потрібно сухий матеріал, а в золовідвалах він завжди вологий, що також ускладнює їх використання виробниками будівельних матеріалів.

Відходи теплових електростанцій доцільно використовувати для вертикального планування непридатних земель (осушення боліт, ярів та засипка гірничорудних виробок при рекультивації відпрацьованих кар'єрів). Таким чином можна вирівнювати занедбані території, які після засипки зверху ґрунтом з компостом можливо використовувати для забудови або створення зелених зон.

Зола виносу багата оксидом алюмінію, тому її можна розглядати як потенційний замінник бокситів. Сьогодні цей спосіб отримання алюмінію з золи почали застосовувати в Китаї.

Є приклади застосування золошлаків за кордоном у сільському господарстві. Після їх внесення досягали зниження кислотності ґрунтів, підвищення їх пористості. Встановлено можливість застосування золи для удобрення ґрунту з метою введення в неї цинку, калію, молібдену і бору, що знаходяться у складі золи. Однак, для застосування у сільському господарстві золошлаки повинні бути безпечними. Для визначення ступеня безпеки необхідно попередньо провести ряд досліджень: визначити ступінь радіоактивності, детально вивчити їх склад і властивості.

Шлаки, що утворюються при спалюванні вугілля в котельнях є матеріалом, який придатний для використання у якості сировини для виготовлення шлакобетонних виробів (шлакоблоків). Однак використання таких виробів обмежене їх підвищеною радіоактивністю. Тому шлакоблоки рекомендується використовуватися переважно для будівництва нежитлових споруд.

Питання для самоконтролю

1. Як класифікуються відходи, що утворюються при спалюванні вугілля на теплових електростанціях? Які існують підходи до їхньої утилізації?
2. Що собою являють алюмосілікатні мікросфери? Як даний вид відходів може бути використаним?
3. В чому полягають переваги використання золошлакових відходів у дорожньому будівництві?
4. Як використовують золу виносу у цементному виробництві?
5. Як відбувається утилізація золошлакових відходів при виробництві аглопориту та керамзиту?
6. Яка можливість використання золошлакових відходів у сільському господарстві?

15. Відновлення відходів будівництва та знесення

Закон України «Про управління відходами», прийнятий у червні 2022 року, дає визначення відходам будівництва та знесення. Це відходи, що утворилися внаслідок діяльності з капітального ремонту, будівництва або знесення будівель і споруд. Частина сьома статті 13 цього Закону визначає загальні вимоги до управління відходами будівництва та знесення: «суб'єкти господарювання, що здійснюють будівництво або знесення будівель та інженерних споруд, зобов'язані забезпечити роздільне збирання відходів будівництва та знесення, їх облік та передачу суб'єктам господарювання у сфері управління відходами для забезпечення їх оброблення.

Поширені види будівельних відходів сміття включають:

- клеї, герметики, фарби та лаки, бітумні суміші;
- плитка, цемент і кераміка, надлишкова цементна суміш, яка залишається після завершення робіт тощо.
- гіпсокартон;
- металеві відходи (мідь, бронза, латунь, алюміній, свинець, залізо, сталь, олово та змішані метали);
- дерево, фанера, дерев'яно – стружкові плити, стружка, тирса, скло (відходи від скла вікон або дверних панелей, скла від світильників або скляних полиць) та пластик (сайдинг з ПВХ, сантехнічні труби, пластикові листи та піноізоляція).
- бетон, залізобетонні плити, цегла, ґрунт, каміння, пісок;
- ізоляційні та азбестові матеріали (матеріали, що містять азбест, небезпечні для здоров'я людей).

Будівельна галузь використовує 32% добутих природних ресурсів. Традиційно в лінійній економіці відходи будівництва, реконструкції та знесення вважалися матеріалами нульової цінності, і, як наслідок, більшість таких відходів потрапляли на звалища. Більшість будівельних елементів виготовляється таким чином, що після закінчення терміну експлуатації їх неможливо демонтувати, вони здебільшого захоронюються на звалищах або спалюються. У 2018 році в США утворилося 600 млн т відходів будівництва та знесення, що вдвічі перевищує кількість твердих побутових відходів, утворених у тому самому році. Приблизно 90 % цих відходів утворюється під час знесення будівель, а 10 % – під час будівництва. У 2018 році в США майже 145 млн т відходів будівництва та демонтажу було відправлено для захоронення на звалища. У 2018 році було підраховано, що одна третина (36%) від загального обсягу відходів, утворених у Європейському Союзі економічною та побутовою діяльністю, походила з будівельного сектора.

Понад 75% відходів, що утворюються в будівельній промисловості, мають залишкову вартість, однак не переробляються та не використовуються повторно і потрапляють на звалища. В першу чергу це пов'язано з відсутністю комплексної системи управління відходами. Така ситуація веде до забруднення значних територій, зміни клімату та виснаження природних ресурсів.

Впровадження циркулярної економіки стало потенційною моделлю для мінімізації негативного впливу відходів будівництва та знесення на навколишнє середовище. Приклади заходів щодо зменшення утворення відходів будівництва включають збереження і модернізацію існуючих будівель замість будівництва нових; оптимізацію розмірів новобудов; проектування нових будівель з закладеним тривалим терміном експлуатації; використання методів будівництва, які дозволяють розбирати застарілі будівлі та полегшують повторне використання матеріалів. Цінність програм повторного використання та переробки будівельних матеріалів, ймовірно, у майбутньому зростатиме, оскільки урбанізація у світі продовжує прискорюватися, а потреба у циклічному поверненні корисних матеріалів в економіку стає більш нагальною.

У стратегіях управління відходами в циркулярній економіці використовується концепція управління відходами 3R, тобто скорочення, переробка та повторне використання будівельних відходів. Це передбачає уникнення утворення відходів, повторне використання створених відходів і переробку створених відходів. Завдяки таким підходам значно зменшується обсяг відходів, що вивозяться на полігони, що зменшує проблеми, пов'язані з екологією планети. Переробка великої кількості будівельних відходів включає ретельну оцінку типів і кількості відходів, щоб зрозуміти склад і потенційні можливості переробки, та розробку стратегічного плану управління та переробки відходів, враховуючи такі фактори, як інфраструктура, логістика, ринковий попит на перероблені матеріали, екологічність та нормативні вимоги. Суворий аудит відходів і визначення їх складу також можуть бути корисними для скорочення відходів. Збільшення можливостей переробки та повторного використання будівельних відходів призводить до зменшення обсягу відходів, що надходять на звалища, а отже, дозволяє подовжити термін служби сміттєзвалищ для майбутнього використання. Відновлення дозволяє знизити виплати за розміщення на полігоні будівельних відходів.

Відходи будівництва та знесення, що не є небезпечними, можуть підлягати підготовці до повторного використання, рециклінгу, іншого матеріального відновлення, включаючи зворотне заповнення шахтних і кар'єрних виробок. Циркулярна економіка дозволяє оптимізувати споживання сировини та

зберігає цінність матеріалів протягом усього їх життєвого циклу. У будівельній галузі циркулярна економіка має на меті підвищити цінність матеріалів, які зазвичай викидаються на звалище, і зробити їх придатними для використання будівельними організаціями.

Визначено кілька стратегій, які можуть полегшити перехід до принципів циркулярної економіки у будівельному секторі:

- використанні більш стійких і міцних матеріалів;
- впровадженні конструкцій придатних для розбирання;
- широкому використанні модульних і збірних елементів;
- розробці схем відновлення будівельних матеріалів з відходів будівництва;
- уникнення утворення непотрібних відходів і, як наслідок, необхідності їх захоронення на звалищах.

Повторне використання окремих частин будинку (фундаменти, стіни) або його окремих конструкцій (балки, плити, колони) по прямому призначенню в новому будівництві маловідповідальних споруд. Бетонні елементи, наприклад, колони, балки та елементи стін можуть бути використані повторно, якщо ці елементи можна розібрати і демонтувати зі старої споруди та перенести на нову споруду. Особлива увага має бути приділена їх переміщенню, проектуванню та прийманню за показниками якості.

Існують певні проблеми, які перешкоджають повному переходу до циркулярної економіки у секторах будівництва та знесення. До основних бар'єрів на шляху впровадження циркулярної економіки у секторах відходів будівництва та знесення є необхідність відповідних дозволів та специфікації, технологічні обмеження, не стабільний рівень якості відновлених матеріалів, відсутність необхідного обладнання тощо.

Під час зведення 100-квартирного будинку утворюється до 15...20 т будівельних відходів. У великих містах і промислових районах України після переходу на будівництво нових серій будинків і будівлі зібралися десятки мільйонів кубічних метрів невикористаних залізобетонних виробів і конструкцій.

Сьогодні питання переробки відходів будівельного комплексу є доволі актуальним і полягає у тому, що перші будинки великопанельного будівництва розраховані на термін експлуатації 50 років і в найближчому майбутньому виникне проблема зносу житла. Із розвитком будівельно-інвестиційної діяльності у великих містах різко збільшується потреба у вільних площах під забудову. Одним із варіантів вирішення проблеми дефіциту землі під нове будівництво є знесення старих будівель. При виконанні робіт з розбирання, реконструкції та ремонту будівель утворюється значна кількість будівельних відходів, які необхідно утилізувати. З урахуванням досвіду будівельних фірм

реальний обсяг вивезення будівельного лому після зносу одного п'ятиповерхового будинку з чотирма під'їздами становить до 5 тис. т.

Під час сортування будівельних відходів і подальшої їх переробки у вторинну сировину значно скорочується кількість відходів, що підлягають вивезенню на полігони для захоронення. При знесенні, реконструкції та новому будівництві будівель і споруд за вмістом утворюються будівельні відходи в наступних пропорціях (рис.192):

- бетон та залізобетон – понад 50 %;
- кам'яні стінові матеріали (цегла, стінові блоки) – понад 30 %;
- відходи затверділих будівельних розчинів – до 10 %;
- відходи металів – до 5 %;
- відходи дерева та пластмас, склобій, сантехнічні вироби тощо - понад 5%.



Рисунок 192 - Будівельні відходи, які утворені при знесенні будівель

Інертні будівельні відходи - це відходи, які не зазнають значних фізичних, хімічних або біологічних перетворень. Ці матеріали не становлять загрози навколишньому середовищу чи здоров'ю людини. У контексті будівництва та зносу до інертних відходів зазвичай відносять бетон, цеглу, плитку та певні типи ґрунту. Інертні відходи вважаються стабільними та з часом не знижують рівень своїх властивостей, що робить їх придатними для повторного використання, переробки або безпечного захоронення утилізації на спеціально відведених звалищах. Переробка інертних відходів є особливо

цінною в практиках екологічного будівництва, оскільки вона мінімізує потребу у видобутку нової сировини.

Екологічні та безпекові ризики в Україні значно зросли внаслідок російської збройної агресії. В Україні зростає кількість будівельних відходів, що виникли внаслідок бойових дій – насамперед через масове застосування агресором авіабомб великої потужності, що коригуються. Після таких атак нічого, окрім руїн, не залишається. В результаті обстрілів російських окупантів руйнуються будівлі, утворюється велика кількість відходів, відбувається забруднення земель і вод внаслідок руйнування транспортної і промислової інфраструктури, що призводить до масштабних розливів нафтопродуктів та інших небезпечних речовин. 27 вересня 2022 р. Уряд України затвердив постанову «Порядок поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням будівель і споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків». Відходами від руйнувань визначено частини (уламки) пошкоджених (зруйнованих) об'єктів, а також матеріали, предмети, які були всередині або поряд з такими об'єктами на момент пошкодження (руйнування) та/або виконання робіт з демонтажу та які повністю або частково втратили свої споживчі властивості та не можуть у подальшому використовуватись за місцем їх утворення чи виявлення. Порядок визначає комплекс організаційно-технічних заходів і робіт, спрямованих на забезпечення безпечного збирання, перевезення, сортування, зберігання, оброблення, утилізацію, видалення, знешкодження та захоронення відходів відповідної категорії.

Зазначений механізм застосовується виключно під час виконання відновлювальних робіт з ліквідації наслідків збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану та у період відбудови. Відходи від руйнувань схожі за складом з відходами, які утворюються в наслідок стихійних лих. Відходи від руйнувань можуть містити вкрай небезпечні компоненти, а саме: токсичні, вибухонебезпечні, легкозаймисті, біологічні та радіоактивні компоненти медичних або лабораторних закладів.

Відповідно до Порядку операції з поводження з відходами від руйнувань включають:

- 1) первинне розчищення територій (збирання відходів від руйнувань, зокрема за можливості – сортування окремих компонентів відходів від руйнувань);
- 2) транспортування відходів від руйнувань від місця їх утворення до об'єктів поводження з відходами або місць тимчасового зберігання;
- 3) остаточне (після виконання робіт з демонтажу пошкоджених (зруйнованих) об'єктів) розчищення та прибирання територій (у разі потреби);

4) зберігання відходів від руйнувань на місцях тимчасового зберігання або на інших об'єктах поводження з відходами (до їх утилізації чи видалення);

5) оброблення (перероблення) відходів від руйнувань та/або їх знешкодження (у разі потреби);

6) використання відходів як вторинних матеріальних чи енергетичних ресурсів;

7) видалення відходів від руйнувань, включаючи їх захоронення.

Як приклад, під час руйнування стандартного панельного 9-поверхового будинку виникає наступна кількість будівельних відходів:

– загальна маса відходів від руйнувань – 2200 т;

– бетон – 2050 т;

– цегла – 40 т;

– метал – 43 т;

– віконні та дверні блоки, скло – 10 т.

До 70% зруйнованих у ході бойових дій будинків покриті шифером, який містить сильний канцероген - азбест.

Місця тимчасового зберігання та сортування необхідно організовувати з дотриманням вимог екологічної та пожежної безпеки, охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання і відтворення природних ресурсів, а також необхідних санітарно-захисних зон, а саме:

2 км – від об'єктів водного фонду;

0,5 км – від житлової та громадської забудови, об'єктів соціальної інфраструктури;

0,2 км – від сільськогосподарських угідь, доріг загального користування та залізничних шляхів загальної мережі;

0,05 км – від лісів.

Місця тимчасового зберігання та сортування відходів руйнування організовуються на твердій та рівній основі з бетону, асфальту чи ущільненого ґрунту, покритого шаром геомембрани завтовшки не менше ніж 1,0 мм, захищеної від механічних пошкоджень шаром ґрунту товщиною понад 0,5 м.

Залишкові інертні відходи після сортування на майданчику тимчасового зберігання підлягають захороненню на полігонах для інертних відходів. Такі полігони являють собою спеціально відведені майданчики призначені для надійного та довгострокового зберігання відходів, що не містять потенційно небезпечних або шкідливих для навколишнього середовища речовин у підвищеній концентрації та не становлять небезпеки для навколишнього середовища. Для цих цілей можуть використовуватись шахти, виведені з експлуатації кам'яні кар'єри або колишні родовища копалин з відкритим способом видобутку, що відповідають принциповим гідрологічним вимогам.

Цей тип полігону є найпоширенішим технічним варіантом захоронення інертних відходів або залишкових матеріалів після обробки цих відходів.

Значний обсяг відходів, які можуть служити вторинними сировинними ресурсами, утворюється на самих підприємствах по виробництву будівельних матеріалів. Це відходи виробництва залізобетону, скляний і керамічний бій, цементний пил, відходи виробництва мінеральної вати тощо. Комплексне використання такої сировини на більшості підприємств дозволяє створювати безвідходні технології, при яких вторинні сировинні ресурси переробляють на будівельні матеріали.

Теоретично, можливо використовувати всі будівельні відходи, але за умови його сортування. Навіть пошкоджені бетон, керамічна плитка та цегла можуть подрібнюватися і додаватися в нові будівельні компоненти, або використовуватися як цінні продукти в інших секторах циркулярної економіки. Ефективне управління відходами допомагає зменшити кількість небезпечних відходів на звалищах та викидів CO₂, мінімізувати витрати, пов'язані з новим будівництвом, та отримати додаткову цінність і нові робочі місця.

Сортування має вирішальне значення для максимального відновлення вторинної сировини та мінімізації забруднення, і включає ефективні системи відокремлення та сортування будівельних відходів на різні типи, такі як бетон, деревина, метал, пластик, гіпсокартон, скло та інші матеріали. Для цього використовують великі контейнери для накопичення будівельного сміття окремо за видами.

Традиційна практика знесення ускладнює повернення цінних ресурсів, оскільки повне руйнування будівель і споруд може створити змішану суміш щебню з цеглою, з якої важко видобути матеріали для повторного використання. Змішаний щебінь придатний для вторинного використання в будівництві, дорожньому господарстві, благоустрої та рекультивації міських територій.

Відходи бетону, цегли та кам'яної кладки, включаючи битий бетон та щебінь від знесених конструкцій, переробляють за допомогою методів дроблення та просіювання, які перетворюють ці відходи на заповнювачі бетону. Після збору відходів з будівельного майданчика вони мають пройти процес сортування за допомогою віброситового сепаратора з ситами стандартних розмірів від 150 мікрон до понад 20 мм. Відокремлений матеріал класифікується на фракції певного розміру, такі як >20 мм, 10-20 мм, 6-10 мм, 4,75-6 мм, 2,36-4,75 мм, 1,18-2,36 мм, 600 мікрон-1,18 мм, 300-600 мікрон, 150-300 мкм і <150 мкм.

Відходи деревинних матеріалів, що включають габаритні пиломатеріали, фанеру та іншу деревину, за можливості повторно використовують, або переробляють за допомогою дроблення і подрібнення для виробництва

деревної стружки чи мульчі, чи переробляють на деревяно – стружкові плити, дерево-полімерні композити тощо. Якщо відходи деревини не підлягають переробці, їх перетворюють на паливну сировину. Інновації в переробці відходів деревини включають каскадування переробки, коли з маси відходів поетапно виробляються різні цінні продукти; інноваційні автоматизовані методи сортування; фізико-хімічні процеси для очищення залишків клею з поверхні деревини; і процеси біоре mediaції для очищення небезпечної деревини, забрудненої важкими металами або креозотом.

Металеві конструкції, такі як брут конструкційної сталі, чорних і кольорових металів, що використовуються в будівництві, відновлюють за допомогою сортування, подрібнення та плавлення, що дозволяє видобувати цінні метали для повторного використання у виробництві та будівництві.

Відходи гіпсокартону при захороненні на звалищах виділяють сірководень (токсичний газ з неприємним запахом). Панелі з гіпсокартону, облицювання та залишки швів, переробляють за допомогою таких методів, як переробка гіпсу, коли гіпс відокремлюють від облицювального паперу та переробляють на нові гіпсові вироби.

Переробку окремих горючих складових будівельних відходів, наприклад, лінолеуму чи м'яких покрівель, доцільно після подрібнення спалювати у цементних печах, де за рахунок високих температур відбувається їхнє повне розкладання на нетоксичні складові та згоряння з утворенням додаткового тепла.

15.1. Рециклінгова переробка бетонних виробів

Найбільш поширеними будівельними матеріалами, які підлягають рециклінговій переробці є бетонні і залізобетонні вироби. Будучи одним із найбільш широко використовуваних матеріалів у всьому світі, з оціночним річним використанням близько 25 Гт, бетон має значний вплив на навколишнє середовище. Процес переробки бетонних відходів вирішує це шляхом зменшення видобутку природних ресурсів, зниження викидів парникових газів, пов'язаних як з виробництвом бетону,

Демонтаж залізобетону проводиться під час знесення більшості споруд, тому переробка бетону набула найбільшого поширення. Вторинний щебінь різних фракцій, який одержують з бетону знесених будівель, придатний для повноцінного повторного використання в будівельній галузі. Під час видобування сировини та виробництві природного щебеню з кам'яної сировини витрачається у 8 разів більше енергії, ніж під час отримання його при подрібненні бетонних відходів. Вторинний щебінь може повноцінно

замінювати від 20 до 60 % від загального обсягу виробництва гранітного щебеню. Це значно скорочує витрати на придбання свіжих будівельних матеріалів (до 40 %), оскільки за високотехнологічних методів рециклінгової переробки якість вторинного щебеню мало поступається природному. Вартість такого заповнювача у два рази дешевша, ніж первинних щебнів, крім того, під час підготовки бетонного розчину на такому заповнювачі витрати в'язучих речовин можуть бути скороченими на 25 %.

Подрібнення бетонних уламків зі знесених конструкцій у придатні для використання матеріали не тільки зберігає бетонні вироби від захоронення на звалищах, але й зменшує попит на первинну сировину (гравій і пісок), які є необхідними для виробництва нового бетону. Перетворюючи відходи на цінні ресурси, переробка бетону втілює суть циркулярної економіки - переробку та повторне використання матеріалів для мінімізації кількості відходів і впливу на навколишнє середовище.

При демонтажі будівель за допомогою екскаваторів проводиться розділювання великих шматків будівельних відходів на окремі сегменти. Переробка цих відходів полягає в руйнуванні конструкцій за допомогою спеціального устаткування, видаленні сталюї арматури, дробленні, фракціонуванні. Великі шматки залізобетонних попередньо розбивають за допомогою екскаватора або розрізають на менші шматки, використовуючи спеціальне навісне обладнання - гідромолот або гідронозиці (рис.193 – 194). Чим менші за розмірами відділені шматки, тим легше здійснюється подальше сортування, вторинне використання і переробка відходів. Доцільно поблизу зруйнованих будівель розташовувати дробильну установку, за допомогою якої бетон переробляють на щебінь. Попереднє дроблення залізобетону полегшує транспортування крупногабаритних відходів на відповідні підприємства для подальшої рециклінгової переробки.

Процес дроблення та сортування залізобетонних виробів являє собою комплекс технологічних операцій, який включає: прийом будівельних відходів, попередню підготовку для переробки, попереднє сортування з відбором дрібної фракції та видаленням її з технологічного процесу, безпосередньо процес дроблення, транспортування подрібненої маси на ділянку складування або на подальше просіювання, вилучення сталюї арматури методом магнітної сепарації.

Від необхідної глибини переробки матеріалу (фракційного складу і крупності фракцій одержуваного матеріалу) залежить вибір агрегатів для стадій дроблення, кількість агрегатів сортування і типи грохотів. Так, наприклад, заданий фракційний склад і ступінь забрудненості відходів впливають на вибір

типорозміру дробарок і обумовлюють необхідність введення етапу попереднього сортування на колосниковому гуркоті.



Рисунок 193 - Гідравлічний екскаватор, оснащений гнучким багатоцільовим інструментом



Рисунок 194 - Гідравлічні ножиці, які здатні різати арматуру і бетон, захоплювати і переносити відрізані частини будівлі

Дробильно-сортувальні комплекси для переробки будівельних відходів можуть бути виконані як у вигляді стаціонарних технологічних ліній, так і у вигляді мобільних агрегатів на шасі.



Рисунок 195 - Мобільна дробарка бетону

Перевага постійних майданчиків переробки зі стаціонарним обладнанням полягає у їхній можливості організувати весь процес переробки матеріалів з забезпеченням високого рівня якості. Це дозволяє зменшувати або пом'якшувати вплив процесу переробки на навколишнє середовище.

Зберігаючи на складських майданчиках запас різних перероблених матеріалів (різноманітний подрібнений бетон, плитка, кераміка) вони мають більшу гнучкість на ринку перероблених матеріалів. Такий постійний майданчик вторинних матеріалів може розглядатися як «місцевий гравійний кар'єр», де виготовляються високоякісні заповнювачі для будівництва доріг та виготовлення бетону. Недоліками постійних майданчиків переробки є потреба у виділенні великих земельних ділянках та необхідність постійних поставок будівельних відходів, щоб гарантувати прибутковість рециклінгової діяльності. Це також може призвести до вищих затрат на транспортування через більші відстані від об'єкта знесення до постійного майданчика переробки.

Для переробки будівельних відходів може застосовуватися традиційне дробильно-сортувальне обладнання, основним призначенням якого є переробка гірських порід і нерудних матеріалів (рис.196). Однак в останні десятиліття спеціально під замовлення переробників будівельних відходів було розроблено спеціалізоване обладнання, що дозволило підвищити ефективність рециклінгу різнорідних матеріалів, які входять до складу

будівельного брухту. До складу стаціонарної лінії подрібнення будівельних відходів входять: агрегат завантаження, агрегат крупного дроблення з щоковою дробаркою, електромагнітні сепаратори для відділення сталевих елементів, агрегат сортування з трьохситовим гуркотом, агрегат середнього дроблення з роторною дробаркою, блок управління, конвеєри. Все це дозволяє на першій стадії подрібнити будівельні відходи, а на другий - довести до необхідного гранулометричного розміру, забезпечивши, тим самим, можливість їх повторного використання. Щебінь розділяється на фракції 10–20, 20–40, 40–80 мм та використовується як заповнювач під час виготовлення бетону та залізобетону. Відсів з розмірами частинок менше 5 мм доцільно використовувати як наповнювач для виготовлення пористих бетонів та будівельних розчинів.



Рисунок 196 - Стаціонарний дробильно-сортувальний комплекс для переробки будівельних відходів

Переробка відходів будівництва та знесення є поширеною практикою в багатьох розвинених країнах. У Європі та США працюють заводи з переробки відходів будівництва та знесення для управління потоками відходів потужністю від 500 до 1500 т на день. Відходи будівництва та знесення доставляються на майданчик вантажівками. Великогабаритні відходи (більше 300 мм), такі як камінь, пластик, дерево, сталь, метал або бетон, спочатку сортуються за допомогою вібраційного грохота. Такі відходи, як пісок, ґрунт, гравій, щебінь або галька, менші за розмір отвору вібраційного грохота, пропускаються через перший робочий блок і направляються послідовно на горизонтальний грохот та дисковий грохот (29-40 мм). Чорні метали

відбирають за допомогою підвісного електромагнітного сепаратора. Відновлені чорні метали передаються для вторинної переробки на металургійних заводах. Залишки відходів, відділяються проходячи через повітряний класифікатор (папір, пластик), направляються в ручну сортувальну установку для подальшого розділення. Продукти, зібрані в процесі ручної сепарації, складаються в основному з деревної стружки та інших відходів, таких як брухт шин, не магнітні метали.

Ряд технологій переробки будівельних відходів включають використання засобів переробки матеріалів на місці демонтажу – розміщення на будівельних майданчиках обладнання для сортування, подрібнення та переробки будівельних відходів. Переробку бетону на будмайданчику здійснюють відразу після демонтажу об'єкта на мобільних комплексах на єдиному колісному або гусеничному шасі (рис.215). Вага таких машин від 30 до 100 т, продуктивність - від 100 до 450 т вторинної продукції за годину. У складі мобільного комплексу об'єднують набір обладнання, зібраний на єдиному мобільному шасі або стаціонарно встановленої рамі і призначений для виконання комплексу супутніх технологічних операцій - прийому і подачі матеріалу, попереднього розсіювання і відбору неефективних фракцій з подальшим їх відділенням з камери дроблення, безпосередньо процесу дроблення, просіювання, вилучення металевих включень.



Рисунок 197 - Мобільний дробильно-сортувальний комплекс для переробки будівельних відходів

Важливість переробки бетону на безпосередньо об'єкті демонтажу в тому, що габаритні уламки демонтованих конструкцій далеко не завжди можна завантажити в кузов вантажівки для транспортування за межі майданчика. До недоліків мобільних дробильно-сортувальних комплексів можна віднести їх обмежену потужність та потенціальний шкідливий вплив при роботі на навколишнє середовище.

Відновлення житла в Україні потребує впровадження універсальних технологій швидкого будівництва, які дозволяють зводити стійкі та доступні будівлі. 3D-друк бетону порівняно з традиційними методами будівництва може забезпечити вищі темпи зведення, значно менше використання людського ресурсу, а також заощадження матеріалів та енергії (рис.198). Ця технологія використовує 3D-принтери для створення монолітних будівель з використанням будівельних сумішей на основі бетону, який програмовано заливається шар за шаром. Цей метод дозволяє значно прискорити процес будівництва, зменшити витрати на робочу силу та матеріали, а також відкриває нові можливості для архітектурного дизайну. 3D - принтери здатні створювати каркас та стіни будівель, для завершення проекту можуть знадобитися додаткові роботи, такі як встановлення вікон, проведення електромонтажних робіт та сантехніки.

Науковці Київського національного університету будівництва та архітектури спільно з партнерами реалізують міжнародний проєкт «Розробка нових підходів і конструкційних матеріалів для відновлення пошкодженої інфраструктури України з урахуванням екологічної стійкості». Мета проєкту – створити новітні бетонні суміші з використанням відходів, зокрема зруйнованих конструкцій, для будівництва методом 3D-друку та традиційним способом. Новий матеріал призначений для будівництва цивільних антисейсмічних та військових споруд і конструкцій (рис.199).

Заповнювачі, що використовуються для дорожньої основи, застосовуються переважно пошарово. Завдяки вмісту цементу в матеріалі нижнього шару, отриманого зі старого бетону, його якість є кращою, ніж якість відповідного матеріалу, отриманого з натурального піску і гравію. Дроблений бетон і стінові вироби також використовуються як альтернатива ґрунту або природному каменю у земляних укріпленнях та насипах, для заповнення отворів, шахт, каналів тощо, а також для вирівнювання місцевості для будівельних робіт.

У Європі використання бетону на перероблених заповнювачах не має великого поширення. Бетон на вторинних заповнювачах переважно застосовують при малоповерховому будівництві, заливці фундаментів складських і виробничих приміщень, при будівництві гаражів, підсобних приміщень і фундаментів.

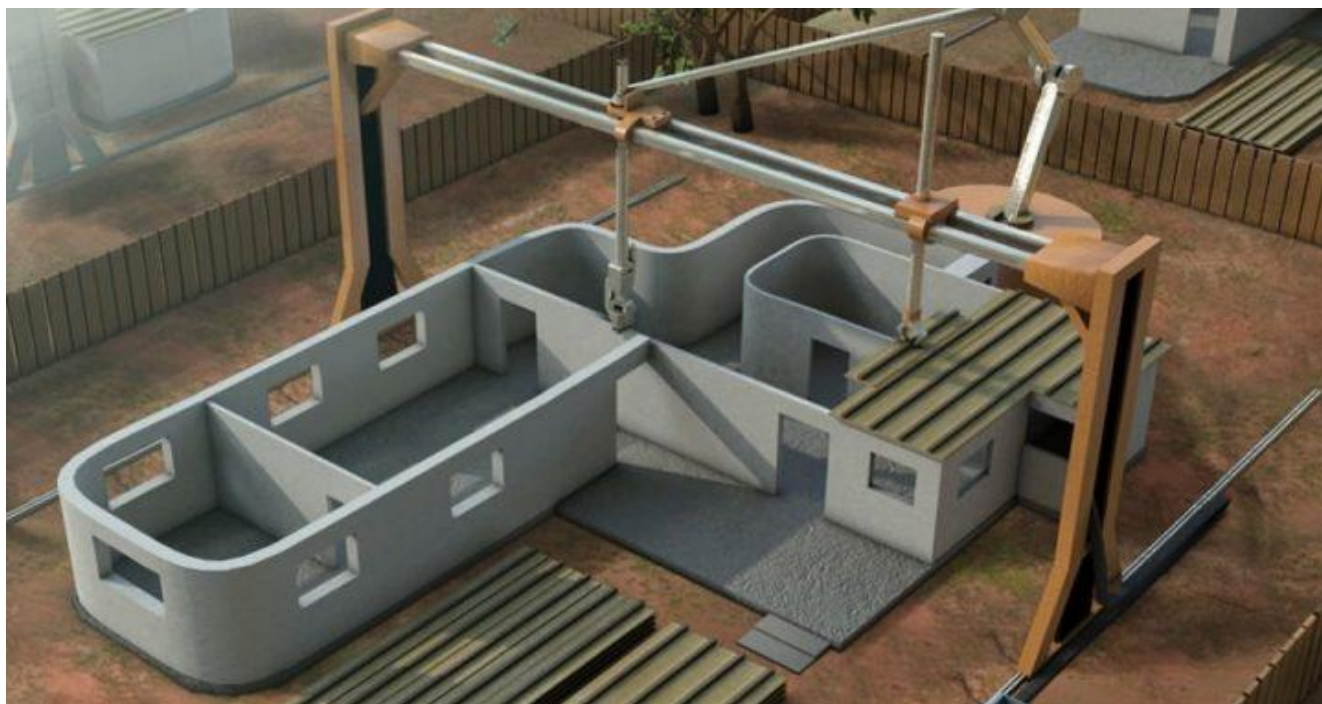


Рисунок 198 – Модель 3D-друку бетонних будівель



Рисунок 199 – Бетонна будівля, яка споруджена методом 3D-друку

15.2. Рециклінг матеріалу асфальтобетонних покриттів

Асфальтобетон – це будівельний матеріал, який формується при тисненні ущільненої суміші щебеню (гравію), піску, дрібноподрібненого мінерального порошку (мелений доломіт, вапняк) та бітуму. Асфальтовий бітум - це дьогтеподібна речовина, в'язка в розігрітому до 300°C стані і тверда в охолодженому стані. Бітум є продуктом переробки нафти, який виступає в ролі в'язучого, який склеює компоненти і робить асфальтову суміш водостійкою і міцною. У складі асфальтобетонного покриття вміст бітуму знаходиться в межах 4,5...6,0%, решта - щебінь, гравій і пісок. Бітум може виконувати зв'язуючу роль в умовах багаторазового рециклінгового відновлення. Змішування бітумів з інертними матеріалами (щебенем, гравієм і піском), істотно підвищує міцність асфальтобетонної суміші. Додатки мінерального порошку посилює клеючу здатність, пластичність, пружність і міцність бітуму. Це забезпечує підвищення стійкості дорожнього покриття до деформацій та збільшує термін його служби.

Під час приготування асфальтобетону наповнювач нагрівають до температури 100–160 °C і змішують з розплавленим в'язучим компонентом. У залежності від температури укладання асфальтобетон поділяють на: гарячий (на в'язких і рідких нафтових бітумах з укладанням за температури не нижче 120°C), теплий (на малов'язких бітумах з укладанням за температури 50...100°C) і холодний (на рідких нафтових бітумах з укладанням без нагріву, але за температури навколишнього середовища не нижче 5°C).

Асфальтобетонне покриття автомобільних доріг піддається постійному впливу механічних навантажень від транспортних засобів. Крім того, на нього впливають погодні умови і ґрунтово-гідрологічні чинники. Накопичення внутрішніх напружень і деформацій дорожнього полотна призводить до руйнувань верхнього шару дорожнього полотна у вигляді тріщин та вибоїн. Відходи асфальту, включно з видаленим асфальтним покриттям, можуть бути перероблені для повторного використання в будівництві доріг. Переробка асфальтобетонного покриття є екологічно безпечною практикою, оскільки вона зменшує потребу в новій сировині та зменшує кількість утворених відходів. Переробка асфальтобетонного покриття вимагає менших затрат енергії, ніж виробництво нових матеріалів. Процес створення нового асфальтобетонного покриття передбачає нагрівання сировини до підвищених температур, у той час як рециклінгова переробка асфальтового покриття вимагає лише повторного нагріву існуючих матеріалів.

Після закінчення ресурсного терміну експлуатації дорожнього покриття в його складі зберігається до 90% корисної маси асфальтобетонного матеріалу,

придатного для використання у якості вторинного матеріалу. Регеноване асфальтове покриття - це видалені та/або повторно оброблені матеріали для покриття, що містять бітум і наповнювачі. Ці матеріали утворюються, коли асфальтне покриття видаляють для реконструкції, відновлення покриття або для отримання доступу до підземних комунікацій. Асфальтове покриття можна знову і знову переробляти для використання на проїжджій частині, гарантуючи таку ж довговічність, як і покриття, виготовлені на 100% із первинних матеріалів.

Демонтаж старого асфальтобетонного покриття шляхом розлому автогрейдером та бульдозерами призводить до утворення шматків асфальтобетону різних розмірів, які називаються асфальтобетонним брукотом. Товщина знятих пластів становить від 5 до 15 см. Конкуренцію традиційним способам зняття дорожнього полотна представляють сучасні дорожні фрезерні установки, які оснащені обертовими фрезерними барабанами для зрізання старого асфальтобетону на необхідну глибину (рис.200). Ширина прорізуваної смуги на дорозі при видаленні асфальтобетонного покриття залежить від ширини фрезерного барабана і варіюється в межах від 350 мм до 2200 мм. Сталеві зуби барабанів зрізають необхідний шар асфальтобетонного покриття і прорізають на залишках основи асфальтобетонного покриття неглибокі борозни для поліпшення зчеплення матеріалу, що залишився не зрізаним, з новим укладеним шаром асфальтобетону.

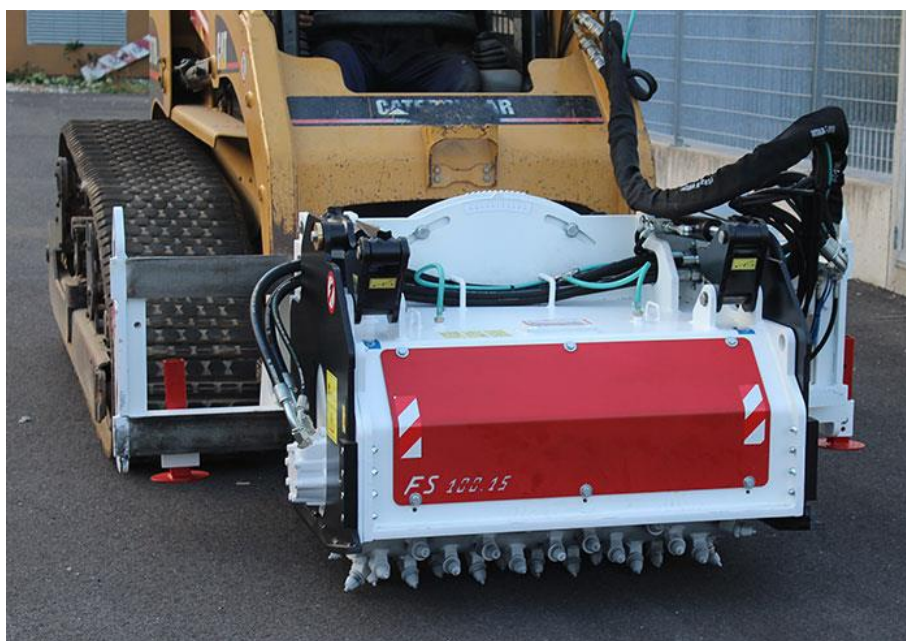


Рисунок 200 - Дорожна фреза для зняття верхнього шару асфальтобетонного покриття

Фрезерування шарів дорожнього полотна може виконуватися за двома різними технологіями:

- гарячим фрезеруванням, що проводяться в умовах попереднього розігріву асфальтобетонного покриття;

- холодним фрезеруванням, при якому зрізання верхнього шару покриття проводиться без розігріву.

При гарячому фрезеруванні асфальт попередньо нагрівається і розм'якшується за допомогою мобільних інфрачервоних пальників, що працюють на горючому газі (пропан - бутанова суміш) або на дизельному паливі. Розігрів допомагає знизити величину зусилля, яке потрібно розвинути фрезерному барабану для зрізання шару асфальту. Головними перевагами гарячого фрезерування вважається швидкість проведення ремонтних робіт, оскільки нагріте асфальтобетонне покриття зрізається легко з мінімальними енергетичними затратами.

До недоліків гарячого фрезерування відносять:

- значні затрати на паливо для розігріву асфальтобетонного покриття;
- висока пожежна небезпека при експлуатації нагрівальних установок та небезпека отримання опіків персоналом;
- зрізаний розігрітий асфальтовий матеріал злежується у монолітні блоки, що робить його незручним для повторного застосування.

Холодне фрезерування вимагає прикладання більших зусиль і є менш продуктивним. В той же час, до переваг холодного фрезерування відноситься:

- незміність структури покриття, що дає можливість більш ефективно використовувати знятий матеріал у складі утилізованої асфальтобетонної суміші;
- при зберіганні в штабелях шматки зрізаного асфальтобетону не злежуються;
- вища економічність процесу холодного фрезерування.

Утворені відходи покриття подрібнюються. Зрізаний асфальт відправляється на переробний завод для зберігання та переробки. При нагріванні асфальтових залишків відбувається розтоплення бітуму, і суміш стає придатною для повторного використання. На стадії нагрівання та змішування до складу суміші додають свіжі добавки наповнювача та бітуму.

Залежно від місцевого зонування та правил мощення, перероблений асфальт може мати обмежене використання. Для збалансованої асфальтобетонної суміші в штаті Техас (США), максимальна кількість переробленого асфальтобетону, що використовується в міських проектах мощення, повинна становити 20% на поверхні, 30% на проміжному рівні і 40% в основі.

За місцем проведення технологічних заходів утилізації розрізняють два способи переробки знятого дорожнього покриття:

- регенерацію старого асфальтобетону в стаціонарних умовах, яка передбачає попередній демонтаж дорожнього покриття і відправку асфальтобетонного бруксту на асфальтобетонний завод для переробки;

- рециклінг асфальтобетонного покриття безпосередньо на місці реконструкції полотна, що передбачає переукладання покриття з використанням спеціальної дорожньої техніки - реміксерів, рециклера, розігрівача асфальту тощо.

Технологічний ланцюг переробки асфальтобетону на асфальтобетонному заводі складається з наступних етапів.

- 1.Транспортування бруксту на асфальтобетонному заводі.

- 2.Складування асфальтобетонного бруксту в штабелях на складській території.

- 3.Дроблення кускового бруксту (до 60 см) в дробильно-сортувальних установках до розмірів, що не перевищують 40 мм (рис.201). Для матеріалу, отриманого шляхом холодного фрезерування, проведення даної операції виключається.

- 4.Нагрівання грануляту в спеціальній печі без відкритого полум'я для відновлення в'язучих і пластичних властивостей старого бітуму в складі знятого асфальтобетону. При нагріванні грануляту в печах необхідно дотримуватися температурні режими (не вище 180⁰С), які не допускають початку випаровування легких фракцій зі складу бітуму і його вигорання.

- 5.Додавання порції свіжого бітуму для коригування в'язучих і пластичних властивостей асфальтобетонної суміші відповідно до рецептури.

- 6.Приготування асфальтобетонної суміші в змішувачах барабанного типу шляхом перемішування розігрітого грануляту зі свіжими компонентами і бітумом.

- 7.Доставка асфальтобетонної суміші на об'єкт і укладання покриття традиційними методами з використанням котків.

Гаряча переробка зрізаного асфальтобетону попередні роки ототожнювалася з роботами в стаціонарних заводських умовах на території з розвинутою виробничою інфраструктурою (склади, транспортні шляхи для завезення асфальтового бруксту та вивезення приготовленої асфальтобетонної суміші, ємності з бітумом тощо). З появою мобільних асфальтобетонних заводів переробку асфальту здійснюють безпосередньо на ремонтуємій ділянці дороги, забезпечуючи виконання всіх необхідних технологічних операцій.

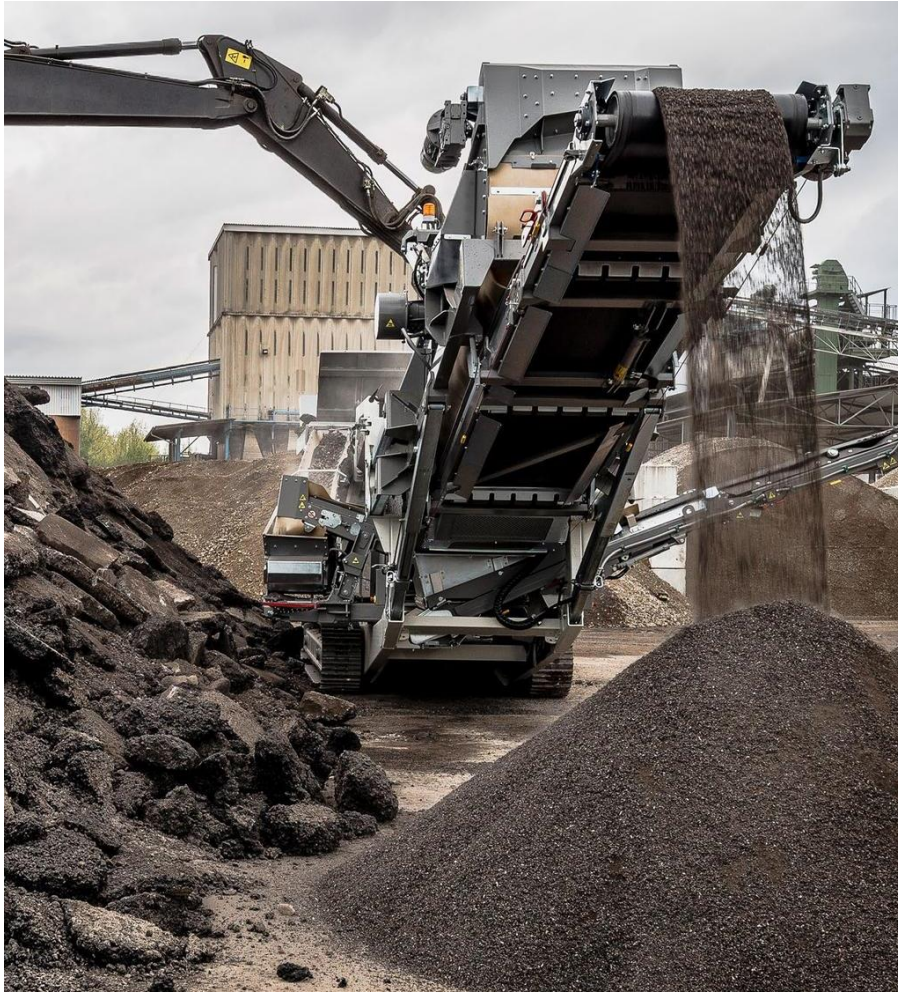


Рисунок 201 - Подрібнення асфальтобетонного брухту на асфальтобетонному заводі

Термопрофілювання асфальту це гарячий спосіб переробки відпрацьованого асфальтобетонного покриття, який здійснюється безпосередньо на місці ремонту дорожнього полотна. Для технологій термопрофілюванням характерним є проведення наступних операцій:

- розігрів верхнього шару асфальтобетонного покриття;
- зрізання фрезами розігрітого шару асфальтобетонного покриття;
- перемішування зрізаних компонентів зі свіжими добавками бітуму, введення пластифікаторів або свіжої асфальтобетонної суміші;
- укладка нового асфальтобетонного покриття.

Гаряча переробка асфальтобетонного брухту на асфальтобетонному заводі має наступні переваги:

- можливість постійного контролю якості компонентів старого асфальтобетонного покриття;
- регулювання рецептури суміші з урахуванням складу асфальтобетонних відходів;

- можливість використання до 80% старого матеріалу без зниження властивостей асфальтобетонної суміші.

До недоліків гарячої переробки асфальтобетонного брухту в стаціонарних умовах відносять наступне:

- високі витрати на перевезення демонтованого покриття;
- висока енергоємність процесу нагрівання компонентів асфальтобетонної суміші;
- наявність канцерогенних вуглеводнів і мінерального пилу в димових викидах печей.

Останні роки на асфальтобетонних заводах розширюється використання холодної переробки асфальтобетонного брухту. Замість розігріву в змішувачах подрібнені шматки асфальтобетонного покриття або гранулят від дорожньої фрезерування змішуються з емульсійними добавками, після чого асфальтна маса стає придатною для укладання дорожнього покриття. Бітумна емульсія - це емульгований рідкий бітум, який одержують шляхом змішування бітуму і водного розчину емульгатора. До складу бітумних емульсій входять: бітум – 50...55% від загальної маси, вода - до 50%, емульгатор з поверхнево-активних речовин - 0,15...3%. Утворена суміш є однорідною та має високі клеючі властивості. Низька в'язкість емульсій дозволяє здійснювати обробку кам'яних матеріалів без підігріву. Крім того, рівень викидів шкідливих речовин в атмосферу є значно нижчим, у порівнянні з застосуванням гарячих бітумів.

Установки рециклінгу асфальтобетонних покриттів - це високорентабельні комплекси, виробництво яких успішно освоєно багатьма світовими брендами, що спеціалізуються на складанні промислового обладнання (рис.202). Компактні мобільні установки для переробки асфальту призначені для перетворення кускового або фрезерованного відпрацьованого асфальту у готову асфальтову суміш. Головною перевагою мобільних установок для рециклінгу асфальту є те, що вони здатні перетворювати старий асфальт в нову асфальтову суміш безпосередньо на місці укладання дорожнього полотна, що істотно знижує витрати, пов'язані з вивезенням старого асфальту на утилізацію і закупівлею нової партії асфальту і доставкою її на місце виконання робіт.

Технологія процесу являє собою безперервне подрібнення старого асфальту за допомогою особливої системи лопатей, яка встановлена в обертовому змішувальному барабані, при конвективному нагріванні суміші за допомогою пальника, який працює на дизельному паливі. Його полум'я не вступає в прямий контакт з матеріалом усередині барабана змішувача і тим самим виключається вигорання бітумної складової з суміші, яка переробляється. Старий асфальт завантажується в передній частині

установки і вивантажується через люк, розташований в задній частині рециклера. В процесі переробки утворюється високоякісна асфальтова суміш, готова до укладання на поверхню ремонтуємої дороги. Особливо ефективні такі установки при проведенні капітального ремонту доріг.



Рисунок 202 - Установка горячего рециклинга асфальтобетонных покрытий

Для проведення ремонту дорожніх покриттів також використовуються мобільні установки холодного рециклінгу. Роботи по холодному рециклінгу виконуються мобільними установками в наступній послідовності:

- зняття холодним фрезеруванням старого асфальтобетонного покриття на глибину понад 30 см;
- подрібнення асфальтобетонного матеріалу в барабані і одночасна його обробка бітумною емульсією;
- розподіл обробленого грануляту рівним шаром по дорожньому покриттю;
- ущільнення нанесеного шару ущільнюючим брусом;
- просочення ущільненого шару бітумною емульсією ;
- заключне ущільнення дорожніми катками.

До переваг холодного рециклінгу дорожніх покриттів мобільними установками відносять:

- малі витрати енергії;
- вищу екологічну чистоту технології;
- якісну регенерацію покриття.

При цьому відзначається висока складність та вартість мобільних установок мобільного типу, а також матеріалів (емульгаторів і т.п.).

Контрольні питання для самоперевірки

1. Яким чином утворюються будівельні відходи?
2. Дайте характеристику складу будівельних відходів відходів.
3. Які складові будівельних відходів найбільш часто підлягає утилізації?
4. Назвіть переваги та недоліки застосування стаціонарних установок для утилізації залізобетонних виробів.
5. Опишіть основні етапи утилізації залізобетонних виробів.
6. Які технологічні операції виконуються на мобільних дробильно-сортувальних комплексах?
7. Які складові входять до складу асфальтобетонних покриттів?
8. Охарактеризуйте процес гарячого фрезерування асфальтобетонних покриттів.
10. Яким чином проводиться гаряча переробка асфальтобетонних покриттів?
11. Опишіть технологію холодного рециклінгу асфальтобетонних покриттів.

Список використаних джерел

1. Айрапетян Т. С. Технології переробки та утилізації відходів : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / Т. С. Айрапетян, С. М. Епоян ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 116 с.
2. Белятинський А. О. Утилізація автошин методом гідроабразивної деструкції гуми. Монографія / А. О. Белятинський, В. М. Бадах, Ю.С. Головка, В. М. Першаков. Під заг. ред. д.т.н., проф. В. М. Першакова. – К.: ТОВ «НВФ «Славутич-Дельфін», 2018. – 148 с.
3. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.
4. Виробництво енергії з біомаси в Україні: технології , розвиток, перспективи / Ін-т технічної теплофізики НАН України; за ред. Г. Гелетухи. — Київ: Академперіодика, 2022. - 373 с.
5. Вовк О. Б., Войцеховська В. В., Загорецька О. Я., Лесик Л. І., Пашкевич В. З., Симак А. В. Алгоритм вторинного перероблення паперу в умовах природо – ресурсного господарства / Науковий вісник НЛТУ України, 2019, т. 29, № 3 с.114-119.
6. Галушкіна Т.П., Мусіна Л.А., Потапенко В.Г. Основні засади впровадження моделі зеленої економіки в Україні / за ред. Т.П. Галушкіної// Галушкіна Т.П., Мусіна Л.А., Потапенко В.Г.— К. Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування. 2017. 154 с.
7. Дейнеко Л. В. Циркулярна економіка як напрям промислової модернізації: європейський досвід / Л. В. Дейнеко, О. О. Ципліцька // Економіка: реалії часу. Науковий журнал. – 2018. – № 5 (39). – с. 30-40.
8. Екологічна біотехнологія. Навчальний посібник для студентів спеціальності 7.91607 - Біотехнологія. / Гуляєв В.М., Волошин М.Д. - Дніпропетровськ: 2006. – 126 с.
9. Ігнатенко О.П., Ткачук Л.М. Послуги поводження з побутовими відходами в громадах. Практичний посібник. - Київ, 2019. – 48 с.
10. Каратєєва О. І. Технологія переробки побутових відходів та відходів сільського господарства / О. І.Каратєєва, О. А. Коваль, В. І. Гроза. Миколаїв: МНАУ, 2018. 190 с.
11. Кращі європейські практики управління відходами (посібник) / А. Войціховська, О. Кравченко, О. Мелень-Забрамна, М. Панькевич// Львів: Видавництво «Компанія Манускрипт», 2019. - 64 с.

12. Науковий підхід до налаштування рециклінгу шлаків: колективна монографія / НАН України, Ін-т економіки пром-сті. - Київ, 2022. 136 с.
13. Петрук В. Г. Управління та поводження з відходами. Частина 2. Тверді побутові відходи: навчальний посібник / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С. М. Кватернюк, П. М. Турчик, В. А. Іщенко, Р. В. Петрук. Вінниця: ВНТУ, 2013. 243 с.
14. Петрук В. Г. Управління та поводження з відходами. Частина 3. Полігони твердих побутових відходів: навчальний посібник / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, В. А. Іщенко, Р. В. Петрук. Вінниця: ВНТУ, 2016. -137 с.
15. Ратушняк, Г. С. Біогазові установки з відновлюваними джерелами енергії термостабілізації процесу ферментації біомаси / Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк, І. А. Кощеєв. Вінниця: ВНТУ, 2017. -110 с.
16. Поводження з муніципальними відходами: навч. посібн. для студ. закладів вищої освіти/ І.В. Коваленко, І.О.Кузнецова, Р.І.Шевченко, О.Л. Гаркович. Одеса: ОНАХТ «Академія», 2018. -150 с.
17. Тимошик А.М., Ціж Б.Р., Варивода Ю.Ю., Чохань М.І. Виробництво біогазу. Навчальний посібник. – Львів: В-во ЛНУВМ та БТ ім. С.З. Гжицького, 2019. – 52 с.
18. Циркулярна економіка. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальностями 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» / Є.С. Цюман, В.І. Зюзюн; Національний транспортний університет. – Київ: НТУ, 2023. – 133 с.
22. Циркулярна політика управління відходами: підручник / А. І. Крисоватий, Р. Є. Зварич, І. Я. Зварич. Тернопіль: ЗУНУ, 2023. - 458 с.
16. Яценко О. М. Циркулярна економіка як незворотний глобальний мегатренд та драйвер сталого розвитку / Збірник наукових праць, Науковий вісник Одеського національного економічного університету № 11-12. 2022, с.131 - 143.
23. Управління та рекуперація відходів: навч. посіб. / С. В. Станкевич, Л.В. Головань, Є.М. Білецький та інш. // Х.: Видавництво Іванченка І. 2020. – 134 с.
24. Шилович Т.Б. Утилізація упакувань: Навчальний посібник. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. - 51 с.
25. Handbook of Electronic Waste Management. International Best Practices and Case Studies/ Prasad M., Vithanage M.// Elsevier Inc. 2020– p.644.
26. Pučnik R. A waste separation system based on sensor technology and deep learning: A simple approach applied to a case study of plastic packaging waste/

Pučnik R., Dokl M., Fan Y., Vujanović A., Novak Z./ Journal of Cleaner Production. Volume 450, 15 April 2024,

27. Hsu J., Wang J., Stern M. E-Waste: A Global Problem, Its Impacts, and Solutions /Journal of Global Information Management. Vol. 32. Issue 1, 2020, p.1-28

28. Chen B., Perumal P., Illikainen M., Ye G. A review on the utilization of municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ash as a mineral resource for construction materials /Journal of Building Engineering. Vol.71, 2023.

29. Szeberényi A., Adam B. Y., Sharma Er. H. Plastic recycling and waste management // 2023, p.261 <https://www.researchgate.net/publication/374118314>

30. Hagelüken C., Goldmann D. Recycling and circular economy-towards a closed loop for metals in emerging clean technologies // Mineral Economics (2022), 35. P. 539–562.

31. Dodampegama S., Hou L., Asadi E., Zhang G., Setunge S. Revolutionizing construction and demolition waste sorting: Insights from artificial intelligence and robotic applications // Resources, Conservation and Recycling. Vol. 202, March 2024.

32. Howard A. Sorting plastics waste for a circular economy: Perspectives for lanthanide luminescent markers // Resources, Conservation and Recycling. Vol. 205, June 2024.

20. Ewijk S., Stegemann J. An Introduction to Waste Management and Circular Economy, Monograph// London: UCL Press., 2023, p.409.

21. Purchase C. Circular Economy of Construction and Demolition Waste: A Literature Review on Lessons, Challenges, and Benefits Materials (Basel). 2021.

22. Tchobanoglous G., Kreith F. Handbook of solid Waste Management // McGRAW-HILL, 2002, p.834.

Інформація щодо розподілу функцій і повноважень структурних підрозділів органів державної влади та місцевого самоврядування, на які покладено функцію управління відходами та здійснення контролю в цій сфері

Учасниками системи управління відходами є суб'єкти у сфері управління відходами; Міністерство економіки, довкілля та сільського господарства України; Міністерство розвитку громад та територій України, Міністерство охорони здоров'я України, Державна екологічна інспекція України, Державна екологічна інспекція Придніпровського округу (Дніпропетровська та Кіровоградська області), органи місцевого самоврядування, які виконують завдання у сфері управління відходами.

Міністерство економіки, довкілля та сільського господарства України Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, як центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони навколишнього природного середовища, відповідно до статей 20 та 21 Закону України «Про управління відходами», уповноважене на:

- 1) забезпечення формування державної політики у сфері управління відходами;
- 2) затвердження порядку розроблення планів управління відходами підприємств, установ та організацій;
- 3) затвердження порядку державного обліку відходів та подання звітності;
- 4) затвердження правил технічної експлуатації установок із спалювання відходів та установок із сумісного спалювання відходів;
- 5) затвердження правил технічної експлуатації полігонів, припинення експлуатації, рекультивації та догляду за полігонами після припинення їх експлуатації;
- 6) затвердження форми та порядку обліку відходів;
- 7) затвердження порядку розроблення програми контролю та моніторингу полігону та вимог до неї;
- 8) укладання в передбаченому законом порядку міжнародних договорів України щодо співробітництва у сфері управління відходами та контролю за транскордонним перевезенням відходів;
- 9) забезпечення обміну інформацією з центральними та місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, міжнародними організаціями у сфері управління відходами;
- 10) реалізація державної політики у сфері управління відходами;

- 11) організацію підготовки фахівців у сфері управління відходами;
- 12) забезпечення розроблення і виконання стратегій, планів, програм у сфері управління відходами;
- 13) забезпечення виконання Національної стратегії управління відходами, підготовка звітів про її виконання;
- 14) забезпечення виконання Національного плану управління відходами та здійснення оцінки ефективності його виконання;
- 15) погодження регіональних планів управління відходами;
- 16) забезпечення виконання Національної програми запобігання утворенню відходів та здійснення оцінки ефективності її виконання;
- 17) здійснення функцій компетентного органу виконавчої влади, який забезпечує виконання положень Базельської конвенції про контроль за транскордонним перевезенням небезпечних відходів та їх видаленням;
- 18) видачу (відмову у видачі, анулювання) дозволів на здійснення операцій з оброблення відходів;
- 19) ліцензування господарської діяльності з управління небезпечними відходами;
- 20) надання письмової згоди (повідомлення) на транскордонне перевезення небезпечних відходів чи висновку на транскордонне перевезення відходів;
- 21) реєстрацію декларацій про відходи;
- 22) реєстрацію організацій розширеної відповідальності виробників;
- 23) створення та адміністрування інформаційної системи управління відходами;
- 24) надання публічного доступу до узагальнених даних у сфері управління відходами та інформування громадськості про управління відходами;
- 25) забезпечення участі України в міжнародному співробітництві у сфері управління відходами.

Міністерство розвитку громад та територій України, як центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері житлово-комунального господарства, відповідно до статті 22 Закону України «Про управління відходами», уповноважене на:

- 1) формування та реалізація державної політики у сфері надання послуги з управління побутовими відходами;
- 2) участь у розробленні Національної стратегії управління відходами;
- 3) участь у розробленні Національного плану управління відходами;
- 4) участь у погодженні регіональних планів управління відходами;
- 5) здійснення аналізу, систематизації та оприлюднення інформації у сфері управління побутовими відходами;
- 6) розроблення правил надання послуги з управління побутовими

відходами;

7) розроблення порядку формування тарифів на послугу з управління побутовими відходами;

8) розроблення порядку проведення конкурсу на здійснення операцій із збирання та перевезення побутових відходів;

9) розроблення типових договорів про надання послуги з управління побутовими відходами;

10) затвердження правил визначення норм надання послуги з управління побутовими відходами;

11) затвердження правил компостування біовідходів їх утворювачами на присадибних, дачних і садових ділянках;

12) затвердження методики розрахунків цільових показників з підготовки до повторного використання та рециклінгу побутових відходів, порядку та форм надання звітності щодо їх виконання;

13) затвердження порядку розроблення, погодження та затвердження інвестиційних програм суб'єктів господарювання у сфері управління побутовими відходами;

14) затвердження методик, правил, інструкцій та порядків у сфері надання комунальної послуги з управління побутовими відходами.

Державна екологічна інспекція України, як центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику із здійснення державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання, відтворення і охорони природних ресурсів, до повноважень якого, згідно із статтею 23 Закону України «Про управління відходами» та постановою КМУ від 19.04.2017 року №275 «Про затвердження

Положення про Державну екологічну інспекцію України», належить здійснення у межах компетенції державного нагляду (контролю) за додержанням центральними органами виконавчої влади та їхніми територіальними органами (у разі утворення), місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування (в частині здійснення делегованих їм повноважень органів виконавчої влади), підприємствами, установами та організаціями незалежно від форми власності та господарювання, громадянами України, іноземцями та особами без громадянства, а також юридичними особами - нерезидентами вимог законодавства щодо:

1) збирання, перевезення, оброблення відходів;

2) дотримання суб'єктом господарювання у сфері управління відходами умов, встановлених дозволом на здійснення операцій з оброблення відходів;

3) подання декларацій про відходи;

- 4) ведення обліку відходів та подання звітності;
- 5) дотримання правил і режиму експлуатації об'єктів оброблення відходів;
- 6) перевезення небезпечних відходів через територію України та транскордонних перевезень небезпечних відходів;
- 7) виконання планів і програм у сфері управління відходами;
- 8) своєчасного та повного виконання заходів із захисту земель від засмічення та забруднення відходами.

Державна екологічна інспекція Придніпровського округу (Дніпропетровська та Кіровоградська області) до повноважень якої належить здійснення державного нагляду (контролю) з питань запобігання утворенню та управління відходами, зокрема щодо:

- 1) збирання, перевезення, оброблення відходів;
- 2) перевезення небезпечних відходів територією України та транскордонних перевезень відходів;
- 3) дотримання суб'єктом господарювання у сфері управління відходами умов, встановлених дозволом на здійснення операцій з оброблення відходів;
- 4) подання декларацій про відходи;
- 5) ведення обліку відходів та подання звітності;
- 6) дотримання правил і режиму експлуатації об'єктів оброблення відходів;
- 7) виконання планів і програм у сфері управління відходами;
- 8) своєчасного та повного виконання заходів із захисту земель від засмічення та забруднення відходами.

Міністерство охорони здоров'я України, як центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони здоров'я, відповідно до статті 24 Закону України «Про управління відходами», уповноважене на:

1) затвердження вимог щодо безпечності для здоров'я людини (державні санітарні норми та правила, санітарно-гігієнічні та санітарно-протиепідемічні правила і норми, санітарно-епідеміологічні правила і норми, протиепідемічні правила і норми, гігієнічні та протиепідемічні правила і норми, державні санітарно-епідеміологічні нормативи, санітарні регламенти) під час утворення, збирання, тимчасового зберігання, перевезення, оброблення відходів;

2) затвердження порядку управління медичними відходами, у тому числі вимог щодо безпечності для здоров'я людини (державні санітарні норми та правила, санітарно-гігієнічні та санітарно-протиепідемічні правила і норми, санітарно-епідеміологічні правила і норми, протиепідемічні правила і норми, гігієнічні та протиепідемічні правила і норми, державні санітарно-епідеміологічні нормативи, санітарні регламенти) під час утворення, збирання, зберігання, перевезення, оброблення таких відходів;

3) затвердження методичних настанов щодо аналізу ризиків для здоров'я людини відходів та об'єктів оброблення відходів;

4) визначення пріоритетних заходів для забезпечення захисту здоров'я людини від негативного впливу відходів;

5) встановлення вимог щодо безпечності для здоров'я людини продукції, що виробляється з відходів;

6) методичне забезпечення визначення рівня небезпечності відходів.

Кіровоградська обласна державна адміністрація – місцевий орган державної виконавчої влади, здійснює виконавчу владу на території відповідної адміністративно–територіальної одиниці – області, а також реалізує повноваження, делеговані їй відповідною обласною радою.

Відповідно до статті 25 частини другої ЗУ «Про управління відходами» до повноважень обласних державних адміністрацій у сфері управління відходами належить:

1) участь у формуванні та реалізації державної політики у сфері управління відходами;

2) розроблення та реалізація регіональних планів управління відходами, здійснення оцінки ефективності їх виконання;

3) сприяння створенню об'єктів оброблення відходів у рамках співробітництва територіальних громад;

4) забезпечення реалізації заходів Національного плану управління відходами та Національної програми запобігання утворенню відходів;

5) створення умов для організації та будівництва об'єктів оброблення відходів;

6) взаємодія з органами місцевого самоврядування;

7) облік несанкціонованих сміттєзвалищ та відходів, власник яких не встановлений;

8) ліквідація несанкціонованих сміттєзвалищ;

9) надання інформації, проведення роз'яснювальної та просвітницької роботи з населенням щодо управління відходами;

10) погодження місцевих планів управління відходами.

Для виконання вищезазначених завдань, в структурі обласної державної адміністрації створені структурні підрозділи, відповідальні за питання управління відходами:

Департамент екології та природних ресурсів Кіровоградської обласної державної адміністрації:

Основними завданнями департаменту є:

1) забезпечення реалізації державної політики у сфері охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання,

відтворення та охорони природних ресурсів (земля, надра, поверхневі та підземні води, атмосферне повітря, ліси, тваринний і рослинний світ), поводження з відходами (крім поводження з радіоактивними відходами), пестицидами та агрохімікатами, екологічної безпеки, заповідної справи, формування, збереження та використання екологічної мережі;

2) здійснення регулювання у сфері охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання, відтворення та охорони природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки, поводження з відходами (крім поводження з радіоактивними відходами), пестицидами та агрохімікатами, організації, охорони і використання територій та об'єктів природно-заповідною фонду області, формування, збереження та використання екологічної мережі;

3) інформування населення через засоби масової інформації про стан навколишнього природного середовища на території Кіровоградської області.

Департамент житлово-комунального господарства та паливно-енергетичного комплексу Кіровоградської обласної державної адміністрації:

Основними завданнями департаменту є:

1) забезпечення на території області реалізації державної політики у сфері житлово-комунального господарства, паливно-енергетичного комплексу та енергозбереження (у тому числі у сфері питної води та питного водопостачання, теплопостачання, енергоефективності та енергозбереження, ціно-, тарифоутворення і розрахунків за житлово-комунальні послуги та спожиті енергоносії, дотримання лімітної дисципліни), житлової політики, благоустрою населених пунктів, квітково-декоративного насінництва та розсадництва, поводження з побутовими відходами, поховання;

2) спрямування та контроль за роботою відповідних структурних підрозділів районних державних адміністрацій з питань житлово-комунального господарства, паливно-енергетичного комплексу та енергозбереження;

3) внесення в установленому порядку пропозицій щодо вдосконалення системи обліку, звітності та державної статистики у сфері житлово-комунального господарства, паливно-енергетичного комплексу та енергозбереження;

4) підготовка у межах компетенції пропозицій до проекту обласного бюджету та подання їх на розгляд облдержадміністрації;

5) забезпечення здійснення заходів з реформування житлово-комунального господарства відповідно до державної і обласних програм;

6) забезпечення здійснення заходів щодо стабілізації роботи і нарощування обсягів виробництва та надання послуг у сфері житлово-комунального господарства та паливно-енергетичного комплексу;

7) забезпечення у межах своїх повноважень розроблення пропозицій до проектів державних та галузевих програм та участь у їх виконанні.

Департамент інфраструктури Кіровоградської обласної державної адміністрації відповідно до визначених галузевих повноважень виконує такі завдання:

1) організація роботи щодо розроблення та здійснення заходів із забезпечення реалізації регіональної політики у галузях промисловості, транспорту, зв'язку, сфери дорожнього господарства, управління автомобільними дорогами загального користування місцевого значення в області;

2) виконання функцій структурного підрозділу обласної державної адміністрації із забезпечення реалізації державної політики у галузях погодженням з їх керівниками), представників громадських об'єднань (за згодою) до розгляду питань, що належать до компетенції Департаменту;

3) отримання в установленому порядку від місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, підприємств, установ та організацій незалежно від форми власності та їх посадових осіб інформацію, документи і матеріали, необхідні для виконання покладених на нього завдань;

4) внесення в установленому порядку пропозицій щодо удосконалення роботи обласної державної адміністрації у відповідних галузях;

5) користування в установленому порядку інформаційними базами органів виконавчої влади, системами зв'язку і комунікацій, мережами спеціального зв'язку та іншими технічними засобами;

6) скликання в установленому порядку нарад, проведення семінарів та конференцій з питань, що належать до його компетенції;

7) представлення власних інтересів в судових органах під час розгляду спірних питань, що належать до його компетенції в установленому чинним законодавством порядку.

Департамент охорони здоров'я Кіровоградської обласної державної адміністрації забезпечує реалізацію державної політики в галузі охорони здоров'я, виконання актів чинного законодавства в галузі охорони здоров'я, державних стандартів, критеріїв та вимог, спрямованих на збереження навколишнього природного середовища і санітарно-епідемічного благополуччя населення.

Департамент економічного розвитку і торгівлі Кіровоградської обласної державної адміністрації забезпечує реалізацію на території області державної політики економічного і соціального розвитку України, державної регіональної політики, державної політики у сфері торгівлі та побутових послуг, державної регуляторної політики, зовнішніх зносин, взаємодії з економічними та

міжнародними організаціями, розвитку підприємництва, туризму, іміджевої та виставкової діяльності.

Головне управління Держпродспоживслужби у Кіровоградській області відповідно до статті 24 Закону України «Про управління відходами», Закону України «Про громадське здоров'я» та Положення про Державну службу України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів, затвердженого постановою КМУ від 02 вересня 2015 року № 667 здійснює санітарні заходи щодо охорони території України шляхом проведення державного санітарно-епідеміологічного нагляду (контролю) за дотриманням санітарного законодавства, медико-санітарного контролю (огляду) з метою запобігання в'їзду на територію України транспортних засобів, ввезення вантажів, товарів та інших предметів, у тому числі лікарських засобів, біологічних, хімічних і радіоактивних речовин, а також матеріалів і відходів, що можуть створювати небезпеку для життя і здоров'я населення (крім заходів, пов'язаних із здійсненням медико-санітарного спостереження (епідеміологічного нагляду (спостереження)), та крім виконання функцій із здійснення дозиметричного контролю робочих місць і доз опромінення працівників); здійснює державний нагляд (контроль) за організацією роботи зі збору, утилізації та знищення загинув тварин і відходів тваринного походження та інше.

А також:

1) затвердження вимог щодо безпечності для здоров'я людини (державні санітарні норми та правила, санітарно-гігієнічні та санітарно-протиепідемічні правила і норми, санітарно-епідеміологічні правила і норми, протиепідемічні правила і норми, гігієнічні та протиепідемічні правила і норми, державні санітарно-епідеміологічні нормативи, санітарні регламенти) під час утворення, збирання, тимчасового зберігання, перевезення, оброблення відходів;

2) затвердження порядку управління медичними відходами, у тому числі вимог щодо безпечності для здоров'я людини (державні санітарні норми та правила, санітарно-гігієнічні та санітарно-протиепідемічні правила і норми, гігієнічні та протиепідемічні правила і норми, державні санітарно-епідеміологічні нормативи, санітарні регламенти) під час утворення, збирання, зберігання, перевезення, оброблення таких відходів;

3) затвердження методичних настанов щодо аналізу ризиків для здоров'я людини відходів та об'єктів оброблення відходів;

4) визначення пріоритетних заходів для забезпечення захисту здоров'я людини від негативного впливу відходів;

5) встановлення вимог щодо безпечності для здоров'я людини продукції, що виробляється з відходів;

6) методичне забезпечення визначення рівня небезпечності відходів.

Органи місцевого самоврядування у сфері управління відходами, реалізують повноваження згідно з вимогами статті 26 Закону України «Про управління відходами», а саме:

- 1) участь у реалізації державної політики у сфері управління відходами;
- 2) участь у розробленні та реалізації регіональних планів управління відходами;
- 3) затвердження місцевих планів управління відходами;
- 4) вирішення питань щодо розміщення на території відповідних територіальних громад об'єктів оброблення відходів;
- 5) створення пунктів роздільного збирання побутових відходів.

До повноважень виконавчих органів сільських, селищних, міських рад у сфері управління відходами належить:

- 1) розроблення та реалізація місцевих планів управління відходами;
- 2) організація управління побутовими відходами, відходами будівництва та знесення;
- 3) визначення у встановленому порядку суб'єктів господарювання, які здійснюють збирання, перевезення, відновлення та видалення побутових відходів;
- 4) запровадження роздільного збирання побутових відходів та забезпечення виконання цільових показників щодо підготовки для повторного використання та рециклінгу побутових відходів;
- 5) організація роботи пунктів роздільного збирання побутових відходів;
- 6) забезпечення ліквідації несанкціонованих сміттєзвалищ у межах населених пунктів;
- 7) передача відходів, власник яких не встановлений, суб'єктам господарювання у сфері управління відходами для їх оброблення;
- 8) надання інформації, проведення роз'яснювальної та просвітницької роботи серед населення щодо управління відходами;
- 9) визначення одиниці вимірювання обсягу наданої послуги з управління побутовими відходами;
- 10) затвердження норм надання послуги з управління побутовими відходами;
- 11) затвердження інвестиційних програм суб'єктів господарювання у сфері управління побутовими відходами;
- 12) встановлення тарифів на послугу з управління побутовими відходами, а також тарифів на збирання, перевезення, відновлення, видалення побутових відходів окремо за видами побутових відходів (змішані, великогабаритні, ремонтні, небезпечні);

13) укладення договорів з організаціями розширеної відповідальності виробників щодо запровадження приймання та роздільного збирання видів побутових відходів, на які поширюється розширена відповідальність виробника.

Відповідно ст. 25 ЗУ «Про місцеве самоврядування в Україні», до компетенції сільських, селищних, міських рад належить:

1) надання відповідно до законодавства згоди на розміщення на території села, селища, міста нових об'єктів, у тому числі місць чи об'єктів для управління відходами;

2) вирішення питань управління небезпечними відходами у складі побутових відходів;

3) затвердження місцевих планів управління відходами;

Відповідно ст. 30 ЗУ «Про місцеве самоврядування в Україні» до відання виконавчих органів сільських, селищних, міських рад належать:

1) організація управління побутовими відходами, відходами будівництва та знесення, знешкодження та захоронення трупів тварин;

2) розроблення та реалізація місцевих планів управління відходами;

3) затвердження норм надання послуг з управління побутовими відходами;

4) визначення одиниці виміру обсягу наданих послуг з управління побутовими відходами;

5) визначення у встановленому порядку суб'єктів господарювання, які здійснюють збирання, перевезення, відновлення та видалення побутових відходів;

6) прийняття рішення про початок та закінчення опалювального періоду з урахуванням кліматичних умов згідно з будівельними нормами і правилами, правилами технічної експлуатації теплових установок і мереж, державними санітарними нормами і правилами та іншими нормативними документами;

7) запровадження роздільного збирання побутових відходів та забезпечення виконання цільових показників щодо підготовки для повторного використання та рециклінгу побутових відходів;

8) забезпечення ліквідації несанкціонованих сміттєзвалищ у межах населених пунктів;

9) передача відходів, власник яких не встановлений, суб'єктам господарювання у сфері управління відходами для їх оброблення;

10) надання інформації та проведення просвітницької роботи серед населення щодо управління відходами;

11) встановлення тарифу на послугу з управління побутовими відходами та тарифів на збирання, перевезення, відновлення та видалення побутових відходів як окремих його складових;

12) затвердження інвестиційних програм суб'єктів господарювання у сфері управління побутовими відходами.

Відповідно ст. 33 Закону України «Про місцеве самоврядування в Україні» до відання виконавчих органів сільських, селищних, міських рад належать:

1) підготовка і подання на затвердження ради проектів місцевих програм охорони довкілля, участь у підготовці загальнодержавних і регіональних програм охорони довкілля;

2) здійснення контролю за діяльністю суб'єктів господарювання у сфері управління побутовими відходами;

3) здійснення контролю за додержанням юридичними та фізичними особами вимог у сфері управління відходами та розгляд справ про адміністративні правопорушення або передача їх матеріалів на розгляд інших державних органів у разі порушення законодавства про управління відходами.

Державні програми, стратегії, плани дій щодо охорони навколишнього природного середовища

1. Державна стратегія регіонального розвитку на 2021-2027 роки, затверджена постановою КМУ від 05.08.2020 № 695

Головними цілями Стратегії є: формування згуртованої держави в соціальному, гуманітарному, економічному, екологічному, безпековому та просторовому вимірах; підвищення рівня конкурентоспроможності регіонів; розбудова ефективного багаторівневого врядування.

2. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року затверджена розпорядженням КМУ від 8 листопада 2017 р. № 820-р Стратегія спрямована на створення умов для підвищення стандартів життя населення шляхом впровадження системного підходу до управління відходами на державному та регіональному рівні, зменшення обсягів утворення відходів та збільшення обсягу їх оброблення та повторного використання.

Засади принципи Стратегії:

- ієрархія управління відходами, яка передбачає дії стосовно управління відходами у такій послідовності
 - запобігання утворенню відходів з метою оптимізації використання ресурсів, виробництва товарів (екодизайн) та утворення відходів;
 - підготовку до повторного використання – створення цілої галузі для проведення перевірки, очистки чи визначення придатності продуктів або їх компонентів для повторного їх використання без попередньої обробки;
 - відновлення відходів - операція, у результаті якої відходи використовуються для корисних цілей, замінюючи матеріали, які мали бути використані для виконання певної функції або які підготовлені для виконання цієї функції на підприємстві чи в іншій господарській діяльності;
 - інші види оброблення відходів, у тому числі термічне оброблення, використання відходів як вторинних енергетичних ресурсів;
 - видалення відходів - захоронення їх у спеціально обладнаних місцях/об'єктах та знищення (знешкодження) на установках, що відповідають екологічним нормативам, лише у разі відсутності можливості виконати попередні ступені ієрархії;
 - переходу до економіки замкнутого циклу, який передбачає, що обсяг продуктів, матеріалів і ресурсів використовується в економіці якомога довше і утворення відходів мінімізується;
 - наближеності, який передбачає для зменшення потенційних ризиків від

забруднення відходами їх оброблення якомога ближче до джерел утворення;

- попередженості, який за наявності доказів екологічного ризику слід вжити відповідних запобіжних заходів;

- спільної відповідальності, участі органів державної влади, органів місцевого самоврядування, суб'єктів господарювання, а також громадськості під час прийняття рішень щодо досягнення цілей екологічної політики;

- розширеної відповідальності виробника, який передбачає відповідальність виробників та імпортерів продукції за прийняття повернутої продукції та відходів, що лишилися після її використання, а також подальше управління відходами;

- самодостатності, який передбачає створення інтегрованої адекватної мережі об'єктів оброблення відходів, що дасть змогу державі чи регіону забезпечити самостійне оброблення відходів.

Цілями Стратегії є:

- визначення та розв'язання ключових проблем розвитку управління відходами в Україні на інноваційних засадах;

- визначення пріоритетних напрямів діяльності центральних та місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, організацій, установ, підприємств, громадських організацій та суспільства в цілому щодо переходу системи управління відходами на інноваційну модель;

- визначення шляхів та методів удосконалення існуючої інфраструктури з управління відходами, які не суперечать інноваційній моделі;

- забезпечення сталого розвитку України шляхом виконання завдань, спрямованих на екологічну та ресурсну безпеку;

- зменшення адміністративного навантаження на суб'єктів господарювання, підвищення якості надання адміністративних послуг;

- забезпечення законності та передбачуваності адміністративних дій.

3. Національний план управління відходами до 2033 року, затверджений розпорядженням КМУ від 27.12.2024 р. №1353-р

Основні напрями Плану:

1. Загальні напрями:

- адаптація національного законодавства до вимог європейського законодавства, зокрема, через розроблення та подання КМУ законопроектів про управління відходами;

- впровадження економічних інструментів для удосконалення управління відходами, зокрема розробка законопроектів про встановлення механізму фінансових гарантій, що надаються операторами полігонів різних категорій;

- запровадження та використання економічних інструментів для стимулювання створення об'єктів інфраструктури з оброблення відходів;

-встановлення економічних інструментів щодо запобігання утворенню небезпечних відходів, зокрема оподаткування екологічно небезпечної продукції; запровадження економічного стимулювання впровадження екологічно чистих технологій виробництва та розширення можливостей перероблення (рециклінгу) та ін.;

- вдосконалення інституційної структури сфери управління відходами у т.ч. через утворення центрального органу виконавчої влади з питань управління відходами та утворення міжвідомчої координаційної ради з науково-дослідних робіт з багаторазового використання природних ресурсів та оброблення відходів;

- зміцнення кадрового потенціалу у сфері управління відходами;
- реформування системи інформаційного забезпечення сфери управління відходами;

- підвищення обізнаності населення щодо управління відходами.

2. Побутові відходи:

- формування державної політики у сфері управління побутовими відходами; створення ефективної системи збирання та перевезення побутових відходів; створення інфраструктури для відновлення побутових відходів;

- створення інфраструктури для видалення побутових відходів; створення ефективної системи управління осадом стічних вод.

3. Небезпечні відходи:

- формування державної політики у сфері управління небезпечними відходами;

- створення інфраструктури для оброблення небезпечних відходів;

- формування державної політики у сфері управління відпрацьованими нафтопродуктами.

4. Промислові відходи:

- формування державної політики у сфері управління промисловими відходами; створення інфраструктури для оброблення промислових відходів;

- формування державної політики у сфері управління відходами видобувної промисловості; створення інфраструктури для оброблення відходів видобувної промисловості.

5. Відходи будівельно-ремонтних робіт:

- формування державної політики у сфері управління відходами будівельно-ремонтних робіт; створення інфраструктури для оброблення відходів будівельно-ремонтних робіт.

6. Відходи виробництва продукції сільського господарства:

- формування державної політики у сфері управління відходами

виробництва продукції сільського господарства; створення відповідної інфраструктури для управління відходами рослинного і тваринного походження; вдосконалення управління хімічними засобами захисту рослин.

7. Відходи упаковки:

- формування державної політики у сфері управління відходами упаковки.

8. Відходи електричного та електронного обладнання:

- формування державної політики у сфері управління відходами електричного та електронного обладнання та створення інфраструктури для оброблення відходів електричного та електронного обладнання.

9. Відпрацьовані батареї, батареї і акумулятори:

- формування державної політики у сфері управління відпрацьованими батареями, батареями і акумуляторами; створення інфраструктури для оброблення відпрацьованих батарейок, батарей і акумуляторів.

10. Медичні відходи:

- формування державної політики та створення інфраструктури у сфері управління медичними відходами.

11. Зняті з експлуатації транспортні засоби:

- формування державної політики у сфері управління знятими з експлуатації транспортними засобами.
- створення інфраструктури для збирання, зберігання, розбирання знятих з експлуатації транспортних засобів, повторного використання та відновлення
- відходів, що утворилися після розбирання знятих з експлуатації транспортних засобів.

Регіональні стратегії, програми, плани дій та інші відповідні документи Основні проблеми у сфері управління відходами та пропонувані заходи щодо мінімізації негативного впливу відходів на довкілля зазначені у наступних програмних документах:

- Стратегія розвитку Кіровоградської області на 2021-2027 роки;
- Комплексна програма охорони навколишнього природного середовища в Кіровоградській області на 2021-2025 роки;
- щорічні Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища Кіровоградської області;
- Екологічний паспорт Кіровоградської області.

1. Стратегія розвитку Кіровоградської області на 2021-2027 роки.

Стратегічна ціль 4. «Збереження екосистем та поліпшення екологічної інфраструктури» визначає завдання і проекти щодо охорони навколишнього природного середовища, формуванню екологічної інфраструктури в області.

Оперативна ціль 4.2. «Зменшення екологічного навантаження на довкілля». Ціль скерована на зменшення рівня техногенного навантаження на

навколишнє природне середовище (атмосферного повітря, земель і водойм) та вирішення екологічних проблем, які виникли через:

- високу концентрацію найбільш екологічно-небезпечних корисних копалин та підприємств із їх видобування (уранові шахти) на території області, радон;
- збільшення обсягів утворення відходів у різних галузях життєдіяльності людини, накопичення їх у місцях тимчасового зберігання; невжиття достатніх заходів щодо охорони навколишнього природного середовища, зокрема щодо рекультивації земель тощо.

Важливими факторами, що можуть запобігти погіршенню екологічної ситуації, є:

- формування екологічної культури мешканців області;
- формування ефективної системи управління екологічними ризиками;
- зменшення обсягу утворення відходів, впровадження механізмів їх оброблення та повторного використання на основі новітніх технологій та виробництв; зменшення обсягів скидання неочищених стічних вод, насамперед з використанням інноваційних технологій та обладнання з водоочищення;
- створення умов для поліпшення стану повітряного басейну за рахунок: впровадження екологічно безпечних технологій; підвищення ефективності роботи установок очистки газу; заміни морально та фізично застарілого обладнання; розвитку виробничих технологій, які б забезпечували мінімальні викиди; забезпечення раціонального, невиснажливого, ґрунтозахисного та екологічно безпечного землекористування в інтересах ефективного і сталого соціально-економічного розвитку області;
- комплексний науково обґрунтований підхід до процесів використання, збереження та відтворення родючості сільськогосподарських угідь, здійснення збалансованих землемеліоративних і землеохоронних заходів з урахуванням особливостей природно-кліматичних зон.

Очікувані результати:

- підвищено екологічну культуру населення;
- зменшено обсяги скидання неочищених стічних вод у водні об'єкти;
- збільшена лісистість області за рахунок територій, що внаслідок деградації землі вже не можуть використовуватися для сільськогосподарських робіт;
- затверджено Регіональний план управління відходами;
- запроваджено новітні технології, системи роздільного збору відходів, збудовано інфраструктурні об'єкти управління відходами;
- поліпшено систему управління промисловими та побутовими відходами;
- зменшено рівень забруднення територій населених пунктів побутовими відходами;

- зменшено кількість несанкціонованих сміттєзвалищ;
- зменшено викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря;
- впроваджено систему моніторингу (оперативний збір інформації та оцінка інформації про стан атмосферного повітря), що дасть можливість приймати ефективні управлінські рішення та забезпечувати контроль.

2. Комплексна програма охорони навколишнього природного середовища в Кіровоградській області на 2021-2025 роки.

Екологічна ситуація на території області характеризується відносною стабільністю показників, але є деякі проблемні питання, які потребують вирішення, а саме:

- забруднення атмосферного повітря викидами забруднюючих речовин від промислових підприємств та автотранспорту;
- забруднення водних об'єктів недостатньо-очищеними стічними водами від комунальних та промислових підприємств;
- забруднення навколишнього природного середовища побутовими відходами;
- збільшення обсягів утворення відходів у різних галузях життєдіяльності людини, накопичення їх у місцях тимчасового зберігання;
- виснаження та деградація земель внаслідок вирубки лісосмуг та недодержання сівозмін сільськими господарствами (виробниками);
- відсутність сучасних механізмів заповідання територій в умовах відсутності вільних територій та безконтрольного використання земель для сільськогосподарського виробництва;
- відсутність загальнодержавної комплексної системи моніторингу стану навколишнього природного середовища.
- відсутність державної цільової програми радіаційного і соціального захисту населення Кіровоградської області та міста Кропивницький.

До основних напрямів Програми належить:

- 1) зменшення викидів і скидів забруднюючих речовин в навколишнє природне середовище;
- 2) ефективне управління відходами;
- 3) збереження біотичного і ландшафтного різноманіття;
- 4) формування безпечних умов для життя і здоров'я населення;
- 5) удосконалення державної системи моніторингу довкілля;
- 6) створення системи екологічної освіти та інформування населення про стан навколишнього природного середовища.