

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
В.М. КРОПІВНИЙ, О.В.МЕДВЕДЄВА, А.В.КРОПІВНА, О.В.КУЗИК

УТИЛІЗАЦІЯ ТА РЕКУПЕРАЦІЯ ВІДХОДІВ

Навчальний посібник



Кропивницький 2020

Утилізація та рекуперація відходів. Навчальний посібник / В.М. Кропівний, О.В. Медведева, А.В. Кропівна, О.В.Кузик // Загальна редакція В.М. Кропівного. – Кропивницький: ЦНТУ, Електронне видання, 2020. – с. 440.

Навчальний посібник спрямований на більш глибоке уявлення про технологічні процеси утилізації та рекуперації відходів, їх вплив на оточуюче середовище, обладнання для поводження з відходами, отримання вторинних матеріалів. Метою даного навчального посібника є ознайомлення студентів з проблемами в питаннях утилізації і рекуперації відходів виробництва та споживання в Кіровоградській області і шляхи їх вирішення. Розглядаються результати наукових досліджень українських та зарубіжних вчених та конкретні приклади технології утилізації відходів.

Укладачі:

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

Медведева 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. каф. "МЛВ" ЦНТУ.

Друкується згідно рішення вченої ради Центральноукраїнського національного технічного університету (протокол № 9 від 27.08.2020 р.)

Рецензенти:

Гулай О.В. - д.б.н., доц., декан природничо-географічного факультету ЦДПУ ім. В.Винниченка;

Сало В.М. – д.т.н., проф., декан агротехнологічного факультету ЦНТУ;

Топольний Ф.П. - д.б.н., проф. кафедри загального землеробства ЦНТУ.

© Центральноукраїнський національний технічний університет, 2020

© Кропівний В.М., Медведева О.В., Кропівна А.В., Кузик О.В. 2020

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	5
1.ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ.....	10
1.1.Законодавче регулювання у сфері поводження з відходами.....	10
1.2.Класифікація відходів.....	17
1.3.Основні способи поводження з відходами.....	28
1.3.1. Розміщення відходів.....	33
1.3.2.Термічна переробка відходів.....	41
1.3.3. Промислова переробка відходів.....	45
2. СМІТТЕСПАЛЮВАННЯ.....	49
2.1.Знешкодження відходів шляхом сміттєспалювання	50
2.2.Сучасний сміттєспалювальний завод.....	54
2.3.Очищення димових газів сміттєспалювальних заводів.....	66
2.4.Сміттєспалювальний завод «Енергія» (м.Київ).....	73
2.5.Інсинератори.....	71
2.6.Плазмовий метод утилізації відходів.....	75
3. ЗБІР, ТРАНСПОРТУВАННЯ ТА СОРТУВАННЯ ВІДХОДІВ.....	84
3.1.Технології збирання і транспортування відходів.....	84
3.2.Прес-компактори та вертикальні пакувальні преси.....	94
3.3.Станції перевантаження відходів.....	100
3.4.Сортування відходів.....	102
3.5.Виробництво RDF-палива.....	117
4.УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ ПЛАСТМАС.....	121
4.1.Групи відходів пластмас.....	121
4.2.Технологія утилізації відходів пластмас.....	127
4.3. Приклади застосування вторинних пластмас.....	137
5. УТИЛІЗАЦІЯ ГУМОВИХ ВИРОБІВ.....	141
5.1. Утилізація гуми шляхом спалювання (термодеструкції).....	141
5.2.Переробка гуми в крихту.....	138
5.3.Регенерація гуми.....	143
5.4.Піроліз гумових відходів.....	144
6.РЕГЕНЕРАЦІЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ОЛИВ.....	156
6.1 Фізичні методи регенерації відпрацьованих олив.....	159
6.2 Фізико-хімічні методи регенерації відпрацьованих олив.....	163
6.3.Хімічні методи очищення.....	165
7.УТИЛІЗАЦІЯ РТУТЬВМІСНИХ ВІДХОДІВ.....	169
8.УТИЛІЗАЦІЯ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ ТА ЕЛЕКТРОННОГО БРУХТУ.....	171
8.1. Особливості утилізації автономних джерел живлення.....	171
8.2. Технологія утилізації автономних джерел живлення.....	175
8.3. Утилізація літій-іонних акумуляторів.....	179
8.4. Утилізація свинцево-кислотних акумуляторів.....	181
8.5 Утилізація електронного брухту.....	184
9. УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА.....	196

9.1 Анаеробні процеси утилізації відходів сільськогосподарського виробництва.....	197
9.2 Утилізації звалищного газу.....	210
9.3 Аеробна ферментація при переробці органічних відходів.....	215
9.4.Вермікомпостування.....	222
9.5.Виробництво паливних гранул і брикетів.....	224
9.6.Виробництво палива з енергетичних швидкоростучих рослин.....	235
10. УТИЛІЗАЦІЯ МАКУЛАТУРИ.....	238
10.1.Розволокнення макулатури.....	242
10.2. Очистка та сортування макулатурної маси	244
10.3. Видалення друкарської фарби та відбілювання макулатурної маси.....	249
10.4.Формування паперового полотна.....	251
11. УТИЛІЗАЦІЯ СКЛЯНИХ ВІДХОДІВ.....	253
12. УТИЛІЗАЦІЯ МЕТАЛОБРУХТУ.....	265
12.1. Законодавство України у сфері поводження з металобрухтом.....	265
12.2.Класифікація металобрухту.....	266
12.3.Способи переробки металобрухту.....	268
12.4.Утилізація зношених автомобілів.....	276
12.5. Утилізація судового брухту.....	278
13. УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОЇ ГАЛУЗІ.....	282
13.1. Утилізація техногенних родовищ.....	282
13.2.Утилізація техногенних залізорудних родовищ.....	285
13.3.Обладнання для підготовки рудних відходів до утилізації.....	291
13.4.Утилізація відходів металургійного виробництва.....	296
13.5. Утилізація відходів вугледобування.....	407
14. УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ.....	416
15. УТИЛІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ.....	425
15.1.Утилізація залізобетонних виробів.....	428
15.2.Утилізація асфальтобетонних покриттів.....	433
Список використаних джерел.....	436

ВСТУП

Сучасний спосіб життя людства заснований на отриманні сировинних матеріалів із концентрованих джерел (родовищ корисних копалин), використовуючи які, відбувається порівняно рівномірне розповсюдження виробленої продукції по території земної кулі. Такий розподіл ускладнює відновлення та повторне використання матеріалів з продукції, яка з часом втрачає свої споживчі властивості.

Науково-технічний розвиток цивілізації привів до різкого прискорення зростання видобутку корисних копалин. За останні 75 років світовий видобуток нафти зріс в 133 рази, вугілля - в 3,3 рази, газу - в 632 рази. У найближчому майбутньому забезпечення людства мінеральними ресурсами при прискорених темпах споживання стане недостатнім. Вже сьогодні перед людством постають важливі завдання: навчитися більш ретельно і бережливо витрачати те, що ще залишилося, і, по можливості, готувати заміники зникаючим сировинним продуктам. Охорона навколишнього середовища тісно пов'язана зі станом ресурсозбереження, адже добування природних багатств з надр Землі завжди приносить значну екологічну шкоду.

Атрибутом будь-якої діючої виробничої системи є відходи. 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 виробництва і 100 т відходів - при видобутку сировини. Кожні 15 років кількість мінеральної сировини, яку споживає людство подвоюється. Накопичений досвід свідчить, відходи можуть ефективно замінювати первинні сировинні джерела, зменшуючи ресурсоспоживання та сприяючи забезпеченню сировинної незалежності країн, створюючи додатковий експортний потенціал тощо.

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 міську владу 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, незабаром, після їх ретельного обстеження, було видано закони щодо відведення та очищення стічних вод. Людство почало 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.

З 1960 року населення планети зросло з 2,5 до 7,5 млрд людей. Це привело до зростання масштабів господарської діяльності, використання дедалі більшої кількості природних ресурсів, тотального посилення антропогенного тиску на довкілля та порушення екологічної рівноваги у природному навколишньому середовищі.

Щороку виробнича сфера України переробляє понад 1 млрд т природних речовин. На сесії Генеральної Асамблеї ООН у 1997 році було заявлено, що на території України нагромадилось більше 25 млрд. т різних видів відходів виробництва і споживання, які займають більше 160 тис. га родючих українських ґрунтів. 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 не відновлюваних сировинних ресурсів відбувається забруднення довкілля, зменшуються площі лісів і родючих земель, зникають окремі види рослин, тварин тощо. Незважаючи на скорочення населення України, обсяг відходів продовжує зростати. Усе це підриває природно-ресурсний потенціал суспільного виробництва та негативно позначається на здоров'ї людини.

Екологічна та економічна доцільність багаторазового використання природних ресурсів шляхом залучення частини відходів виробництва і

споживання в господарський оборот в якості вторинної сировини доведена багаторічною практикою в багатьох країнах світу.

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 враховуються під час проведення державних статистичних спостережень. Тривалий час на території України не проводилася переробка та утилізація твердих промислових відходів, що привело до утворення териконів біля вугільних шахт, відвалів з відходів гірничодобувної промисловості, озер з осадами після виробництва соди, мінеральних добрив тощо. Горіння териконів, пилоутворення над поверхнями шламо- і хвостосховищ, вимивання шкідливих речовин із цих об'єктів за рахунок атмосферних опадів і наступне надходження їх у водні об'єкти, підвищення мінералізації й погіршення хімічного складу підземних вод унаслідок утворення та інфільтрації водних розчинів різноманітних шкідливих сполук на полігонах твердих побутових відходів, сміттєзвалищах, шламонакопичувачах ведуть до деградації навколишнього природного середовища.

Як приклад, внаслідок недбайливого відношення до зберігання промислових відходів стала 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 р. 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, була зупинена руйнівна сила калійних солей, які осіли товстим пластом на глибині 14-15 метрів.

Тривожне становище складається в Україні і з токсичними відходами. У складі промислових відходів близько 15 % припадає на токсичні відходи, 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.

Однією з найбільш гострих господарських і природоохоронних проблем залишається проблема побутових відходів. Загальна площа цих звалищ і полігонів - понад 90 км². Щорічно в Україні на сміттєвих полігонах і звалищах збільшується обсяг твердих побутових відходів з інтенсивністю 1 куб. м (тобто 200 - 300 кг) на жителя в рік. 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.

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.

Перед людством постають актуальні без відкладні задачі збереження оточуючого середовища:

- створення та розширення застосування маловідходних та безвідходних технологій виробництва;
- розробка технологій більш повного вилучення сировини з корисних копалин;
- комплексне використання сировини та відходів.

Дефіцит ряду матеріальних ресурсів, вичерпання природних родовищ, а в найбільшій мірі, забруднення відходами оточуючого середовища ставить перед людством, в числі першочергових задач, питання утилізації і рекуперації відходів. Відбулося зародження нової науки гарбології (від англійського «garbage» - сміття), яка займається вивченням сміттєвих відходів, логістикою їх

перевезення, системами їх утилізації, впливом даних процесів на екологічне середовище, дослідженням технологічних систем по переробці сміття в першу чергу як енергетичних ресурсів, систем використання продуктів, отриманих від переробки сміття, а також економіко - соціальних складових.

Утилізація передбачає повторне використання вторинних матеріалів, що не знаходять прямого використання за призначенням, у новій якості, яку отримують в результаті спеціальної обробки відходів. Утилізація найчастіше здійснюється на спеціалізованих підприємствах з метою використання отриманих продуктів за новим призначенням.

Рекуперація зводиться до повернення в даний технологічний процес втраченої вихідної сировини, проміжних і кінцевих продуктів. У загальному розумінні рекуперація - повернення частини матеріалів або енергії для повторного використання у тому ж технологічному процесі. Прикладами рекуперації можуть бути переробка скляного бою і браку в скломасу, повернення у виробництво очищених від забруднення стічних вод тощо.

За даними Європейської економічної комісії ООН, у період 1996 - 2007 рр. загальний обсяг відходів у країнах ЄС і Європейської асоціації вільної торгівлі зростав на 2% на рік. Останнє особливо стосується твердих побутових відходів - їх щорічне утворення у світі починаючи з 2007 року перевищило 2 млрд. т, а темпи щорічного росту сягають 7%. В той же час, за останні 20 років у ЄС обсяги побутових відходів, захоронених на звалищах зменшилися більш, ніж у два рази. ЄС активно впроваджує сучасні технології, які мають на меті забезпечити повну утилізацію відходів. Вторинне ресурсокористування дедалі більше стає органічною складовою цивілізаційного розвитку та одним із найважливіших векторів побудови "зеленої" економіки.

В СРСР утилізації та рекуперації надавалася значна увага. По всій країні існували пункти збору металевого лому, макулатури та склотари. Було налагоджено жорсткий облік дорогоцінних металів, які застосовуються в промисловості, зокрема в електроніці. На сьогодні в Україні спостерігається зростання уваги до утилізації і рекуперації відходів.

У зарубіжній практиці широко використовується термін «рециклінг» (від англ. recycling) - це процес переробки відходів в матеріал, який можна використовувати повторно. В результаті цієї дії отримують продукцію, яку використовуємо вдруге - з макулатури туалетний папір, з пластика - інші пластикові вироби, з битого скла нові вироби і т.д. Таким чином, до рециклінгу можна віднести усі види утилізації відходів, за виключенням захоронення та спалювання. Рециклінг вважається перспективною промисловістю майбутнього, незважаючи на те, що його господарське застосування вимагає проведення широких досліджень та значних інвестицій.

Навчальний посібник укладений відповідно до Державного освітнього стандарту підготовки фахівців галузей знань 10 «Природничі науки» спеціальності 101 «Екологія». Пропонований навчальний посібник допоможе майбутнім екологам, які вивчають дисципліну «Утилізація та рекуперація відходів» отримати більш глибоке уявлення про основні технологічні процеси та обладнання для утилізації і рекуперації відходів, а також про отримувемі продукти переробки та їх раціональне застосування. Розглянуто підходи до класифікації відходів та процедури поводження з ними. Особливу увагу приділено твердим побутовим відходам, дана їх характеристика, розглянуті підходи до вирішення проблеми отримання вторинної сировини. Виклад навчального матеріалу базується на конкретних прикладах технологій утилізації відходів, приводиться техніко-економічний аналіз використовуємих технологій. Навчальний матеріал додатково ілюструється відеофільмами, які розміщено у додатках до посібника. Отримані в процесі вивчення курсу теоретичні та практичні знання сприятимуть формуванню висококваліфікованих та ерудованих фахівців.

При написанні цього посібника використано багаторічний досвід викладання дисципліни «Утилізація та рекуперація відходів» в Центральноукраїнському національному технічному університеті, систематизовано світовий досвід утилізації відходів, а також результати наукових досліджень українських та зарубіжних вчених. У навчальному

посібнику розкриті проблеми в галузі поводження з відходами виробництва та споживання в Кіровоградській області і шляхи їх вирішення.

Розділ 5 підготував В.М. Кропівний, розділи 1,2,3,4 підготувала О.В. Медведєва, розділи 6-10 підготувала А.В. Кропівна, розділи 11-15 підготував О.В. Кузик. Загальна редакція В.М.Кропівного.

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 Законодавче регулювання у сфері поводження з відходами

Системи загального законодавства, які вже тривалий час діють у різних країнах світу, виявляються неефективними для захисту навколишнього середовища та виправлення екологічних негараздів. Так, для застосування загального законодавством повинна бути виявлена встановлена особа, дії якої нанесли шкоду навколишньому середовищу. Через відсутність реагування загального права на екологічні негаразди у більшість країн світу прийнято і використовується спеціальне екологічне законодавство. Головною метою екологічного законодавства є попередження штучних негативних впливів на навколишнє середовище.

Ключовим документом стосовно поводження з відходами є Закон України «Про відходи» (№187/98-ВР від 05.03.1998 р. з останніми змінами 2018 року). Закон складається із 10 розділів, в яких регламентовано правові, організаційні та економічні засади діяльності по запобіганню або зменшенню обсягів утворення відходів, їх збиранню, зберіганню, утилізації, знешкодженню та захороненню. Закон регулює відносини, пов'язані з діями над відходами, що утворюються в Україні, перевозяться через її територію, вивозяться з неї, а також з відходами, що ввозяться в Україну.

Закон України "Про відходи" спрямований на відвернення негативного впливу відходів на довкілля та здоров'я людини та передбачає основні завдання з його реалізації:

- а) визначення основних принципів державної політики у сфері поводження з відходами;
- б) правове регулювання відносин щодо діяльності у сфері поводження з відходами;
- в) визначення основних умов, вимог і правил щодо екологічно безпечного поводження з відходами, а також системи заходів, пов'язаних з організаційно-економічним стимулюванням ресурсозбереження;

г) забезпечення мінімального утворення відходів, розширення їх використання у господарській діяльності, запобігання шкідливому впливу відходів на навколишнє природне середовище та здоров'я людини.

До основних напрямів державної політики щодо реалізації зазначених принципів належать:

- забезпечення повного збирання і своєчасного знешкодження та видалення відходів, а також дотримання правил екологічної безпеки під час поводження з ними;
- зведення до мінімуму утворення відходів та зменшення їх небезпечності;
- забезпечення комплексного використання матеріально-сировинних ресурсів;
- сприяння максимально можливій утилізації відходів шляхом прямого повторного чи альтернативного використання ресурсно-цінних відходів;
- забезпечення безпечного видалення відходів, що не підлягають утилізації, шляхом розроблення відповідних технологій, екологічно безпечних методів та засобів поводження з відходами;
- організація контролю за місцями чи об'єктами розміщення відходів для запобігання шкідливому їх впливу на навколишнє природне середовище та здоров'я людини;
- здійснення комплексу науково-технічних та маркетингових досліджень для виявлення і визначення ресурсної цінності відходів з метою їх ефективного використання;
- сприяння створенню об'єктів поводження з відходами;
- забезпечення соціального захисту працівників, зайнятих у сфері поводження з відходами;
- обов'язковий облік відходів на основі їх класифікації та паспортизації.

Основними принципами державної політики у сфері поводження з відходами є пріоритетний захист навколишнього природного середовища та здоров'я людини від негативного впливу відходів, забезпечення ощадливого використання матеріально сировинних та енергетичних ресурсів, науково

обґрунтоване узгодження екологічних, економічних та соціальних інтересів суспільства.

Закон України «Про відходи» містить перелік злочинів і правопорушень у сфері поводження з відходами, за які особи, що винні в їх скоєнні, несуть дисциплінарну, адміністративну, цивільну чи кримінальну відповідальність. Ці види відповідальності можуть наступати за:

- порушення встановленого порядку поводження з відходами, що призвело або може призвести до забруднення навколишнього природного середовища, прямого чи опосередкованого шкідливого впливу на здоров'я людини та економічних збитків;

- самовільне розміщення чи видалення відходів;

- порушення порядку ввезення в Україну, вивезення з неї і транзиту через її територію відходів як вторинної сировини;

- невиконання розпоряджень і приписів органів, що здійснюють державний контроль та нагляд за операціями поводження з відходами та за місцями їх видалення;

- приховування, перекручення або відмову від надання повної та достовірної інформації за запитами посадових осіб і громадян та їх об'єднань стосовно безпеки утворення відходів та поводження з ними, у тому числі про їх аварійні скиди та відповідні наслідки;

- приховування перевищення встановлених лімітів на обсяги утворення та розміщення відходів;

- змішування чи захоронення відходів, для утилізації яких в Україні існує відповідна технологія, без спеціального дозволу спеціально уповноваженого органу виконавчої влади в галузі охорони навколишнього природного середовища;

- порушення правил ведення первинного обліку та здійснення контролю за операціями поводження з відходами;

- порушення строків подання і порядку звітності щодо утворення, використання, знешкодження та видалення відходів;

- невиконання вимог щодо поводження з відходами (під час їх збирання, перевезення, зберігання, оброблення, утилізації, знешкодження, видалення та захоронення), що призвело до негативних екологічних, санітарно-епідемічних наслідків або завдало матеріальної чи моральної шкоди;
- передачу відходів з порушенням установлених правил на зберігання, оброблення або видалення підприємствам чи організаціям, що не мають відповідного дозволу на проведення цих операцій;
- порушення встановлених правил і режиму експлуатації установок і виробництв з оброблення та утилізації відходів, а також полігонів для зберігання чи захоронення промислових, побутових та інших відходів (сміттєзвалищ, шламосховищ, золовідвалів тощо);
- виробництво продукції з відходів чи з їх використанням без відповідної нормативно-технічної і технологічної документації, погодженої в установленому порядку;
- недотримання умов ввезення відходів як вторинної сировини на територію України;
- несвоєчасне внесення платежів за розміщення відходів;
- порушення вимог безпечного перевезення небезпечних відходів.

Так, розділ 2 Закону України «Про відходи» визначає, що відходи є об'єктом права власності. Це дозволяє вирішувати питання передачі у власність чи в оренду об'єктів розміщення відходів. Визначено, що місцеві органи виконавчої влади уповноважені вести облік безхозних відходів і відповідати за їх зберігання (наприклад, якщо підприємство, що їх створило, припинило існування). Закон зобов'язує державні органи вести облік і класифікацію всіх відходів, що утворюються на території України, і всіх місць зберігання, складування, захоронення, а також відповідати за екологічну безпеку цих об'єктів, сприяти їх максимальній утилізації. Закон встановлює необхідність отримання будь-яким діючим підприємством лімітів на відходи, а будь-яка реконструкція підприємства і тим більше будівництво нового підприємства повинні пройти екологічну експертизу, в тому числі і в частині утворення, складування і утилізації власних відходів.

Діяльність, пов'язана із збиранням і заготівлею окремих видів відходів як вторинної сировини та забезпеченням ними переробних підприємств, здійснюється на підставі ліцензії. Підставою для видачі ліцензії на збирання і заготівлю вторинної сировини є наявність у підприємств виробничих і складських приміщень, пресового, вантажопідйомного та аналітичного обладнання, кваліфікованого персоналу.

У розділі 7 Закону України «Про відходи» законодавчо закріплені економічні механізми по стимулюванню зменшення утворення відходів і збільшення частки їх утилізації: по - перше, встановлена плата в бюджет за утворення відходів, по - друге, введені пільги тим, хто займається збором і утилізацією відходів (звільнення від податків на додану вартість та на прибуток). Розділ 8 дає можливість штрафувати підприємства і приватні особи за перевищення лімітів по відходах, за самовільне складування їх у не встановлених місцях, за обман у звітності про відходи тощо. Фінансування заходів у сфері поводження з відходами здійснюється за рахунок коштів виробників відходів та їх власників.

В «Загальних положеннях» (розділ I) Закону України «Про відходи» визначено близько двадцяти основних термінів, що дозволяють, встановити загальну «мову» для всіх суб'єктів, що діють у сфері поводження з відходами. В подальшому ці терміни будуть використовуватися по тексту даного посібника.

Відходи - будь-які речовини, матеріали і предмети, що утворилися у процесі виробництва чи споживання, а також товари (продукція), що повністю або частково втратили свої споживчі властивості і не мають подальшого використання за місцем їх утворення чи виявлення і від яких їх власник позбувається, має намір або повинен позбутися шляхом утилізації чи видалення.

Поводження з відходами - дії, спрямовані на запобігання утворенню відходів, їх збирання, перевезення, сортування, зберігання, оброблення, перероблення, утилізацію, видалення, знешкодження і захоронення, включаючи контроль за цими операціями та нагляд за місцями видалення.

Збирання відходів - діяльність, пов'язана з вилученням, накопиченням і розміщенням відходів у спеціально відведених місцях чи об'єктах, включаючи сортування відходів з метою подальшої утилізації чи видалення.

Зберігання відходів - тимчасове розміщення відходів у спеціально відведених місцях чи об'єктах (до їх утилізації чи видалення).

Оброблення (перероблення) відходів - здійснення будь-яких технологічних операцій, пов'язаних із зміною фізичних, хімічних чи біологічних властивостей відходів, з метою підготовки їх до екологічно безпечного зберігання, перевезення, утилізації чи видалення.

Утилізація відходів - використання відходів як вторинних матеріальних чи енергетичних ресурсів.

Відходи як вторинна сировина - відходи, для утилізації та переробки яких в Україні існують відповідні технології та виробничо-технологічні або економічні передумови.

Видалення відходів - операції з відходами, що не призводять до їх утилізації.

Знешкодження відходів - зменшення чи усунення небезпечності відходів шляхом механічного, фізико-хімічного чи біологічного оброблення.

Захоронення відходів - остаточне розміщення відходів при їх видаленні у спеціально відведених місцях таким чином, щоб шкідливий вплив відходів на навколишнє природне середовище та здоров'я людини не перевищував установлених нормативів.

Сортування відходів - механічний розподіл відходів за їх фізико-хімічними властивостями, технічними складовими, енергетичною цінністю, товарними показниками тощо з метою підготовки відходів до їх утилізації чи видалення.

Побутові відходи - відходи, що утворюються в процесі життя і діяльності людини в житлових та нежитлових будинках (тверді, великогабаритні, ремонтні, рідкі, крім відходів, пов'язаних з виробничою діяльністю підприємств) і не використовуються за місцем їх накопичення.

Питання поводження з відходами також регламентуються Законами України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», "Про охорону навколишнього природного середовища", "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення", "Про поводження з радіоактивними відходами", "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.

Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року схвалена Урядом України у 2017 році базується на наступних принципах стратегічного планування управління відходами:

- ієрархії поводження з відходами, який передбачає дії стосовно поводження з відходами у такій послідовності: запобігання утворенню відходів, підготовку до повторного використання без попередньої обробки, перероблення відходів, інші види утилізації у тому числі використання відходів як вторинних енергетичних ресурсів, видалення(захоронення) лише у разі відсутності можливості виконати попередні ступені ієрархії;

- переходу до економіки замкненого 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 перероблення 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 з утилізації і видалення відходів, що дасть змогу державі чи регіону.

Закон «Про охорону навколишнього природного середовища» (№1264-XII від 25.06.1991 р. з останніми змінами 2019 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 правові, економічні та соціальні основи для організації охорони навколишнього середовища.

Закон «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення»(№4004-XII від 24.02.1994 р. з останніми змінами 2018 року)регулює суспільні відносини, що виникають у сфері забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя, передбачає відповідні права і обов'язки державних органів, підприємств, установ, організацій і громадян, визначає порядок організації державної санітарно-епідеміологічної служби та проведення санітарно-епідеміологічного контролю в Україні. Закон визначає, що підприємства, установи і організації зобов'язані забезпечити контроль за безпекою використання (зберігання, транспортування і т.д.) небезпечних для здоров'я речовин та матеріалів, а також відходів, що утворюються в результаті їх діяльності.

Закон «Про металобрухт»(№ 2114-III від 16.11.2000 р. з останніми змінами 2016 року) 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 утилізації металобрухту.

Закон «Про пестициди і агрохімікати» (№86/95-ВР від 02.03.1995 з останніми змінами 2019 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 2018 р.) 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.

Постанова Уряду №1120 "Про затвердження Положення про контроль за транскордонними перевезеннями небезпечних відходів та їх утилізації / захоронення, а також відходів з Жовтого і Зеленого списку", від 13.07.2000 р., регулює умови ввезення і вивезення відходів в Україні відповідно до Базельської конвенції. Україна приєдналася до Конвенції 1999 року (Закон України «Про приєднання України до Базельської конвенції про контроль за транскордонним перевезенням небезпечних відходів та їх видаленням», №803-XIV, від 1.07.1999 р.).

Ряд статей Кодексу України про адміністративні правопорушення та Кримінального кодексу України також передбачають відповідальність нанесення шкоди і забруднення оточуючого середовища.

Важливу роль у забезпеченні безпечної утилізації відходів відіграє ряд нормативних документів, серед яких:

1. ДБН В.2.4-2-2005 "Полігони твердих побутових відходів. Основи проектування";

2. ДСанПІН 2.2.7.029-99 "Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення";

3. "Санітарні правила обладнання і утримання полігонів для твердих побутових відходів" (Постанова КМУ від 22. 02 1994 р. № 117);

6. "Про створення промислової інфраструктури із знищення заборонених і непридатних пестицидів" (Постанова КМУ від 01.06.2002 р. № 294).

7. "Про впровадження системи збирання, сортування, транспортування, переробки та утилізації відходів як вторинної сировини" (Постанова КМУ від 26 липня 2001 р. № 915);

8. Порядок державної реєстрації та паспортизації відходів, затверджений постановою Кабінету Міністрів України (№ 2034 від 01.11.1999 р.). Цей Порядок встановлює загальні правила державної реєстрації та паспортизації системи відходів.

9. Порядок ведення Реєстру об'єктів утворення, оброблення та утилізації відходів, затверджений постановою Кабінету Міністрів України (№ 1360 від 31.08.1998 р.).

10. Правила розроблення, затвердження і перегляду норм утворення та розміщення відходів (Постанова КМУ від 03.08.98, № 1218).

В Україні діє ряд державних стандартів в області поводження з відходами:

ДСТУ 2195-99 Державний стандарт України. Охорона природи. Поводження з відходами. Технічний паспорт відходу. Цей стандарт установлює вимоги до складу, вмісту, правил та послідовності заповнення технічного паспорта відходів і внесення подальших 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, перероблюються, використовуються чи видаляються відходи;

- під час формування обліку і звітності з відходів виробництва.

ДСТУ 3910-99 Державний 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 Державний стандарт України. Охорона природи. Поводження з відходами. Виявлення відходів і подання інформаційних даних про відходи. Цей стандарт установлює загальні вимоги до прогнозування утворення, виявлення відходів, та подання інформаційних даних про відходи на всіх стадіях життєвого циклу продукції до нормативних документів на процеси і продукцію, зв'язаних із утворенням і переробленням відходів та до НД, зв'язаних з поданням даних про відходи.

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 найбільш значних міжнародних природоохоронних ініціатив. У ділових міжнародних колах екологічний менеджмент розглядається як гарант забезпечення переходу людства до стійкого розвитку. Міжнародні екологічні стандарти визначають методи створення та забезпечення функціонування систем екологічного управління на підприємствах і організаціях, вимоги до таких систем, встановили вимоги до екологічного аудиту тощо. Застосування стандартів ISO серії 14000 передбачає додаткову оцінку життєвого циклу продукту і складання підприємством декларації про стан навколишнього середовища: опис виробничої діяльності підприємства, оцінку його впливу на довкілля, обсяги відходів і забруднень, споживання води і енергії, методи управління, контролювання навколишнього середовища і т.п. Існують також деякі стандарти ISO, що стосуються конкретних процесів утилізації, наприклад ISO 15270: 2008 для відходів пластмас.

Стандарти систем екологічного менеджменту дозволяють підприємству досягти 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.

1.2 Класифікація відходів

Відходи класифікують за:

- 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.

За походженням відходи поділяються на наступні категорії:

Промислові відходи - відходи, які утворюються в результаті виробничих робіт і технологічних процесів. До них відносяться залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів, що утворилися при виробництві продукції або виконанні робіт і втратили цілком або частково вихідні споживчі властивості (рис. 1). Промислові відходи утворюються внаслідок виробничої діяльності людини у різних галузях промисловості, наприклад, при виконанні гірничих робіт, у металургійному та хімічному виробництві, видобуванні нафти, в ядерній енергетиці, а також при виробництві гуми, пластмас, паперу тощо.

Промислові відходи характеризуються стабільним складом і можуть бути 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.



Рисунок 1 – Види промислових відходів

Ряд промислових відходів можна негайно повертати в початок виробничого процесу, щоб вони не стали предметом зовнішньої утилізації. Наприклад, паперові комбінати повертають будь-які пошкоджені рулони 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.

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).

Утилізація промислових відходів здійснюється з дотриманням наступних вимог:

- на кожен об'єкт (місце) утилізації промислових відходів складають реєстраційну картку встановленої форми.

- виробництво продукції з відходів або з їх використанням дозволяється за наявності відповідної погодженої нормативно-технічної її технологічної документації;

- відходи повинні мати токсиколого-гігієнічний паспорт, а кінцеві продукти, виготовлені з їх використанням, висновок санітарно-гігієнічної експертизи;

- забороняється передавати небезпечні відходи підприємствам, установам і організаціям, якщо вони не забезпечують утилізацію цих відходів екологічно безпечним способом;

- використання промислових відходів у сільському господарстві дозволяється лише після всебічного вивчення їх впливу на санітарний стан ґрунту і оточуючого середовища, а також проведення біологічної оцінки якості сільськогосподарської продукції;

- використання промислових відходів у будівельній індустрії дозволяється за наявності висновку санітарно-гігієнічної експертизи про відсутність токсичних та радіоактивних інгредієнтів відходів, які потенційно можуть нанести шкоду здоров'ю населення.

Будівельні відходи - відходи, що утворюються в процесі будівництва споруд, комунікацій, виробництва будівельних матеріалів. Найчастіше будівельні відходи включають забруднений щебінь, бити цеглу та бетонні вироби, арматуру, деревне сміття тощо.

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

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 (комунальні) відходи - тверді та рідкі відходи, що утворюються в результаті життєдіяльності людей і амортизації предметів побуту. Побутові відходи утворюються в установах, житлових комплексах, приватному секторі, муніципальних установах тощо. До них відносять картон, папір, дерев'яну, скляну та металеву тару, вироби з дерева, металу, шкіри, скла, пластмаси, текстилю та інших матеріалів, що вийшли з ужитку або втратили споживчі властивості; зламані або застарілі побутові прилади, а також харчові відходи. Хімічний склад різних компонентів побутових відходів є дуже різноманітним. Цей клас відходів містить значну кількість небезпечних відходів (ртуть, фосфорокарбонати, токсичні хімікати тощо), які негативно впливають на здоров'я населення і забруднюють навколишнє середовище.

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 та металу.

Виробництво пакувальних матеріалів, які складають левову частку у складі побутових відходів, у розвинених країнах вийшло на рівень провідної галузі економіки. 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.

Утилізації пакувальних відходів є ускладненою, оскільки процеси пакування продукції і переробки використаних пакувальних матеріалів переслідують зовсім 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 розкладатися, згорати. Тому розробники упаковки намагаються знайти компроміс щодо

поєднання виробництва пакувальних матеріалів з високими споживчими властивостями і їх придатністю для ефективної утилізаційної переробки.

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

Відходи лікувально-профілактичних установ - 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.

За ступенем небезпеки для навколишнього середовища промислові відходи поділяють на 4 класи, в залежності від чого встановлюються вимоги до їх утилізації і захоронення. Термін «небезпечні відходи» визначено ст. 1 Закону України «Про відходи»: «небезпечні відходи — 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 і засобів поводження з ними».

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 тетраетил свинцю і металоорганічних сполук; відходи солей арсену; відпрацьовані трансформатори і конденсатори з трихлордифенілом і пентохлордифенілом; ртутьвмісні матеріали, відпрацьовані лампи люмінесцентні.

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: Мало небезпечні 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 зберігають 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.

Світова практика поводження з відходами свідчить, що чим жорсткіше екологічне законодавство з охорони навколишнього середовища, тим більше утворюється твердих токсичних відходів, оскільки застосовуємі методи очищення газоподібних і рідких середовищ призводять до концентрації забруднювачів у твердій речовині: в мулах, осадах, попелі тощо.

Таблиця 1 – Екологічні податки для утилізації відходів за ступенем небезпеки відходів 2015 року

Клас	Рівень небезпеки відходів	Податок за 1 тону відходів, гривень	Податок за 1 тону, доларів США
1	Особливо небезпечні	890,79	41,87
II	Дуже небезпечні	32,45	1,53
III	Помірно небезпечні	8,14	0,38
IV	Низький рівень небезпеки	3,17	0,15
Нетоксичні відходи гірничодобувної промисловості низького рівня небезпеки		0,31	0,01

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 про зміщення 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.

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 утилізації, у першу чергу постає питання про властивості відходів, їх токсичність, морфологічний і елементний склад.

В Україні з 1996 року введений в дію державний класифікатор відходів ДК 005-96, який входить в державну систему класифікації та кодування техніко-економічної і соціальної інформації.

Державний класифікатор відходів - систематизований перелік кодів та назв відходів, призначений для використання в державній статистиці. Метою державного класифікатора відходів є 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. Використання класифікатора відходів створює нормативну базу для проведення порівнювального аналізу структури та обсягу утворення відходів усіх видів економічної діяльності. Запропонована класифікація відходів за вхідними компонентами, за виробничо-технологічними процесами і за кінцевою продукцією задовольняє вимогам до класифікації об'єктів, встановленим в міжнародних стандартах, і дає повну системну класифікацію всіх можливих об'єктів.

Об'єктами класифікації у класифікаторі є наступні види відходів:

- залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів тощо, утворені в процесі виробництва продукції або виконання робіт, які цілком або частково втратили вихідні споживчі властивості (відходи виробництва);
- розкривні і супутні гірничі породи, що видобуваються в процесі розроблення родовищ корисних копалин;
- залишкові продукти збагачення та інші види первинної обробки сировини (шлам, пил, відсів тощо);

- речовини та їх суміші, які утворені в термічних, хімічних та інших процесах і не є метою цього виробництва (шлак, зола, кубові залишки, інші тверді і пастоподібні утворення, а також рідини та аерозолі);
- залишкові продукти сільськогосподарського виробництва (у тому числі тваринництва), лісництва і лісозаготівель;
- бракована некондиційна продукція усіх видів економічної діяльності або продукція, що забруднена небезпечними речовинами і не придатна до використання;
- неідентифікована продукція (у тому числі мінеральні добрива, отрутохімікати, інші речовини), застосування (експлуатація) або вживання якої може спричинити непередбачені наслідки;
- зіпсовані (пошкоджені) і неремонтопригодні чи відпрацьовані, фізично або морально зношені вироби та матеріали, які втратили свої споживчі властивості (відходи споживання);
- залишки продуктів харчування, побутових речей, пакувальних матеріалів тощо (побутові відходи);
- осади очисних промислових споруд, споруд комунальних та інших служб;
- залишки від медичного та ветеринарного обслуговування, медико-біологічної та хіміко-фармацевтичної промисловості, аптечної справи;
- залишкові продукти усіх інших видів діяльності підприємств, установ, організацій, населення;
- матеріальні об'єкти та субстанції, активність радіонуклідів або радіоактивне забруднення яких перевищує межі, встановлені чинними нормативами, за умови, що використання цих об'єктів та субстанцій не передбачається (радіоактивні відходи).

Структурно класифікатор відходів складається 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 складається 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).

Відходи сировинних, видобувних та обробних галузей економіки включають:

- залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів, відходи виробництва;
- розкривні і супутні гірничі породи, що видобуваються у процесі розроблення родовищ корисних копалин;
- залишкові продукти збагачення та інших видів первинної обробки сировини (шлам, пил, відсів тощо);
- новоутворені речовини та їх суміші, утворені в термічних, хімічних та інших процесах і які не є метою даного виробництва (шлак, зола, інші тверді та пастоподібні утворення, а також рідини та аерозолі);
- залишкові продукти сільськогосподарського виробництва, лісівництва і лісозаготівель;
- бракована, некондиційна продукція, що не придатна до використання;
- неідентифікована продукція, застосування якої може спричинити непередбачені наслідки, у т. ч. мінеральні добрива, отрутохімікати, інші речовини;
- зіпсовані чи зношені вироби та матеріали, які втратили свої споживчі властивості (відходи споживання);
- залишки продуктів харчування, побутових речей, пакувальних матеріалів тощо (побутові відходи);
- осади очисних промислових споруд, споруд комунальних служб;
- залишки від медичного та ветеринарного обслуговування;
- радіоактивні відходи.

У класифікаторі відходів прийнято 11-знакову структуру коду, яка складається з чотирьох частин (рис.2).

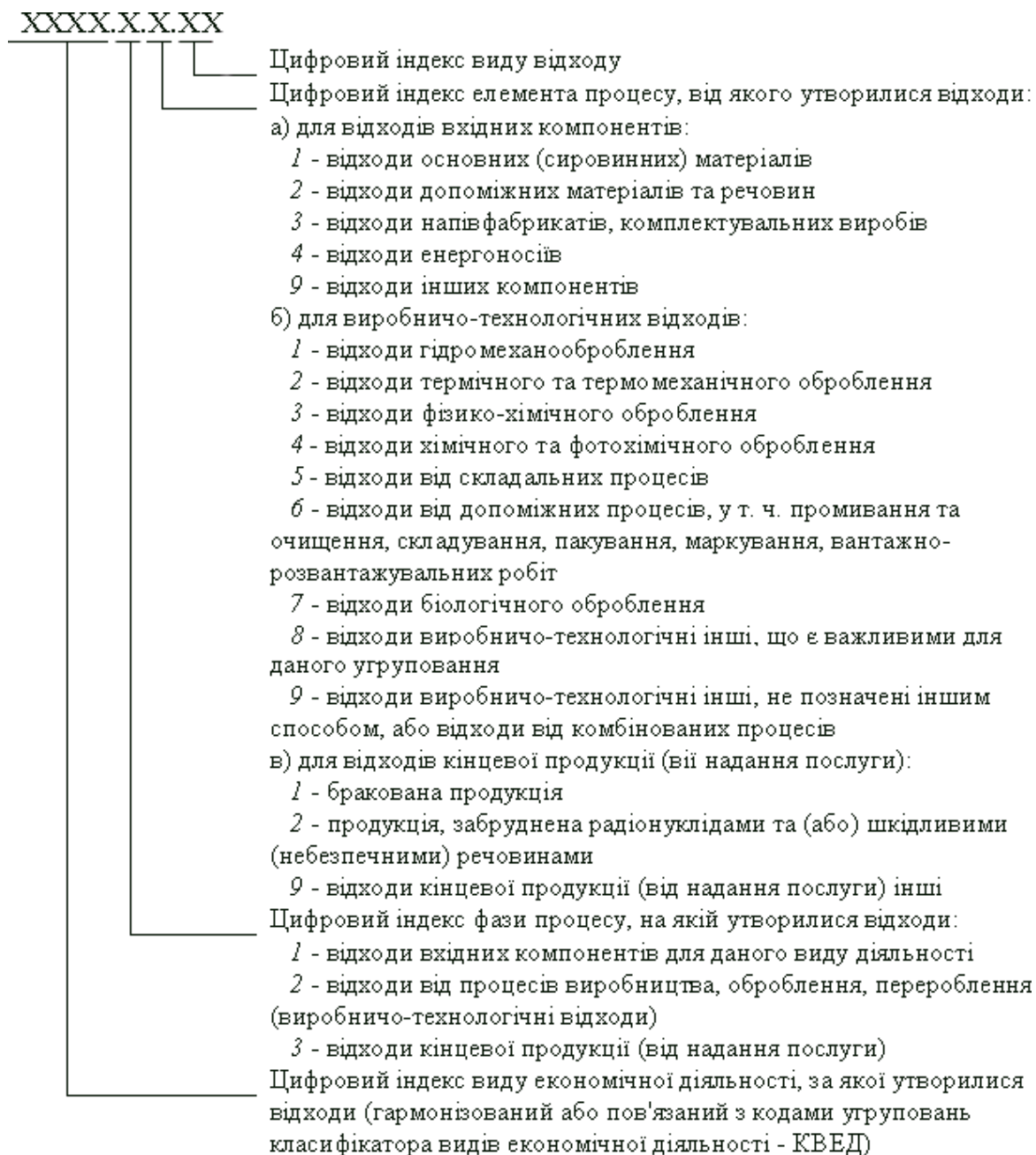


Рисунок 2 - Структура коду відходів

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.

Класифікація відходів згідно ДК 005-96 за вхідними компонентами, за виробничо-технологічним процесами і по кінцевій продукції задовольняє вимогам до класифікації об'єктів, встановленим в міжнародних стандартах, і дає повну системну класифікацію всіх можливих об'єктів утилізації.

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. 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.

Таблиця 3 – Приклад формування коду відходів

КОД	Назва класифікаційного угруповання
01	Відходи виробництва продукції сільського господарства та мисливства
011	Відходи виробництва зернових культур, продукції овочівництва та садівництва
0111	Відходи виробництва хлібних злаків та сільськогосподарських культур, не введені в інші угруповання.
0111.1	Відходи вхідних компонентів для виробництва хлібних злаків та сільськогосподарських культур, не введені в інші угруповання.
0111.1.1	Відходи матеріалу посадкового
0111.1.1.01	Насіння злаків хлібних та культур сільськогосподарських, не введені в інші угруповання., зіпсоване (у т. ч. під час оброблення)

Постановою Кабінету Міністрів України від 13 липня 2000 р. N 1120 затверджено «Положення про контроль за транскордонними перевезеннями небезпечних відходів та їх утилізацією/видаленням», яку розроблено на основі Базельської конвенції.

Жовтий перелік відходів - список відходів, які є особливо небезпечними для навколишнього середовища і людини (розділ «А») та відходи, які потребують окремого розгляду (розділ «Б»). Розділ «А» включає ряд металів з токсичною дією, акумуляторні батареї, Відходи скла від електронно-променевих трубок, відпрацьовані нафтопродукти непридатні для використання за призначенням, медичні відходи, відходи виробництва, одержання і застосування фармацевтичних препаратів, відходи вибухонебезпечного характеру тощо. До розділу «Б» включено залишки, які утворені в результаті спалювання побутових відходів, побутові відходи, каналізаційний мул, відходи пневматичних шин тощо. Здійснювати транскордонне перевезення таких вантажів необхідно з обов'язково оформленою дозвільною документацією.

Зелений перелік відходів включає в себе список відходів, які дозволені до перевезення, тобто не мають в своєму складі небезпечних речовин (металевий брухт, скляний бій, відходи і брухт електричних та електронних вузлів, уламки пластмас із негалогенованих полімерів, макулатура та текстильні відходи, гумові відходи тощо).

1.3 Основні способи поводження з відходами

Відходи є наслідком повсякденного життя всіх живих організмів. Завданням для сучасної світової спільноти є мінімізація кількості відходів та перетворення їх у матеріальні ресурси. У цьому полягає суть концепції нульових відходів «zerowaste».

Ресурсний потенціал відходів включає матеріальну, енергетичну та біологічну складові. Повторне використання кожної з перерахованих 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. Вибір доцільного способу поводження з побутовими і промисловими відходами визначається у результаті проведення комплексного техніко-економічного аналізу проблеми. У практиці поводження з побутовими 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 спосіб складування й зберігання відходів, оцінюють можливості їх 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 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 утилізації 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 підвищення ефективності роботи операторів, мобілізації необхідних інвестиційних ресурсів.

Соціальний аналіз розглядає механізми взаємодії громадськості та установ, які працюють у сфері утилізації, 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 компонент передбачає аналіз ефективності механізму поводження з відходами на муніципальному рівні. Організація утилізації відходів може забезпечувати підвищення зайнятості населення та потенційно вивести громади з бідності.

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 їхній основі, наявність відповідних технологій утилізації. Усі зазначені чинники об'єднуються поняттям споживчі властивості відходів.

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.

Переважає частина відходів відноситься до III - IV класів небезпеки. В більшості випадків збирання і переробка відходів є економічно вигідною. Рентабельність переробки відходів I - II класів у більшості випадків є збитковою.

Обсяг відходів, які утворюються у всіх країнах світу, зростає. Якщо на сьогодні в Європі утворюється 392 млн т відходів на рік, то до 2030 року прогнозується, що ця цифра досягне 441 млн т на рік, а до 2050 очікується 490 млн т. У країнах Азії і Африки темпи утворення відходів ростуть ще швидшими темпами - до 2030 року прогнозується збільшення їх обсягів на 30...40%. У Європейському союзі на теперішній час прийнято близько 20 директив, які стосуються різних аспектів проблеми поводження з відходами. Директивою Європейського Парламенту та Європейської Ради 2008/98/ЄС від 19 листопада 2008 року встановлено основні правила поводження з відходами, що дозволяють зменшити захоронення відходів та забезпечити економію ресурсів завдяки повторному використанню та переробленню вторинної сировини (рис. 4).



Рисунок 4 - П'ятиступенева ієрархія управління відходами

Цей документ встановлює п'ятиступеневу ієрархію управління відходами, яка базується на пріоритетах запобігання утворенню відходів та їх залучення у вторинний оборот. Основні кроки в порядку їхньої пріоритетності та безпечності для довкілля, які відображені в ієрархії із запобігання утворенню відходів та управління ними, виглядають наступним чином (*відео додаток 1*):

1. Запобігання утворенню.
2. Повторне використання.
3. Перероблення (рециклінг).
4. Інші види утилізації (наприклад, отримання теплової енергії).
5. Видалення відходів.

Європейська стратегія переробки відходів вписується у логіку досягнення масштабних цілей в напрямку сталого розвитку шляхом:

- розвитку циклічних економічних процесів, заснованих на збереженні ресурсів, повторному використанні та переробці сировини;
- розвитку відновлюваних джерел енергії з можливістю використання в якості енергії біогенної складової відходів;
- боротьби з кліматичними змінами шляхом вибору найбільш ефективних з доступних технологій і оптимізації процесів обробки.

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 субстанцій в матеріалах і продуктах».

Однією з можливостей досягнення низького використання сировини є зменшення кількості вироблених товарів. Це зменшення потребує перепроєктування виробів таким чином, щоб використовувати менше матеріалів. Уряди країн можуть законодавчо встановити вищі податки на використання надмірної упаковки товарів, вимагати обов'язкового більш тривалого терміну експлуатації виробленої продукції тощо. Крім того, під впливом екологічної просвіти споживачі можуть купувати менше виготовлених товарів або купувати продукцію, яка забезпечить її використання з утворенням мінімальної кількості відходів.

Запобігання утворенню відходів досягається шляхом переорієнтації виробників і споживачів на продукти та їх пакування, що призводять до утворення меншої кількості відходів. У країнах Європейського союзу політика по скороченню відходів спрямована 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 сік, складаються з шарів фольги, пластику і картону, що практично унеможлиблює їх вторинну переробку. В цьому напрямку також доцільним є скорочення використання одноразового посуду та пластикових пакетів. Для реалізації таких заходів передусім повинні застосовуватися такі економічні інструменти, як стимулювання безвідходних технологій, встановлення обов'язкової плати споживачами за певний предмет чи елемент пакування, наприклад, пластиковий пакет. У Європі збільшується кількість магазинів, які продають продукцію у тару споживача: як продукти харчування, так і побутову хімію. Важливим заходом для запобігання утворенню відходів є проведення інформаційних кампаній.

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». Сфера дії принципу повторного використання є невеликою і він швидше служить пропаганді ощадливості і дбайливості у суспільстві, ніж вирішує серйозні економічні завдання. Успішними прикладами використання такої тактики є багаторазове використання скляних пляшок, пластикових контейнерів і мішків, дерев'яних піддонів і картонних ящиків для транспортування та розміщення товарів у торгівельній мережі. 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, що вийшли з моди прикраси, книги тощо. Для збору речей придатних для повторного використання створюються спеціальні центри, де здійснюється оновлення (ремонт) і продаж усього перерахованого вище за принципом «second hand's».

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).

Утилізація відходів згідно до Директиви ЄС про відходи від 19.11.2008 року - це будь-які операції, в результаті яких відходи приносять користь, замінюючи інші матеріали. Додаток II Директиви подає перелік операцій із утилізації - 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 каталізатору, повторна очистка олив та інші види повторного вживання олив,

обробка землі з користю для сільськогосподарства чи докiлля та iншi. Використання вiдходiв як палива може застосовуватися як додатковий метод управління до тих вiдходiв, якi не пiддаються переробцi i повторному використанню.

Пiд термiном перероблення (рециклiнг) в Директивi 2008/98/ЄС розумiється будь-яка операцiя, при якiй матерiал вiдходiв переробляється в продукти, матерiали або субстанцiї незалежно вiд того, чи служить отриманий в результатi продукт своїм початковим або будь-яким iншим цiлям. Рециклiнг включає перероблення матерiалу вiдходiв, але не включає вiдновлення енергiї чи перероблення на матерiали, що будуть використовуватися як паливо. В окремих випадках рециклiнг матерiалу має на метi отримати первинний матерiал - наприклад, папiр з макулатури, але метою також може бути видiлення окремих елементiв зi складних продуктiв - наприклад, свинцю з автомобiльних акумуляторiв або золота з комп'ютерних плат.

В останні роки рiзнi рiвнi європейської iєрархiї управління вiдходами складаються в єдину економічну i технологiчну парадигму, де сама проблема вiдходiв розглядається в принципово широкому ресурсному контекстi. У документах ЄС i коментарях експертiв циркулярна економіка майбутнього подається як революцiя, яка веде до нового технологiчного укладу - до стiйкої, низьковуглецевої, ресурсно-ефективної i конкурентоспроможної економіки. У 2015 р Європейська комiсія прийняла програму «Замикаючи коло: План дiй ЄС щодо створення циркулярної економіки». Центральна iдея програми:

- все, що можливо, має пiддаватися вторинній переробцi;
- продукти, матерiали i ресурси повинні залишатися всерединi економіки якомога довше;
- утворення вiдходiв має бути зведеним до мiнiмуму.

iснують принциповi фундаментальнi вiдмiнностi мiж традицiйною лiнiйною i новою циркулярною моделями економіки. Лiнiйна економіка працює за алгоритмом «видобув – виробив - спожив - викинув». При застосуванні даної моделi матерiальнi блага створюються шляхом збiльшення кiлькостi продуктiв, що виробляються, а продукт служить до того моменту, поки вiд нього не

відмовляються і не відправляють у відходи. У протилежність цій моделі, у циркулярній економіці використання сировинних матеріалів скорочується, оскільки продукти виробляються з повторно використовуваних компонентів і матеріалів, а після відмови від використання продукту ці компоненти і матеріали піддаються рециклінгу. Нова вартість товару не стільки створюється, скільки зберігається - «утримується всередині». Принципом практичної діяльності в економічній моделі стає виробництво продукції все більш тривалого користування («дизайн на перспективу»), обслуговування та підтримання у робочому стані, ремонт, повторне використання, оновлення та рециклінг. 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 р тільки на раціональне управління твердими комунальними відходами планується витратити до 40 млрд. євро.

Перераховані вище три перші кроки з ієрархії управління відходами приносять найкращі, з екологічної точки зору, результати та забезпечують ресурсоефективність.

У випадку коли рециклінгова переробка неможлива, для утилізації відходів застосовуються операції з відновлення енергії чи перероблення на матеріали, що будуть використовуватися у якості палива. Згідно документів ЄС це крок охоплюється терміном «відходи в енергію» (waste-to-energy). До таких технологій утилізації відноситься спалювання, газифікація, піроліз, анаеробне зброджування відходів тощо. Проекти спалювання не повинні конкурувати з заходами, які спрямовані на скорочення утворення відходів, а також на їх економічно ефективне повторне використання та вторинну переробку. Спалювання є раціональною технологією утилізації невикористаних після проведення сортування горючих фракцій твердих побутових відходів.

Останнім кроком за пріоритетністю є захоронення відходів та спалювання без отримання енергії. У разі, коли в даний час вичерпано всі можливості проведення операцій по вторинній переробці проводять видалення відходів – захоронення їх у спеціально обладнаних місцях та знищення на спеціальних

установках, що забезпечують відповідність утворених залишків санітарним нормативам. Цей крок розглядається як перехідна (тимчасова) фаза поводження з твердими відходами.

Головною метою комплексної системи управління відходами є вихід на рівень нульового захоронення невикористаних залишків процесів утилізації. 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.2). 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 утилізації: близько 50% відходів використовуються у рециклінгових технологіях і 50% - спрямовуються на переробку в енергію.

Таблиця 2 – Структура поводження з відходами у європейських країнах

Поводження з побутовими відходами	Україна (2015), дані Мінрегіону України, млн. т.	Країни ЄС (2015), дані Євростату, млн.т.	Швеція (2015), дані Євростату, млн.т.	Польща (2015), дані Євростату, млн.т.
Всього утворено відходів	9,23	247	4,377	10,863
Захоронення видалення, видалення	8,69 (94,1%)	61 (25,3%)	0,035 (0,8%)	4,808 (44,3%)
Спалювання	0,25 (2,7%)	64 (26,6%)	2,241 (51,2%)	1,439 (13,2%)
Перероблення	0,26 (2,8%)	69 (28,6%)	2,101 (48,0%)	4,616 (42,5%)

В той же час, будь який варіант поводження з відходами є пов'язаним з витратами і не може беззаперечно розглядатися в якості прибуткового бізнесу з продажу енергії, що отримується при спалюванні відходів і вторинної переробки матеріалів за поточними цінами на цю продукцію.

Переробка сміття в Німеччині - галузь з оборотом в 200 мільярдів євро. У ній зайняті 250 тисяч чоловік, а щорічний ріст досягає 14 відсотків (табл.3).

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 ресурсоємних багатовідхідних технологій та через відсутність протягом тривалого часу адекватного реагування на виникаючі екологічні виклики в Україні існують масштабні проблеми утилізації відходів.

Таблиця 3 – 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%

Однією з галузей житлово-комунального господарства України, яка не в змозі самостійно розв’язати свої проблеми, є сфера поводження з побутовими відходами. Протягом останніх трьох десятиріч років спроби регулювання в даній сфері змогли лише підтримувати на плаву усталену систему, не створюючи передумов до її розвитку. Численні плани щодо впровадження роздільного збору сміття, розвитку переробки відходів у вторинну сировину, ліквідації незаконних звалищ залишаються переважно на папері або були реалізовані в якості одиничних і, як правило, дрібних проектів. Основним способом позбавлення від відходів в Україні є їх захоронення. 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.

1.3.1. Розміщення відходів.

Розміщення (складування та захоронення) відходів включає операції з видалення відходів, визначених Базельською конвенцією про контроль за транскордонними перевезеннями небезпечних відходів та їх видаленням та постановою Кабінету Міністрів України від 13.07.2000 року № 1120 “Про затвердження Положення про контроль за транскордонними перевезеннями

небезпечних відходів та їх утилізацією/видаленням і Жовтого та Зеленого переліків відходів», а саме:

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

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.

Існуючі способи знешкодження, утилізації та поховання токсичних відходів поділяються на три групи:

- термічні: вогневий; рідкофазне окиснення; газифікація; піроліз; плазмовий;

- хімічні: фізико-хімічна переробка (коагуляція, адсорбція, екстракція, флотація, йонування, електрохімія); хімічне очищення (нейтралізація, окиснення); мембранні та електрохімічні методи;

- іммобілізація: компактування; локалізація; депонування.

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 уловлюються мокрим способом; шламів і інших промислових відходів, що знаходяться в насиченому водою стані. Цей спосіб полягає в транспортуванні пульпи (суміші твердих часток і води) по трубопроводах за допомогою насосів і зливання її в сховище. Такі сховища промислових відходів займають великі території (нерідко родючих сільськогосподарських земель), відбувається розпилення підсохлих поверхонь відходів, спостерігається підтоплення прилягаючих територій і забруднення підземних вод.

Тверді побутові відходи вивозять для складування на звалища, розташовані поблизу населених пунктів. 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. По суті, відходи просто переносяться з місця, де вони утворюються, в інше, малоприсадаблене для захоронення місце. В Україні існує більше 3500 смітєзвалищ, площа яких складає 180 тис. га. Площа, відведена в Україні під захоронення відходів, становить 4% всієї території України. Звалища (особливо стихійні) схильні до самозаймання, при цьому в атмосферу виділяється велика кількість шкідливих горючих газів, оскільки в твердих побутових відходах міститься до 10% пластмас, в т. ч. хлорвміщуючих полімерів. Для продовження терміну експлуатації переповнених смітєзвалищ шляхом зменшення обсягів накопичених відходів часто застосовували навмисне підпалювання горючих фракцій.

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 розміщення небезпечних відходів та вірогідністю захворювання на рак легенів, мозку, шлунку і сечового міхура. У країнах з теплим кліматом звалища стають джерелом інфекційних хвороб, переносниками яких є членистоногі, переважно москіти.

Критичний екологічний вплив на навколишнє середовище сміттєзвалищ пов'язаний з тим, що значна їх частина не підготовлена для виконання своїх функцій, а основна частина відходів, що видаляють, не проходить попереднє сортування. На сміттєзвалища України часто потрапляють відходи з небезпечними хімічними речовинами, що є неприпустимим з погляду екологічної безпеки.

Відходи, які не вдалося утилізувати, необхідно розміщувати на спеціально обладнаних полігонах, що дозволяє знизити рівень загрози здоров'ю населення від отруєння ґрунтових вод, розмноження переносників захворювань, випаровувань з неприємними запахами, диму від виникаючих самозаймань. Полігон це інженерна споруда, яка призначена для складування та захоронення твердих побутових відходів, облаштування якої запобігає негативному впливу відходів на навколишнє природне середовище і відповідає санітарно-епідеміологічним і екологічним нормам. Полігон твердих побутових відходів є в деякому роді «біохімічним реактором» - в його товщі відбувається утворення значної кількості токсичних газів і рідкого фільтрату, виплід мух, розвиток хвороботворних мікроорганізмів, привернення до цих територій дрібних гризунів і птахів. Значну шкоду природі у глобальному масштабі наносять викиди біогазу, що містять 40...60% метану та 60...40% CO₂. При цьому парниковий ефект метану у 20 разів вищий, у порівнянні з вуглекислим газом. У зв'язку з виділенням метану та інших горючих газів звалища відходів представляють значну пожежну небезпеку. На відміну від звалищ, полігони твердих побутових відходів мають інженерну інфраструктуру для утилізації утвореного так званого звалищного газу. Видалення твердих побутових відходів на звалища (полігони), слід розглядати як вимушене, тимчасове

рішення проблеми, яке в принципі суперечить екологічним і ресурсним вимогам.

Території полігонів захищаються від стоків поверхневих вод з вище розташованих земельних масивів. Для перехоплення дощових та паводкових вод по межі ділянок полігону проектується водовідвідна канава. На відстані 1...2 м від водовідвідної канави виконується огорожа полігону, біля якої на смузі шириною 5...8 м передбачається садіння дерев, прокладання інженерних комунікацій (водопровід, каналізація), встановлення щогл електроосвітлення. По периметру ділянки полігону відсипаються високі насипи ґрунту для його послідуєчого використання на ізоляцію поверхні шарів укладених твердих побутових відходів.

На полігонах на глибині понад 1,5...2,5 м завжди виявляється фільтрат - отруйна рідина сіро-чорного кольору, що утворюється при захопленні розчинених і суспензованих твердих речовин і продуктів біологічного розкладу поверхневими водами, що потрапляють на територію звалища з атмосферними опадами. У поверхневих водах навколо звалищ фіксується вміст міді у 2...12 разів вищий, ніж фоновий, цинку – у 2...14 разів, свинцю – у 4...36, вісмуту – у 180 разів, ртуті – майже у 950 разів. Кількість фільтрату, що утворюється у робочому тілі полігону, залежить від кількості річних атмосферних опадів даного регіону, 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.

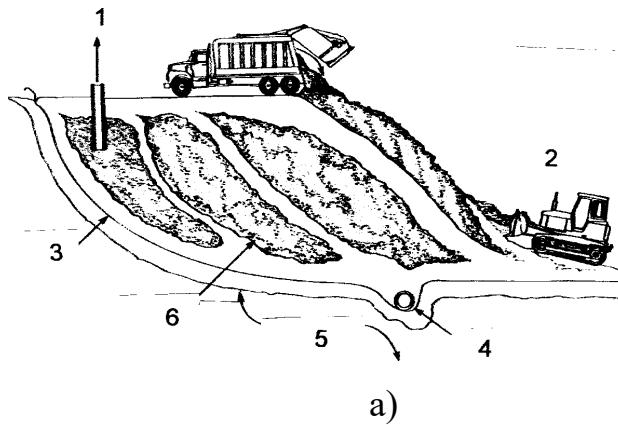
Полігони розміщують на ділянках, де основою є глини, важкі суглинки, інші водотривкі породи. Рівень ґрунтових вод під дном полігона повинен знаходитися на глибині більшій 2 м. Захист від забруднення ґрунтів і ґрунтових вод здійснюється шляхом створення спеціального протифільтраційного екрану з полімерної плівки, укладеного по всьому дну і по бортам полігону, системи дренажу для відводу й очищення фільтрату, а також системи спостережних свердловин для контролю якості ґрунтових вод (рис.5). Шви полімерної плівки

ретельно ущільнюють та розміщують на протифільтраційному екрані первинний шар ґрунту, щоб запобігти його пробиванню транспортними і ущільнюючими засобами. Полімерні плівки, які розміщують на дні полігонів, дозволяють утримання більшої частини фільтрату, але вони ніколи не забезпечують ідеального захисту. Жоден полігон не є достатньо герметичною спорудою, щоб попередити забруднення ґрунтових вод фільтратом.



Рисунок 5 - Підготовка ділянки сучного полігону для захоронення відходів

Площа ділянки складування полігона розбивається на робочі карти (зони), які по черзі заповнюються відходами. 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. Після цього його укривають інертним ізолюючим шаром (ґрунт, глина, подрібнені будівельні відходи тощо) завтовшки не менше 20 см і ущільнюють (рис.6).



- 1 – відведення звалищного газу; 2 - розрівнювання та ущільнення шару відходів; 3 – протифільтраційний екран; 4 - система збору фільтрату;
5 - розрівнювання та ущільнення відходів на полігоні

Рисунок 6 - Полігонне захоронення відходів та схема формування полігону.

З урахуванням невисоких експлуатаційних затрат полігони є найбільш розповсюдженим в Україні методом розміщення твердих побутових відходів. Вони дозволяють 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 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.

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. 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 ліквідацію або консервацію полігону. Створення та утримання полігону передбачає рекультивацію земель після закриття та інші природоохоронні заходи. Витрати на утримання полігону не закінчуються в момент, коли складування відходів завершено. Водозбірні і водовідвідні системи виведеного з експлуатації полігону відходів повинні тривалий час підтримуватися у робочому стані.

Трагедія на Грибовицькому сміттєзвалищі показала, до яких наслідків призводить нехтування цивілізованими способами поводження з відходами. Захоронення відходів на полігоні понад дозволені ліміти, відсутність перешарування інертним матеріалом, відсутність збору біогазу, який утворювався внаслідок перегниття сміття, накопичення у великих обсягах біогазу у тілі звалища і призвели до загоряння сміття.

Сумарні витрати повного життєвого циклу, віднесені до маси відходів в обороті, роблять полігонне захоронення побутових відходів дорогим способом поводження з твердими побутовими відходами. 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. З урахуванням згаданих факторів використання звалищ виявляється далеко не найпростішим способом позбавитися 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.

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 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.

Значну кількість промислових рідких відходів у світі скидають у відкриті водоймища без очищення. При отриманні целюлози, картону, паперу, у гідролізно-дріжджовому виробництві утворюються, накопичуються та скидаються у водні об'єкти у складі стічних вод значні кількості водорозчинного лігніну. Ця органічна речовина у водному середовищі взаємодіє з розчиненим киснем, значно погіршує кисневий режим водойм і водотоків, знижує рН води до рівнів, критичних для існування водної біоти. Злиті відходи швидко поширюються в об'ємі водоймища на великі відстані, розчиняються та осідають на дні, створюючи видимість чистоти. Екологічні наслідки утилізації рідких відходів через забруднення підземних вод і ґрунтів починають виявлятися часто лише через кілька десятків років. Затрати на фільтрацію та очищення води, збитки для риболовецької промисловості у багато разів перевищують витрати на будівництво підприємств з переробки та утилізації рідких відходів.

Захоронення відходів у морях (дампінг) – цілеспрямоване скидання у море відходів, а також знищення і затоплення суден, платформ тощо. Дампінг зазвичай проводять країни, що мають вихід до моря. Обсяг світових відходів, які захороняють у морських глибинах, досягає 10% від загальної кількості утворених 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 воду біогенних речовин, металів, нафтопродуктів та інших сполук, які містяться у затоплюємих відходах. Осівши на дні морів, відходи залишаються джерелом надходження у придонні шари води забруднюючих речовин, які шкідливо діють на донні організми. Елементи твердих відходів зустрічалися навіть при дослідженні дна Маріанської западини у Тихому океані. 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 знову може бути винесеною морськими течіями на берег.

1.3.2. Термічна переробка відходів.

Основними видами термічної переробки відходів є спалювання, піроліз та плазмова газифікація. Термічна переробка дозволяє максимально знешкодити відходи, зменшити в 4...10 разів обсяг складованого на полігоні матеріалу та використати енергетичний потенціал органічних відходів. У Європі застосовується термін — «відходи в енергію», що відображає різні види технологій обробки відходів для отримання енергії у формі теплової, електричної чи альтернативного палива.

Основна мета термічної переробки твердих побутових відходів полягає в тому, щоб зменшити їх обсяг і масу, а також зробити відходи хімічно інертними. 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 споживачами 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. Головною метою спалювання

відходів має бути охорона навколишнього середовища. Останніми десятиліттями у світовому масштабі частка твердих побутових відходів, які спалюють з утилізацією теплоти, неухильно зростає.

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. Спалювання відходів потребує великих інвестицій, але при цьому створюється дуже мало робочих місць. В той же час, повторне використання та переробка відходів, навпаки, приносить користь всій економіці, створюючи принаймні в десять разів більше робочих місць, ніж сміттєспалювальні заводи.

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.

Сміттєспалювання негативно впливає на зміну клімату. Спалювання змішаних відходів, які включають значну частину продуктів переробки нафти та газу, у тому числі пластик, веде до збільшення викидів парникових газів в атмосферу, а отже таким чином це є непряме спалювання викопного палива. Під час спалювання відходів виділяється 1,355 кг вуглекислого газу на 1 МВт·год виробленої електроенергії. Для порівняння, на вугільних ТЕЦ виділяється 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). Крім газоподібних продуктів при спалюванні відходів утворюються токсичні зола та шлаки масою до 10% від маси відходів, які потребують подальшого захоронення.

Відповідно до Закону України “Про відходи” спалювання побутових відходів дозволяється лише на спеціально призначених для цього підприємствах та лише в енергетичних цілях з метою одержання теплової та/або електричної енергії. 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.

Сміттєспалювальні заводи, подібно до звалищ відходів, завжди негативно сприймаються населенням через небезпеку забруднення повітря газоподібним продуктами згорання діоксинами та іншими забруднювачами, а також через проблеми з захороненням токсичної золи, що утворюється при спалюванні твердих побутових відходів. Газоподібні продукти згорання на сміттєспалювальних заводах мають обов'язково піддаватися очищенню. Утилізація відходів на сміттєспалювальних заводах є найдорожчим методом отримання енергії, експлуатація таких підприємств створює значне економічне навантаження для комунального господарства міст. В країнах з розвиненим екологічним законодавством до половини капітальних витрат при будівництві сміттєспалювальних заводів витрачається на газоочисні системи. До 1/3 експлуатаційних витрат сміттєспалювальних заводів йде на плату за захоронення золи, яка з екологічної точки зору є значно небезпечнішою речовиною, ніж тверді побутові відходи самі по собі.

Піроліз (від грец. *pyr* - вогонь, жар і *lysis* - розкладання, розпад) відбувається при нагріванні органічного матеріалу за відсутності або нестачі кисню з утворенням ряду інгредієнтів. У процесі піролізної переробки органічні речовини, які входять до складу відходів, перетворюються на піролізний синтез-газ або піролізне рідке паливо і твердий залишок, що становить 3-5% від вихідної кількості відходів. Метод піролізу вважається

перспективним напрямком переробки відходів як з точки зору екологічної безпеки, так і отримання вторинних корисних продуктів (синтез-газу, рідкого палива, вуглецевого залишку, металів), які знаходять застосування у господарчій діяльності. Піролізна газифікація дає можливість екологічно безпечно і технічно просто переробляти 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 утилізації побутових відходів їх використовують ще досить рідко.

Установки плазмової газифікації забезпечують утилізацію токсичних відходів при температурах, що перевищують 5500°C. Плазмові установки дозволяють переробляти різноманітні токсичні відходи при їх мінімальній попередній підготовці і утворенні малотоксичних продуктів утилізації. 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 продукт, який можна застосовувати, наприклад, у якості наповнювача будівельних матеріалів. Технологія плазмової газифікації є відносно новою малопоширеною розробкою, більш складною та енергомісткою у порівнянні зі спалюванням.

1.3.3. Промислова переробка відходів.

Ресурси багатьох матеріалів на Землі обмежені та не можуть бути відновлені у терміни, порівнянні з часом існування людської цивілізації. Утилізація передбачає повторне використання вторинних матеріалів в новій якості, яка отримується в результаті спеціальної обробки. Проведення промислової переробки відходів є перспективним шляхом подолання негативного впливу відходів на навколишнє середовище.

Вже в кінці XIX ст. в епоху ранньої індустріалізації, коли стало набирати оберти надвиробництво легкодоступних товарів, жителям промислових міст відходи стали створювати значні незручності. Висока вартість ресурсів

спонукала тогочасних підприємців утилізувати практично всю придатну до переробки вторинну сировину. Відходи та вироби, що закінчили свій життєвий цикл, часто були дешевшим джерелом багатьох речовин і матеріалів, ніж природні джерела. Первинною ланкою утилізаційної системи на ті часи був розвинений інститут лахмітників, відомий нашим сучасникам хіба що з книжок. За невелику плату вони збирали у населення папір, скло, бляшану і дерев'яну тару, ганчір'я, залишаючи прибиральникам сміття лише непотріб.

Рециклінг 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 утилізації відходів підтверджується результатами оцінки частки енергоспоживання при виробництві 1 т вторинного матеріалу до рівня енергоспоживання на виробництво первинного матеріалу. Так, 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 утилізація може здійснюватися на тих самих підприємствах, на яких ця продукція була вироблена. В той же час утилізація часто проводиться на спеціально створюваних підприємствах з іншими, не характерними для даного матеріалу методами переробки, з метою використання за новим призначенням. Сьогодні в Україні працює 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 завантажені не повністю. Для утилізації 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 відходів можна переробляти у вторинну сировину при організації роздільного збору відходів чи їх централізованому сортуванні.

Найбільш важливим економічним стимулом переробки відходів є та обставина, що утилізація виявляється найдешевшим способом боротьби з

відходами. 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 закопування відходів в землю або скидання їх у море - це неприпустиме перекладання проблем на плечі нащадків.

Утилізацію поділяють на три різновиди: первинну, вторинну та змішану. Під первинною утилізацією (рекуперація) розуміють використання відходів у різних галузях народного господарства без попередньої глибокої фізико-хімічної переробки; під вторинною — використання продуктів спеціальної переробки відходів. У результаті процесів вторинної утилізації утворюються продукти іншого складу, ніж вихідні відходи. Утилізація змішаного типу включає як первинну, так і вторинну утилізацію.

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 жерстяних банок - у виробництво сталі; макулатури - у виробництво паперу та картону і т. п.).

Такі відходи повертають у виробничий процес без попередньої підготовки, але в більшості випадків необхідно проводити сортування та їх очищення від забруднень. При утилізації існує правило: змішані відходи - це сміття, а роздільно зібрані або розсортовані - це вторинні ресурси.

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

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, виробах зі скла, металу, паперу, пластмаси. Числові позначення і скорочені назви матеріалів визначені в рішенні Європейської комісії 97/129 / ЕС (рис.7, табл.4).

Таблиця 4 – Коды пластмас для вторинної переробки

Знак	Ідентифікатор матеріалу		Опис
	ISO 1043 (97/129/EC)	ГОСТ 24888-81	
	1 PET	ПЭТФ	Поліетилентерефталат (лавсан)
	2 PEHD	ПЭНД (ПНД, ПЭВП)	Поліетилен низького тиску
	3 PVC	ПВХ	Полівінілхлорид
	4 PELD	ПЭВД (ПВД, ПЭНП)	Поліетилен високого тиску
	5 PP	ПП	Поліпропилен
	6 PS	ПС	Полістирол
	9 ABS		АБС-пластик

На різних упаковках можна побачити спеціальні символи рециклінгу, які дають інформацію про те, чи можна переробляти виріб чи ні, як утилізувати виріб, якщо він виготовлений з перероблених матеріалів (табл.5). На регіональних рівнях є й інші позначення характеристик і процесів екологічного змісту.

Як успішний приклад утилізації є організація переробки відходів з поліетилену в Японії. 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 комплексу 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. На сьогодні в

Японії близько 90% всіх пластикових пляшок переробляються у волокна для виготовлення нових тканин.

Таблиця 5 – Символи рециклінгу

Символ	Значення символу
	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.
	Знак, що позначає, що даний виріб виготовлено з вдруге переробленої сталі.
	Даний 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.

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 утилізуватись. Доцільно і технологічно можливо відбирати теплову енергію від продуктів згорання палива та використовувати її як вторинний енергетичний ресурс.

Утилізація та рекуперація 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 дещо нижчими, а в процесі експлуатації давати результат близький до аналогів, вироблених з первинної сировини.

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 «утилізація» і «рекуперація» 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. СМІТТЕСПАЛЮВАННЯ

2.1 Знешкодження відходів шляхом сміттєспалювання

Для зменшення обсягів захоронення відходів та отримання альтернативних джерел енергії першою реалізованою ідеєю цивілізації стало їх спалювання. Утилізація твердих побутових відходів на сміттєспалювальних заводах одержала широке застосування у світовій практиці. На сьогодні це найбільш технічно відпрацьований серед усіх методів промислової переробки твердих побутових відходів. Вогневий спосіб знешкодження і переробки відходів виявився найбільш універсальним, надійним і ефективним у порівнянні з іншими способами утилізації. Спалювання відходів - це багатоступінчастий технологічний процес поводження з відходами, який дозволяє:

- значно скоротити початковий об'єм відходів(від 4 до 10 разів);
- привести до повного знешкодження наявних у відходах мікроорганізмів;
- отримати теплову енергію від спалювання відходів.

Цілеспрямоване промислове спалювання твердих побутових відходів почалося з побудовою першого сміттєспалювального закладу поблизу м. Лондон у 1870 році. Перші сміттєспалювальні заводи були громіздкими і малоефективними, їх основною задачею була переробка сміття, а не отримання енергії. Згодом з'явилися більш продуктивні сміттєспалювальні підприємства з потужними топками, які дозволяли спалювати за короткий час значну кількість сміття і акумулювати більшість виробленої теплової енергії. Значні проблеми при утилізації відходів спалюванням стали виявлятися по мірі поширення в побуті синтетичних полімерних матеріалів, які не піддаються природному розкладанню, в першу чергу, полімерних матеріалів і гуми.

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. Поштовхом до використання такого варіанту утилізації став факт, що при спалюванні 1 т

твердих побутових відходів можна отримати 2..3 Гкал теплової енергії або виробити до 600 кВт·год електроенергії. Саме в цей період почалося будівництво великих сміттєспалювальних заводів в таких містах, як Мадрид, Берлін, Лондон та в країнах з високою щільністю населення. Станом на 1992 рік в світі діяло близько 400 заводів, на яких проводилося спалювання твердих побутових відходів з виробництвом пару і електроенергії, а до 1996 року їх кількість досягла 2400.

В подальшому кількість діючих сміттєспалювальних заводів стала помітно скорочуватися і у 2005 році їх загальна кількість у Європі складала 367, а в Японії - близько 600. Причиною цього стали недосконалість конструкцій топок, низька ефективність очисних споруд, і, відповідно, встановлення значного негативного впливу сміттєспалювальних заводів на стан забруднення навколишнього середовища. В першу чергу це було викликано різким збільшенням у складі відходів виробів з хлорвмістних полімерних матеріалів при їх спалюванні. В подальшому в багатьох країнах були введені нові стандарти на викиди в атмосферу забруднюючих речовин, що призвело до закриття багатьох сміттєспалювальних заводів. Наприклад, у Великобританії з 780 заводів зі спалювання побутових відходів, що функціонували з початку 90-х років до 2001 року залишилося працювати лише 12.

Такі процеси привели до різкого збільшення вивезення сміття для захоронення на полігонах, оскільки альтернативні рішення по щодо заміни утилізації шляхом сміттєспалюванням були відсутні. Суспільство почало зосереджуватись на удосконаленні обладнання та технології екологічно прийняттого сміттєспалювання. Удосконалення систем очищення продуктів згорання та використання ефективного енергогенеруючого обладнання знову привернуло увагу до використання сміттєспалювання. Технології утилізації з кожним роком стають все більше екологічно чистими і в деяких країнах вже законодавчо введена заборона на захоронення відходів на полігонах, оскільки це завдає значно більшої шкоди навколишньому середовищу ніж сміттєспалювання. При цьому має місце тенденція до зростання потужності і продуктивності переробки твердих побутових відходів сміттєпереробними

заводами. Через високі витрати на будівництво сміттєспалювальних заводів їх використання для виробництва теплової та електричної енергії має сенс лише при розташуванні заводу біля великих міст з населенням понад 350 тис. чоловік.

Відбувається формування суспільної думки, що тверді побутові відходи є практично невичерпним альтернативним джерелом енергії. Сьогодні тверді побутові відходи займають все більше місця в теплових і паливних балансах розвинених країн. 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.

Спостерігається розширення будівництва нових сміттєспалювальних заводів з залученням великих інвестицій та державної підтримки. Побудова сучасного сміттєспалювального заводу сотні мільйонів Євро, а щорічне обслуговування обходиться в 3...7 млн Євро. 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 тонн відходів на рік. 80% всіх нових потужностей було введено в Китаї, 12% в європейських країнах, і 8% - у всіх інших. За розрахунками Європейської конфедерації заводів по виробленню енергії з відходів CEWER, необхідна додаткова потужність по переробці в енергію відходів, що не підлягають залученню в повторний матеріальний оборот, складе 41 млн тонн на рік.

Сучасні спалювальні підприємства поєднують спалювання твердих відходів з рекуперацією теплової енергії. 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. Побутове сміття активно утилізують з отриманням енергії і в інших країнах. В Японії працює 1900 сміттєспалювальних заводів, в Італії - 94, Німеччині - 73, в Данії - 38, а в Швейцарії і Великобританії - по 30. У Швеції більше половини всіх

муніципалітетів здійснюють централізоване теплопостачання за рахунок підприємств з виробництва енергії з відходів (відео додаток 2). Значна кількість установок для спалювання відходів в багатьох європейських країнах означає, що існує більше спалювальних установок, ніж відходів, що спалюються. Це створює стимул до створення більшої кількості відходів і усуває стимули для переробки або компостування цих відходів.

Першим кроком до удосконалення методу поводження зі сміттєзвалищами у Польщі була реалізація у 2007 році у місті Познань когенераційного модуля на полігоні твердих побутових відходів, який дозволяє отримувати електроенергію та тепло. Загальна потужність модуля становить 508 кВт електричної та 770 кВт теплової енергії, яка надходить через місцеві електромережі на потреби міста. Вся теплова енергія спрямовується на розташований поруч тепличний комплекс.

Найбільша кількість сучасних ефективних сміттєспалювальних заводів працює у Швеції – 34. Переважна більшість цих підприємств у Швеції знаходиться у державній власності. Багато в чому це пов'язано з тим, що інвестиції в переробку сміття є дуже довгостроковими. Наприклад, зараз під м. Стокгольм проводиться будівництво великого сміттєпереробного заводу, інвестиції в його будівництво якого складають близько 500 млн. євро і повинні окупитися протягом 40 років.

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 практично повна відмова від 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 відсутні коливання в постачанні енергії. При цьому вирішення екологічних проблем, з якими допомагає боротися переробка і вторинне використання побутових відходів, відбулося як позитивний побічний

ефект від розв'язання економічних проблем. 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 утилізацію відходів. При цьому доходи від продажу тепла і енергії ніколи не будуть достатніми для покриття всіх інвестиційних і капітальних витрат.

У 2018 році у Швеції на спалювання пішло 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 здійснюється як платна послуга. В середньому за утилізацію кожної тони британських твердих побутових відходів шведські сміттєспалювальні заводи отримують 70 євро. Везти сміття в Швецію іноземцям буває вигідніше, ніж відправляти його на сміттєзвалища у власній країні. Наприклад, у Великій Британії податок на захоронення відходів становить 100 євро за тонну. Найвищі податки в цій категорії у Скандинавських країнах і Голландії: тут вони доходять до 150 євро за тонну. В той же час значна частина відібраних при сортуванні у Швеції пластикових відходів відправляються на переробку до Німеччини, де створено спеціалізовані утилізаційні підприємства.

За рік з відходів у Швеції було вироблено 17 тераВат·год енергії, в тому числі 14,7 - теплової і 2,3 - електричної. Тобто, близько 16% всієї теплової енергії і приблизно 1,4% всієї електроенергії в Швеції виробляється на сміттєспалювальних заводах. За останні 20 років шведам вдалося знизити кількість сміття, яке утилізується захороненням на звалищах, з 50% до 0,5%. Для порівняння: в США, де є власні родовища нафти та природного газу, переробляється лише 34% відходів.

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. В той же час багато сміттєспалювальних заводів економічних міркувань, з урахуванням вимог логістики перевезень, розміщено в межах міст, в безпосередній близькості від житлових будинків. Більш того, завдяки дизайну і креативному оформленню, вони стають міськими пам'ятками і точками тяжіння туристів. Наприклад, у 2018 році в центрі міста Копенгаген було побудовано сміттєспалювальний завод потужністю 400 тис. т відходів на рік. На похилому даху заводу розмістили 500-метровий штучний гірськолижний схил, поверхню якого покрили переробленим пластиком, що дає можливість ковзати на ньому цілий рік (рис.7). Також тут зробили стіну для скелелазіння, доріжки для бігу, майданчик для фітнесу тощо.



Рисунок 7 - Сміттєспалювальний завод, який поєднано з штучним лижним схилом у м. Копенгаген.

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

- теплота згорання 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 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.

Досвід експлуатації сміттєспалювальних заводів показує, що вартість електроенергії, отриманої традиційними методами, складає 1...3 центи за 1 кВт·год, то 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 утилізацію відходів шляхом сміттєспалювання.

Застосування спалювання вважається доцільним способом утилізації:

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

Існуючі конструкції сучасного сміттєспалювального обладнання дозволяють утилізувати відходи в будь-якому фізичному стані: рідкому, твердому, газоподібному і пастоподібному.

Установки для спалювання відходів можуть бути систематизовані по виду спалюваних відходів, по продуктивності, за конструкцією колосникової решітки, за характером використання продуктів згоряння, по типу застосовуваного допоміжного палива.

На сміттєспалювальних заводах застосовується декілька технологій спалювання відходів, які розрізняються в основному за типом печей. Найбільше поширена в промислових масштабах знайшла технологія шарового спалювання. Значно менше розповсюджені технології піролізу та газифікації твердих

побутових відходів, а також технології спалювання киплячого шару. Зокрема, в країнах ЄС та в Японії технологія спалювання на колосникових решітках є домінуючою (91%), 6% відходів утилізується в киплячому шарі, 3% припадає на піроліз.

Сутність спалювання у киплячому шарі полягає у тому, що через шар, попередньо подріблених до фракції 1...5 мм, відходів продувається висхідний потік повітря, який приводить всі частинки вихідного матеріалу у неперервний рух. При певній швидкості подачі дуття завантажені відходи набувають основних властивостей рідини - рухливості та плинності. Робоча камера печі з киплячим шаром, де знаходиться псевдозріджений матеріал, є камерою згорання відходів. Вона виконана у вигляді металевого кожуха, футерованого всередині вогнетривкою цеглою і покритого зовні шаром теплоізоляційного матеріалу. Нижня частина печі являє собою камеру, в яку подають повітря. Вище знаходиться газорозподільний пристрій, виконаний у формі футерованої плити з трубками, через які проходить повітря, що переводить відходи у псевдозріджений стан. Місця завантаження і розвантаження зазвичай розташовуються на протилежних сторонах печі. Як залишковий продукт з печі виводиться шлак, а з системи пилоуловлювання пиловидна зола.

В умовах киплячого шару процеси згорання органічних часток проходять у невеликому реакційному просторі печі дуже інтенсивно, що забезпечує високу швидкість утилізації відходів. Такий спосіб є малопридатним для утилізації змішаних відходів, оскільки утворюється висока кількість шлаків і викидів.

Газифікація застосовується для утилізації твердих і пастоподібних органічних відходів. Газифікація є термохімічним високотемпературним процесом взаємодії органічної маси або продуктів її термічної переробки з газифікуючими агентами, в результаті чого органічна частина або продукти її термічної переробки перетворюються в горючі гази. У якості газифікуючих агентів застосовують повітря, кисень, водяний пар, діоксид вуглецю, а також їх суміші. Її суть полягає у переробці відходів при температурі 600...1100°C у середовищі з водяною парою або вуглекислим газом в присутності кисню у

кількості, яка є недостатньою для повного згорання. У реакторі підтримується відновна атмосфера, що виключає утворення оксидів сірки або азоту. При газифікації отримують генераторний газ - газоподібна суміш продуктів неповного окислення, наприклад, CO, а також HCl, альдегіди, феноли, вуглеводні. В порівнянні з прямим спалюванням твердих побутових відходів використання генераторного газу в екологічному відношенні є більш чистим процесом. Процеси газифікації відходів знайшли значно менше розповсюдження, порівняно з піролізом. Генераторний газ доцільно використовувати біля місця його утворення у якості низькокалорійного палива.

2.2 Сучасний сміттєспалювальний завод

Сучасний сміттєспалювальний завод - підприємство, що використовує технологію переробки твердих побутових відходів, за допомогою згорання та відбору тепла від утворених газоподібних продуктів згорання. Після спалювання утворюються продукти згорання: попіл, шлаки та димові гази, для очищення яких використовують фільтруючі системи (*відео додаток 6*).

Для того, щоб відходи згорали бездодаткового підведення енергії, їх склад повинен відповідати наступним умовам:

- вологість має бути меншою 50%;
- кількість золи має бути меншою 60%;
- теплотворна здатність повинна бути не меншою 7 МДж/кг.

Для відсортованих твердих побутових відходів, які використовують у якості палива, характерні наступні показники: вологість 36...38%, зольність 10...15%, середня теплотворна здатність 10 МДж/кг. За тепловим еквівалентом 1 т твердих побутових відходів еквівалентна 500 кг камяного вугілля. Проте калорійність несортованих побутових відходів, через значний вміст органічних відходів із високою вологістю та наявністю інертних (не горючих) фракцій, часто є нижчою 7 МДж/кг. У порівнянні з твердим органічним паливом у твердих побутових відходах менше сірки (~ 0,2%) і азоту (0,6...0,8%). Оскільки побутові відходи – це завжди суміш, то для багатьох їх компонентів умови

спалювання не будуть оптимальними, що може призводити до погіршення складу фракцій продуктів згорання.

Для розрахунку можливої кількості утворюємого тепла в процесі горіння відходів, важливо знати:

- фракційний вміст відходів (табл.6);
- вміст у їх складі фракцій відходів таких елементів, як вуглець, водень, кисень і сірка.

Знання вмісту галогенів, важких металів і сірки в відходах, які підлягають спалюванню, дозволяє прогнозувати рівень можливої токсичності продуктів згорання. В залежності від виду складових відходів, у них можуть бути відносно високі концентрації галогенів, які, згораючи при низьких температурах, формують токсичні галогенорганічні з'єднання.

Для вибору оптимального режиму спалювання, слід також враховувати температуру початку плавлення золи. Для шлаку, який утворюється при згоранні побутових відходів, цей показник знаходиться у межах 1100...1200⁰С.

Таблиця 6 – Теплотворна здатність фракцій твердих побутових відходів

Матеріал	Теплотворна здатність, кДж / кг
Деревина	16000 - 17000
Папір / картон	13000 - 14000
Поліетилен	43000 - 45000
Полістирол	38000 - 40000
Полівінілхлорид	16000 -18000
Текстиль	19000 - 20000
Пакети тетрапак	17000 - 18000
Гума	33000 - 34000
Тверді побутові відходи	12000 - 18000

Автомобілі – смітєвози, які заїжджають на територію сміттєспалювального заводу проходять обов'язковий радіаційний контроль, процедуру 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 захисту від неприємних запахів та від утворення вибухових метанових сумішей, бункер має потужну систему відкачування повітря, яке подається топочний агрегат. Приміщення бункера з відходами є повністю ізольованим від інших ділянок, конструкція системи захисту запобігає падінню

робочих або транспортних засобів у приймальну воронку бункера. Відходи до моменту потрапляння в котел можуть складуватися в бункері 8–10 днів. Для економії енергетичних ресурсів та зниження вологості відходів в бункер подається повітря з температурою 200°C , яке підігрівається за допомогою системи відведення продуктів згорання.

Грейферний кран подає сипучі та кускові відходи з бункера – накопичувача у прийомну воронку топкового пристрою. Грейфер (нім. Greifer, від greifen - хватати), являє собою ковш з кількома поворотними щелепами (рис.8). Для кращого забору відходів щелепи грейфера забезпечені зубами. Застосування грейфера дозволяє повністю автоматизувати операції захоплення і звільнення різних видів відходів. Далі з прийомної воронки відходи періодично подаються в топку котлоагрегату.



Рисунок 8 - Завантаження відходів грейферним краном у топковий пристрій

Для багатокомпонентних побутових відходів з високою вологістю найбільш доцільним є використання методу шарового спалювання. Для шарового спалювання характерна подача гарячих повітряних потоків на шар спалюємих відходів, які завантажені на колосникову решітку.

Цей метод спалювання 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 згоряння відходів.

Конструкція колосникової решітки забезпечує:

- транспортування спалюємих відходів вздовж зони згорання;
- рівномірне горіння і максимальне використання всієї поверхні решітки;
- підведення повітря для горіння;
- підтримку і переміщення згораючих відходів.

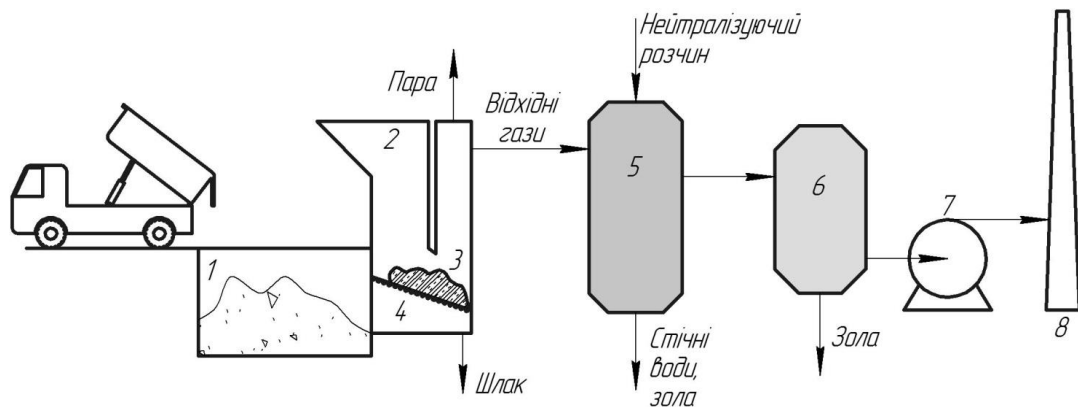
Відходи спалюються на колосниковій решітці при температурі 700...1000°C, як правило, із використанням додаткового палива (природного газу). З метою зниження кількості шкідливих викидів на сучасних сміттєспалювальних підприємствах застосовують збільшення температури в печах від 850 до 1450°C. Істотного підвищення інтенсивності горіння можна досягти подачею первинного повітря з підвищеною температурою, що сприяє ефективному підсушуванню відходів. Для покращення процесу спалювання відходів додатково може використовуватися подача в топку кисню.

Відходи через завантажувальний пристрій надходять на живильники колосникових решіток, ширина яких складає 3 м, кут нахилу 26° щодо горизонталі в сторону від живильника у бік вивантаження продуктів горіння. Колосникова решітка являє собою систему почергових рухомих і нерухомих колосників (рис. 9).



Рисунок 9 – Вигляд колошникової решітки всередині топкового агрегату

Рухомі колосники здійснюють поступальний рух вперед – назад (рис.11). Конструкція топки забезпечує повільний рух матеріалу від завантажувальної частини до розвантажувальної з заданою швидкістю. Колосникова решітка сприяє ефективному спалюванню відходів 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 дуттєвого повітря по зонах. Це досягається проштовхуванням матеріалу рухомими елементами колосникової решітки назад, до початку решітки, при цьому всі фази горіння, такі як сушка, займання і горіння, відбуваються одночасно.



- 1 – приймальний бункер; 2 – спусковий жолоб; 3 – котел-утилізатор;
4 – колосникова решітка; 5 – скрубер для відмивки кислих газів; 6 – фільтр для видалення золи; 7 – димосмок; 8 – димова труба

Рисунок 10 – Принципова схема сміттєспалювального заводу

Вентилятор первинного повітря через зазори решітки забезпечує подачу повітря для горіння шару відходів на решітці. Цей вентилятор для спалювання відходів відбирає повітря з зони приймального бункера, що запобігає поширенню неприємних запахів в приміщенні. З метою підвищення температури спалювання відходів первинне повітря перед подачею у топку підігрівається за допомогою парового підігрівача повітря.

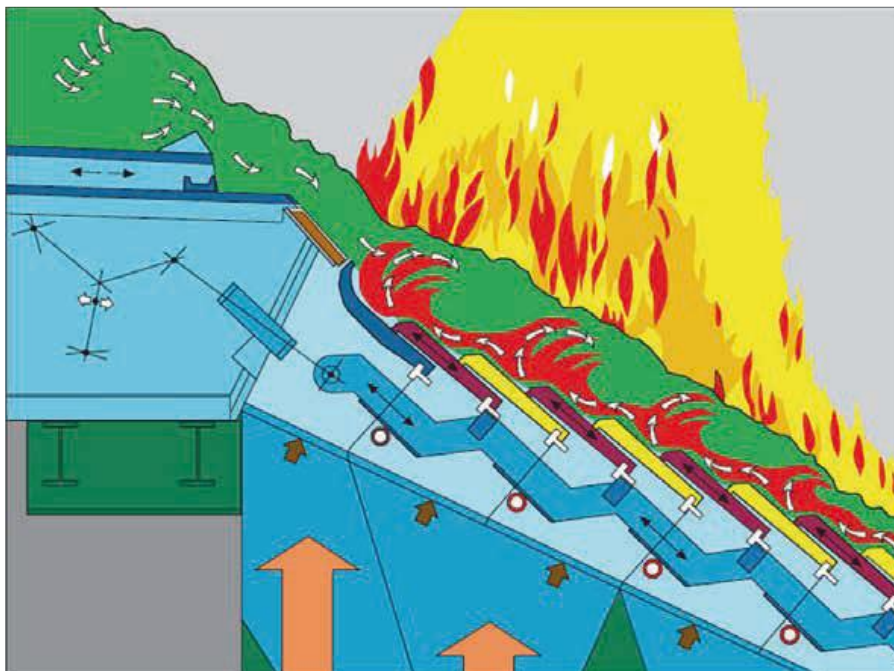


Рисунок 11 – Схема спалювання відходів на колошниковій решітці

При русі відходів вздовж колосникової решітки, через неї знизу надходить повітря і завдяки наявності у нижньому шарі палаючих відходів підтримується термічний процес горіння. Управління подачею повітря під решітку є важливим регулюючим параметром для підтримки заданої робочої температури в камері згорання. Для підтримання температури 1090°C в камері згорання потрібно подавати близько 100% надлишкового повітря. Подача повітря також сприяє інтенсивному охолодженню колосникової решітки.

При кожному ході колосників, під шар завантажених відходів додається порція палаючих відходів. У такий спосіб створюються вогнища нижнього запалювання, і шар, що надходить із прийомного бункера, перемішується, розпушується і розгорається.

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

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

На кінетику процесу горіння побутових відходів значний вплив робить їх баластна частина і перш за все негорючі складові (консервні банки, металеві деталі різних побутових предметів, скло, кераміка тощо). Наявність

залізовміщуючих включень в зоні горіння відходів впливає на плавкі характеристики шлаку. Другим баластовим компонентом відходів є волога. Випаровування вологи на початкових стадіях процесу горіння відходів сприяє прискоренню виходу летких компонентів. У зоні сушіння волога, що міститься у відходах, перетворюється у пар. Загальна потреба в енергії на цій стадії складається з двох складових:

- енергії, необхідної для підвищення температури до 100°C (для підйому температури води з 20 до 100°C необхідно 334 кДж/кг);

- енергії, необхідної для перетворення води у пар (2260 кДж/кг).

Температура всіх компонентів завантажених відходів не буде перевищувати 100°C до того часу, поки вся волога не перетвориться у пар. По мірі прогріву відходів відбувається їх часткова газифікація - перетворення горючих речовин в летючі компоненти. Утворені горючі гази потрапляють в зону займання і спалахують при 250°C . Після займання летючі компоненти згоряють і виділяють тепло, що робить подальше додаткове підведення тепла за рахунок згорання природного газу стає не потрібним. Важливо, щоб шар, матеріалу що спалюється, був рівномірним і мав висоту $100\ldots 120\text{ см}$. По мірі згорання висота шару відходів на колосниковій решітці зменшується і проводиться досипка відходів, щоб забезпечити рівномірну щільність і необхідну висоту шару відходів, призначених для спалювання. Для повного згорання відходів і охолодження колосників в цій зоні необхідно:

- підведення достатньої кількості повітря;

- відходи мають певний час перебували в зоні високих температур.

При утилізації вологих не розсортованих відходів період їх повного згорання складає до 3-х годин.

Директива ЄС по спалюванню вказує на необхідність перебування відходів у топці не менше двох секунд при температурі вище 850°C . Стабілізація горіння досягається спалюванням додаткового палива для прогріву топки, займання відходів і, при необхідності, компенсації недостатньої теплотворної здатності відходів. Найбільш оптимальним для цих цілей є застосування природного газу, що спрощує регулювання процесу горіння. Для

запалювання відходів біля колосників використовуються пускові пальники, які забезпечують розігрів топкового простору до 800°C . Для запуску процесу сміттєспалювання топочний агрегат попередньо розігрівають при спалюванні очищених деревними трісок, що допомагає швидко підняти температуру на колошниковій решітці до потрібної позначки.

Температура в топці підтримується в інтервалі $800\ldots 1000^{\circ}\text{C}$. Нижня температурна межа визначається необхідністю найбільш повного згорання відходів, а верхня температурою плавлення шлаку. При підвищенні температури в печі вище 1000°C відбувається плавлення шлаку і зашлаковування колосникових решіток. В процесі спалювання відходів при зниженні температури в топці нижче 800°C відбувається автоматичне включення газових пальників.

Топка котлоагрегату конструктивно виконується одним блоком з котлом-утилізатором, до поверхні нагрівання якого надходять топкові продукти згорання (рис. 12). Стінки топки екрановані випарними поверхнями - вертикальними рядами труб, по яких циркулюють вода і пар. У газоходах котлоагрегату послідовно розміщуються сталеві труби пароперегрівача (елемент парового котла, підвищує температуру пара понад температуру насичення) і економайзер (теплообмінник) для попереднього підігріву живильної води за рахунок тепла газів, що відходять з топки. Котел виробляє пару під тиском 3 МПа і температурою 300°C , яка може використовуватися для опалення прилеглих районів, виробництва електроенергії або для технологічних потреб.

Котел-утилізатор забезпечує 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. На сухе знепилювання газу надходять з температурою не вище $300\ldots 350^{\circ}\text{C}$. Утворені при горінні димові газу надходять для очищення в систему фільтрів, після чого викидаються за допомогою димосмоку у димову трубу. З метою запобігання забрудненню

навколишнього середовища димові гази піддаються очищенню, яке може здійснюватися комбінацією сухого, мокрого і електростатичного способів.



Рисунок 12 - Труби, які екранують стінки парогенератора

Для механізованого видалення шлаку і золи з-під колосникової решітки, з золозбірників, газоходів котла і електрофільтра призначена система шлаковидалення. Шлак, що утворюється при спалюванні відходів, видаляється шкребками в гасильну ванну, після чого транспортером подається на молоткову дробарку. Витрати води для гасіння шлаку становлять 3,5...6,0 м³ на 1 т шлаку.

Зі шлаку електромагнітним сепаратором видаляються феромагнітні чорні метали. Відібрані сепаратором металеві залишки пакуються і реалізуються як вторинна сировина.

Шлаки являють собою сипучу речовину чорного кольору - це незгорілі решітки відходів, до складу яких входять токсичні хімічні з'єднання та важкі метали (Zn, Pb, Cu, Ni, Cr, Cd та As). В шлаках сміттєспалювальних заводів, як правило, залишається певна кількість недогорілих горючих компонентів. Шлаки відносять до відходів четвертого класу небезпечності. Зазвичай шлаки захоронюють на полігонах. Відомі спроби примішувати шлаки в дорожні покриття, бетонні блоки («шлакобетон»), виготовляти з них скловату для утеплення будівель. 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.

На фільтрах, які встановлені для очищення продуктів згорання, утворюється зола, яка відноситься до третього класу небезпеки.

Найбільш екологічною технологією, яка застосовується на сучасних сміттєспалювальних заводах, є плазмова обробки шлаків з під колосникових решіток та золи, яка осаджена в системі очищення димових газів. Під дією високих температур плазмового струменя ($20000...30000^{\circ}\text{C}$) зола та шлак сплавляються і перетворюється в слюдоподібну речовину. Перероблена таким чином зола екологічно безпечна і може 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). Їхнє розміщення особливо виправдане в тих випадках, коли полігони твердих побутових відходів розташовані на значному видаленні від місць утворення відходів.

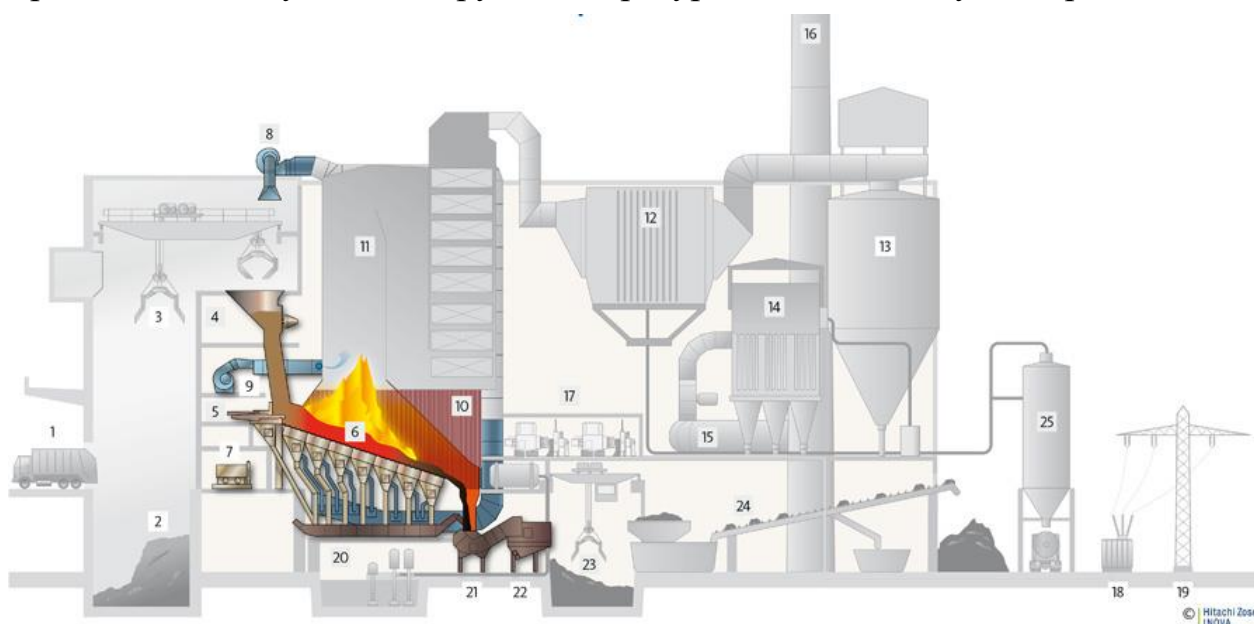
Експлуатаційні витрати сміттєспалювальних заводів покриваються в основному за рахунок плати муніципалітетів за утилізацію відходів та державної підтримки. Суттєве підвищення економічної ефективності роботи сміттєспалювальних заводів досягається при застосованні системи когенерації - процесу спільного 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. Теплота пару, який відбирається на виході парової турбіни, на другому етапі утилізується шляхом здійснення опалення та підігріву води у комунальній сфері. При цьому коефіцієнт корисної дії сміттєспалювального заводу зростає з 10% до 30%.

Прикладом реалізації сучасних досягнень у галузі утилізації відходів є сміттєспалювальний завод ITROK Poznań у Познані (Польща), який був введений в експлуатацію у грудні 2016 року (рис.13).



Рисунок 13 - Сміттєспалювальний завод у Познані ІТРОК Poznań

На сміттєспалювальному заводі встановлене технологічне обладнання фірми HitachiZosenInova (Швейцарія). Потужність заводу з двома котлоагрегатами складає 210 тис. т спалюваних відходів на рік. Парогенератор виробляє за годину 55 тон пари з температурою 410°C і тиску 50 бар.



- 1 - зона розвантаження; 2 - бункер для зберігання відходів; 3 - грейферний кран;
 4 - завантажувальний бункер; 5 - механізм дозованої подачі відходів на спалювання; 6 - колосникова решітка сміттєспалювального агрегату; 7 – гідравлічна станція; 8 - система подачі первинного повітря; 9 - система подачі вторинного повітря; 10 екрановані трубами стінки парогенератора; 11 - парогенератор; 12 – електростатичний фільтр; 13 - скруббер; 14 - тканинний фільтр; 15 - димосмок; 16 - димова труба; 17- парова турбіна; 18 -

трансформатор; 19 - передача електроенергії у мережу; 20 – зволожуючий конвейер; 21 - конвейер транспортування шлаку з відбором металів; 22 – вібраційний конвейер; 23 – бункер для шлаку; 24 – шлаковий конвейер; циклон для очищення продуктів згорання.

Рисунок 14 – Будова сміттєспалювального заводу фірми HitachiZosenInova

Завод виробляє в середньому 130 000 МВт·год електроенергії та 300000 ГДж тепла на рік. Близько 15 % від виробленої електроенергії використовується для заводських потреб, а решта передається в мережу. Всього на заводі працює 52 особи. При цьому саме операційного персоналу для обслуговування заводу потрібно лише 5 осіб на зміну. Завод займає 12 тисяч квадратних метрів. Загальна вартість будівництва заводу становить 220 млн. євро. Висока вартість створення такого підприємства у першу чергу пов'язана зі складністю очисних технологій, яка має 4-ступеня очистки газів, завдяки чому концентрація забруднюючих речовин у викидах в рази нижче норми. На димових трубах заводу встановлені вимірювальні станції з онлайн датчиками. Дані в онлайн режимі передаються до природоохоронних органів, що дозволяє екологічній інспекції дистанційно контролювати рівень забруднення. Утворена зола спрямовується на захоронення у відпрацьовані соляні шахти. Шлак з сміттєспалювального заводу після обробки підприємство реалізує для будівництва доріг. Вартість спалювання відходів для громади на цьому заводі у 2019 році в середньому становила 256 злотих за тонну відходів (1561,6 грн). Ця ціна складається з кількох компонентів - фіксована оплата на повернення кредитних коштів та сплату процентів, фіксована оплата на покриття операційних витрат оператора та змінна оплата, залежна від обсягу відходів, що фактично потрапляють на завод (витрати на видалення шлаку та золи і т.п.).

Перевіреним варіантом утилізації відходів полімерних матеріалів та гуми є їх спалювання у цементних печах з робочою температурою близько 1500°C. Спільна обробка в цементних печах має ту перевагу, що реакції клінкеру при 1450 °C дозволяють повністю включити золу і, зокрема, забезпечити хімічне зв'язування металів в клінкерна матеріал. Токсичні органічні сполуки повністю руйнуються в полум'я при температурах, перевищують 2000 °C. 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. Миколаїв (Львівська обл.) передбачено використання "альтернативних палив" на двох печах із п'яти. На одній мають спалювати подрібнену суміш із відходів пластмаси, текстилю й паперу, на другій - шини. За заводськими проектними розрахунками, продуктивність утилізації становитиме близько 12 тис. т щорічно, а максимальна потреба в подрібнених відходах, які використовуватись як альтернативне паливо, - 34 тис. т. Це дозволить частково вирішити проблему переповнення сміттєзвалищ в регіоні та зменшити витрати в технологічному процесі природного газу, але вимагає проведення реконструкції спалювальних пристроїв цементних печей.

Медичні відходи лікарень, які проводили лікування пацієнтів, заражених коронавірусною пневмонією 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 доводилися до газоподібного стану в обертовій цементовідпалювальній печі при температурі близько 1400⁰С. В кінці циклу обробки відходи були повністю перетворені у цемент. Висока температура, активне лужне середовище і вихровий характер горіння дозволили запобігти утворенню діоксинів протягом всього процесу утилізації медичних відходів.

2.3 Очищення димових газів сміттєспалювальних заводів

Димові гази, що утворюється при згорянні побутових відходів на сміттєспалювальних заводах, містять золу у пилевидному стані та газоподібні продукти неповного згорання. Димові гази сміттєспалювальних установок відрізняються від димових газів енергетичних установок підвищеним вмістом водяного пару (від 10 до 20 %), що обумовлено значною вологістю побутових

відходів. Соляна HCl , сірчана H_2SO_4 та плавикова HF кислоти, які утворюються при спалюванні відходів, є ініціюють корозійні процеси на металевих низькотемпературних поверхнях. Тому ефективне використання димових газів від сміттєспалювального котлоагрегату для підігріву повітря за допомогою конвективних повітропідігрівників ускладнюється.

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 мають здатність накопичуватися в живих організмах і можуть приводити до змін роботи імунної та репродуктивної систем, порушення гормонального обміну.

Крім того до їх складу 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 відомі своєю канцерогенною дією. Під назвою діоксини об'єднано понад 200 речовин. Діоксини є кристалічними сполуками з температурою плавлення в інтервалі $200\ldots 400^\circ\text{C}$, які добре розчиняються в органічних розчинниках, жирах, гумінових кислотах. 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. 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. Період розкладу діоксинів у ґрунті та воді складає від 10 до 20 років. Результати числених наукових досліджень свідчать, що ґрунти і рослинність в околицях сміттєспалювальних заводів накопичують діоксини і важкі метали у кількостях, що значно перевищують фонові рівні.

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. 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.

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 також входять токсичні оксиди азоту та чадний газ CO.

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 вміщуючі вуглець частки золи (реакція гетерогенного оксихлорування вуглецьвміщуючих частинок).

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 мають здатність накопичуватися в живих організмах і можуть приводити до змін роботи імунної та репродуктивної систем, порушення гормонального обміну.

Зниження вмісту діоксинів до гранично допустимої концентрації досягається здійсненням досить широкої групи технологічних заходів на сміттєспалювальних заводах, основними з яких є:

1) Попередня відсортовування з твердих побутових відходів перед спалюванням хлор- і фтор- вміщуючих полімерних матеріалів, а також вилучення включень кольорових металів;

2) Підтримка режиму процесів горіння, що забезпечують мінімальне утворення продуктів неповного згорання і видування золи;

3) дотримання «правила двох секунд» - геометрія печі повинна забезпечити тривалість перебування продуктів згорання не менше 2 сек. в зоні печі з температурою не нижче 850⁰С;

3) Забезпечення високої герметичності топок сміттєспалювальних заводів.

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 повинна автоматично призупиняти спалювання відходів.

Головним недоліком більшості застарілих сміттєспалювальних заводів є невеликий відрізок часу, який відводиться для спалювання побутових відходів. При спалюванні одного кілограма відходів, що містять хлорвмістний пластик, виділяється близько 40 мкг діоксинів. Діоксини характеризуються високою термостійкістю. Європейська директива від 4.12.2000 р. №2000/76/СЄ вимагає проведення обов'язкового допалювання утворених продуктів згорання відходів. При спалюванні твердих побутових відходів з температурою в зоні горіння нижчою 800⁰С імовірність утворення високотоксичних газів зростає.

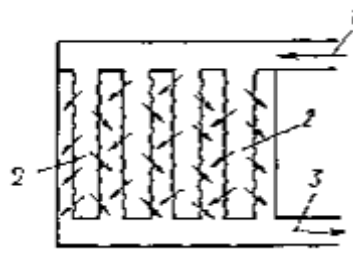
Для руйнування молекул діоксинів застосовують додаткове допалювання продуктів згорання в спеціальній високотемпературній камері. Утворені газові компоненти для руйнування діоксинових молекул повинні не менше 2 секунд знаходитися у перегрітому стані при температурі вище 1100⁰С і швидко охолоджуватись. При повільному охолодженні в продуктах допалювання за температури 275...450⁰С діоксини знову утворюються. З іншої сторони, ці умови сприяють небажаному утворенню оксидів азоту NO_x.

Щоб обмежити обсяг забруднення повітря, в державах ЄС прийняті вимоги щодо забезпечення сміттєспалювальних підприємств відповідними газоочисними системами. Такі системи є найдорожчою частиною сміттєспалювальних заводів. Вартість очисних пристроїв складає 30...50% від вартості сміттєспалювальної установки. Вони включають до свого складу: електростатичний та багатокасетний матерчастий фільтри, циклони, розприскувач води, скрубери для поглинання кислотних газоподібних речовин, реактор з очищенням активованим вугіллям.

Розповсюдженим пристроєм для сухого очищення продуктів згорання є вихрові елементи, який утворені одним або кількома циклонами. Циклон - це основний апарат попереднього сухого знепилювання. 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. 17 а). Частинки пилу під дією відцентрових сил притискаються до внутрішніх стінок циклона і під дією газового потоку і 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. Циклони недостатньо ефективні для видалення дрібних частинок. До переваг циклонів відноситься простота конструкцію і порівняно не висока вартість.

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 (рис.15). З поверхні тканинних фільтрів пил необхідно періодично струшувати за допомогою спеціальних механізмів. В якості фільтруючого матеріалу в таких пиловловлювачах переважно застосовують склотканини, які є стійкими до дії високих температур (200...300°C) і агресивних компонентів продуктів згорання. В газохід перед

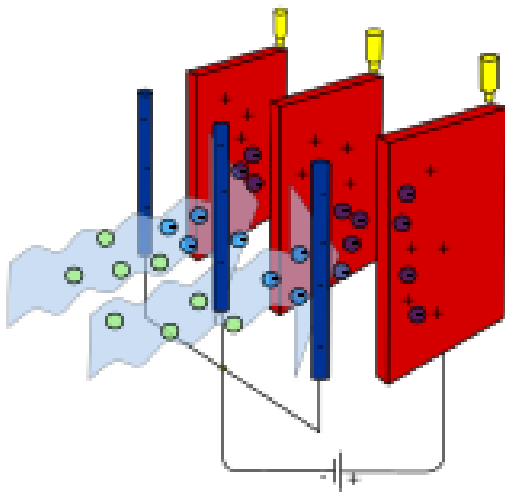
останнім рукавним фільтром подається дрібнодисперсне активоване вугілля для фінішного очищення димових газів від слідів забруднювачів.



1 – подача забруднених продуктів згорання; 2-рукава з фільтруючою тканини; 3- вихід очищених продуктів згорання

Рисунок 15 – Схема тканинного рукавного фільтра

Для очищення димових газів від твердих домішок з розмірами часток до 0,1 мкм додатково використовують електростатичні фільтри, що забезпечують ступінь очищення до 96...98%. Електростатичне очищення димових газів засноване на притягуванні до електродів протилежно заряджених частинок (рис. 16).



а)



б)

Рисунок 16 - Схема електростатичного фільтра а) та зовнішній вигляд б) установки очищення димових газів

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 при струшуванні. Ефективність сепарації визначається напруженістю електричного поля та діелектричними властивостями 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.

Значне поширення на сміттєспалювальних підприємствах знайшли скрубери (англ. *scrubber*, від англ. *Scrub* - «шкребти», «чистити») - пиловловлювачі мокрого очищення продуктів згорання від дрібнодисперсного хімічно активного пилу з розміром часток 0,3...1,0 мкм (рис.17 б). 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. Пиловловлювачі мокрого очищення працюють за принципом осідання частинок пилу на поверхні крапель промиваючої рідини. Важливим фактором якості очищення продуктів згорання у мокрих пиловловлювачах є змочуваність частинок пилу рідиною. Чим більша змочуваність, тим ефективніший процес очищення. До недоліків застосування скруберів відносять:

1) відходи, утворені при очищенні продуктів згорання, знаходяться у рідкому стані, і необхідно застосування додаткових пристроїв для очищення води;

2) відділена зола знаходиться у вигляді шламу, що вимагає застосування додаткових операцій просушування.

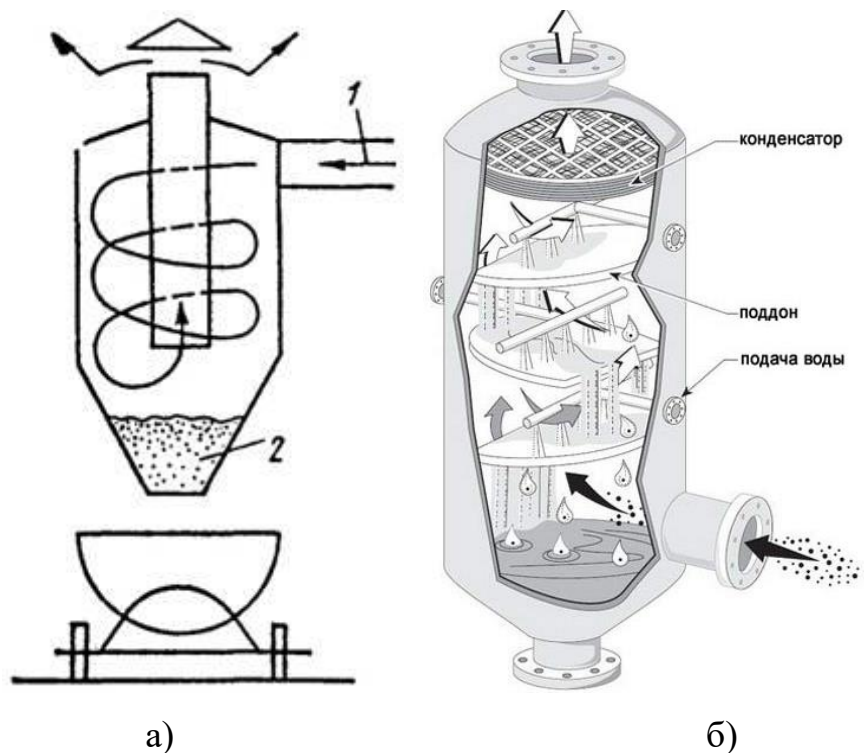
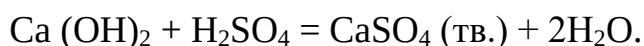
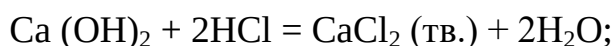
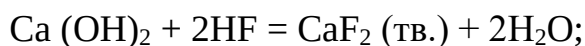


Рисунок 17 - Конструкція циклона (а) та скрубера (б):

1-забруднені гази; 2-осаджені частинки пилу

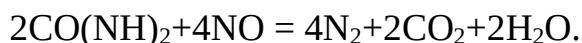
Системи очищення димових газів в скруберах включають:

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



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

2) подачу 40 %-го розчину карбаміду для зниження вмісту монооксиду нітрогену:



На стадії очистки продуктів згорання 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 солей. Зі з'єднань сірки, які утворюються на стадії очищення продуктів згорання, виробляють гіпс.



а)

б)

Рисунок 18 – Циклонна а) і скруберна б) установки для очищення продуктів згорання

Усі європейські печі для горіння оснащені системами контролю забруднення повітря. У 1970-ті роки це були прості циклони або електростатичні осадники. Дедалі жорсткіші стандарти викидів в атмосферу вимагають удосконалення хімічного очищення газів (нейтралізація кислотних ангідридів, руйнування оксидів азоту та адсорбція або руйнування органічних мікро-забруднювачів). Технологія, яка досі переважає у таких країнах, як Швейцарія, Німеччина, Нідерланди та Данія, - це вологе очищення. Однак, при такій обробці утворюються рідкі стоки, які складно піддаються очищенню.

Все більш популярною стає система очистки продуктів згорання шляхом сухої очистки у скруберах. Типовими нейтралізуючими агентами є порошки негашеного CaO або гашеного Ca(OH)_2 вапна, які розпорошуються у гарячі продукти згорання. Прикладом застосування сухого очищення вапном, яке безпосередньо вдувається в трубу з поступаючими димовими газами, є установка Norrköping (Швеції), яка додатково обладнана пічним реактором з киплячим шаром.

Як свідчить досвід, реалізація сучасних технологічних процесів спалювання відходів та очищення димових газів дозволяє на 90% скоротити викиди діоксинів. Спалювання сміття, навіть в шведському варіанті з

роздільним збором та попереднім ретельним сортуванням, є екологічно забруднюючим процесом. Однак, даний метод утилізації створює значно менше забруднення навколишнього середовища, у порівнянні з захороненням на полігонах і викидами в атмосферу звалищних газів, отруєнням ґрунту і ґрунтових вод

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) виробництва Чехословакії. 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 не ефективно використовували 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 заводу територій скаржилися на неприємні запахи, кіптяву, дим. Проблеми виникали також з утилізацією та захороненням золи і шлаків сміттєспалювального виробництва. В даний час всі ці заводи морально застаріли та не відповідають сучасним вимогам по екологічним показникам.



Рисунок 19 - Сміттєспалювальний завод «Енергія», м. Київ.

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. 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 10000кДж/кг. Фактична потужність заводу становить 240 тис. т твердих побутових відходів на рік. 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 (відео додаток 3).

На заводі проводиться радіаційний контроль поступаючих відходів і, у разі виявлення радіаційних відходів, лунає сирена. Розвантаження автомобілів –

сміттєвозів проводиться в присутності приймальників відходів, які не допускають попадання на спалювання неприйнятних видів відходів, наприклад, автошин, будівельних відходів, речовин, 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 падати у топку котлоагрегата.

На даний час на заводі «Енергія» застосовується лише один ступінь очистки димових газів за допомогою встановлених електрофільтрів, після чого через димову трубу висотою 120 м вони викидаються у повітря. Зібраний пил 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 будь-якої теплової електростанції, яка працює в Україні.³ 1 т твердих побутових відходів утворюється 350 кг шлаку (четверта категорія токсичності - малотоксична речовина) і 40 кг попелу (друга категорія токсичності - високотоксична речовина). Спеціальних заходів для ізоляції цих речовин від іншого сміття та від навколишнього середовища не здійснюється.

У майбутньому на сміттєспалювальному заводі «Енергія» планується встановлення високотехнологічної 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.

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 буде 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 здавався перспективним, було відкладено.

2.5 Інсинератори

Специфічні медичні та ветеринарні відходи (відходи інфекційних відділень, анатомічні та патологічні відходи, застарілі або протерміновані фармацевтичні препарати, радіоактивні матеріали, гострі предмети) є можливими чинниками забруднення навколишнього середовища і поширення інфекційних захворювань серед населення. Всі заклади охорони здоров'я та установи ветеринарної медицини, як приватні, так і державні, несуть відповідальність за безпечне поводження з відходами їх діяльності.

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. 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. медичні відходи поділяються на такі категорії:

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

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, поліклініках, диспансерах, ветлікарнях, аптеках, оздоровчих і санітарно-профілактичних установах, судово-медичних лабораторіях, на станціях швидкої допомоги і переливання крові, медичних навчальних закладах тощо.

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;
- очисні споруди України, що були переважно побудовані у 60-х роках ХХ ст., не пристосовані до очистки стічних вод від медичних і фармацевтичних відходів.

В Україні щорічно утворюється 380...400 тис. т медичних відходів, з них 100...120 тис. т - небезпечні. Більша частина відходів, що утворюються в лікувально-профілактичних закладах (60...85 %) від загальної маси не являють загрозу і можуть бути віднесені до побутових. В нашій державі проблема поводження з медичними відходами залишається невирішеною і вони часто потрапляють у контейнери побутових відходів. Решта є небезпечними і повинні збиратись окремо та знешкоджуватись.

В Україні підприємства, які мають ліцензії на перероблення клінічних та подібних їм відходів, а саме - відходів, що виникають в результаті медичного

догляду та ветеринарної практики, і відходи, що утворюються в лікарнях або інших закладах під час досліджень, догляду за пацієнтами або при виконанні дослідницьких робіт, розташовані лише у семи областях: Дніпропетровській, Запорізькій, Київській, Кіровоградській, Миколаївській, Одеській, Харківській.

Згідно з чинним природоохоронним законодавством, медичні відходи повинні підлягати обов'язковій деструкції. Найбільш розповсюдженим устаткуванням для утилізації медичних відходів є інсинератори. Інсинератор (від лат. *Incineratio* – спалювання, перетворення у попіл) - це порівняно невелика установка для утилізації різних типів відходів шляхом високотемпературного контрольованого спалювання з подальшим очищенням газоподібних продуктів згорання. В залежності від конструкції продуктивність інсинераторів по спалюванню складає від 25 до 450 кг за годину. Для спалювання в інсинераторах використовують дизельне паливо (солярку), а також мазут, природний та зріджений газ. Витрати дизельного палива при роботі інсинератора складають від 12 до 25 літрів за годину. Спалювання в інсинераторах є ефективним методом знешкодження медичних відходів з високим ступенем епідеміологічної небезпеки. Вплив високих температур забезпечує стовідсоткове знезараження і знищення усіх відомих патогенних мікроорганізмів, зольний залишок при цьому відноситься до 4 класу небезпеки. Сучасні інсинератори прості в управлінні, для контролю процесу знешкодження сміття не потрібно спеціального навчання персоналу.

Інсинератор являє собою сталеву камеру, що має внутрішній шар з вогнетривких матеріалів. В основу більшості інсинераторів покладено двокамерну схему високотемпературної деструкції відходів: у першій камері відходи піддаються спалюванню при температурі 900°C, у другій - при температурі 1100...1200°C відбувається допалювання утворених газоподібних продуктів згорання (відеододаток 4). Високі температури в робочій зоні інсинераторів одержують за рахунок згорання відходів у факелі висококалорійного палива. 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%.

Кількість золи, яка утворюється в інсінераторах, 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 подача відходів в інсінератор може проводитися як вручну, так і механізованим завантажувальним пристроєм.

В інсінераторах передбачена багатоступенева очистка димових газів, яка виключає негативний вплив на навколишнє середовище. Інсінератори переважно обладнуються 3-х ступінчастою системою газоочистки. Продукти згоряння з камери допалювання інсінератора послідовно проходять через (рис. 20):

- теплообмінник, який знижує температуру продуктів згоряння до 200°C;
- циклон, що видаляє з димових газів не менше 93% твердих частинок;
- скруббер, призначений для "морого" очищення продуктів згоряння;
- адсорбер, призначений для кінцевої очистки димових газів, наприклад, від парів важких металів.

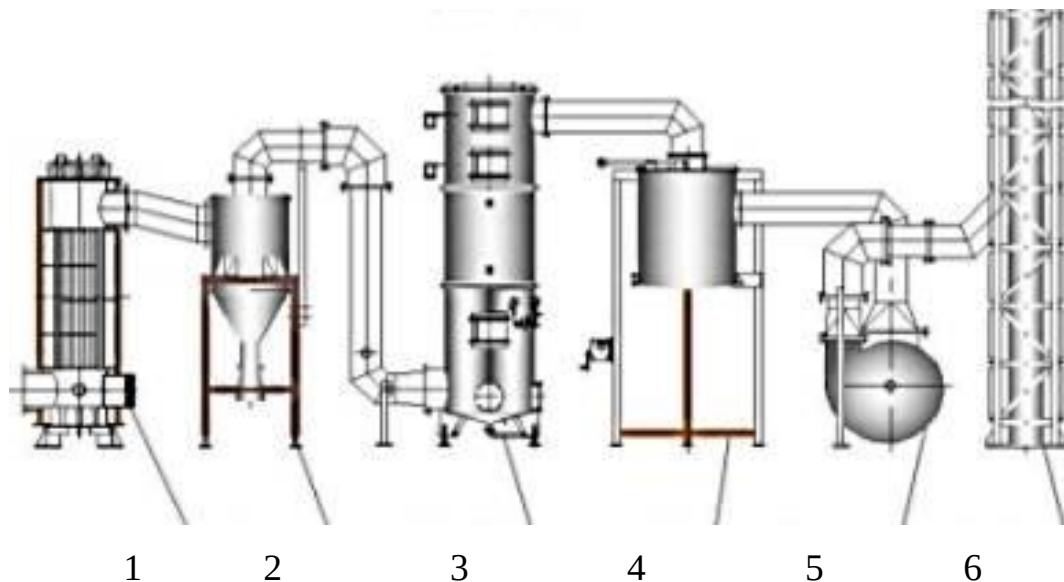


Рисунок 20 - Технологічна схема очищення продуктів згоряння інсінератора моделі ИН-50: 1-теплообмінник; 2-циклон; 3-скруббер; 4-адсорбер; 5-димосмок; 6-димова труба

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 газової суміші (рис.21). Роль адсорбентів виконують тверді пористі речовини з великою питомою поверхнею – активоване вугілля, цеоліти, силікагель, іонообмінні смоли тощо. Особливістю адсорберів є необхідність періодичної регенерації і повного перезавантаження адсорбенту. По мірі роботи пристрою неминує відбуватися забивання мікропор адсорбента забруднювачем, що поступово знижує ефективність захоплення небажаних або шкідливих компонентів газової фази. Очищені продукти згорання з хімічним складом, який відповідає встановленим санітарно-гігієнічним нормам, через димову трубу відводяться в атмосферу.

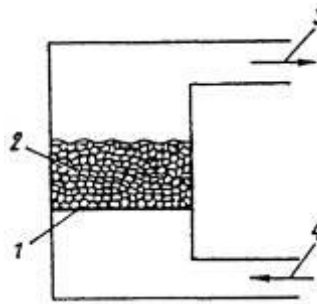


Рисунок 21 - Схема адсорбера: 1 - сітка; 2 - адсорбент; 3-очищені продукти згорання; 4-забруднені продукти згорання

Інсинератори, крім знищення медичних відходів, також широко використовуються для термічного знешкодження наступних видів відходів:

- нафтозабруднені і заражені ґрунти;
- високотоксичні відходи, що містять хімічні з'єднання з галогенами;
- непридатні пестициди, гербіциди;
- залишки від сортування твердих побутових відходів;
- біоорганічні відходи (труп бродячих тварин, падіжних хворих курей, свиней, корів, відходи служб судово-медичної експертизи);
- мулові осади стічних вод;
- відходи м'ясо- і птахокомбінатів;
- зіпсовані продукти харчування;
- відходи з морських та повітряних суден;
- специфічні відходи (секретна документація, зношені паперові гроші).

Інсинератори виготовляються як в стаціонарному (рис.22), так і в контейнерному виконанні, які розміщені та здатні працювати в стандартних «морських» контейнерах (рис.23). При необхідності такі інсинератори переводяться в "похідний" неробочий режим і переміщуються на нове місце за допомогою автокрана та контейнеровоза, при необхідності - вертольотом. Мобільні інсинератори здатні працювати на мобільній платформі - автомобіль, ж/д платформа, баржа і т.д.



Рисунок 22 - Зовнішній вигляд стаціонарного інсинератора



Рисунок 23. Зовнішній вигляд мобільного інсинератора

Переваги інсинераторів:

- широкий спектр спалюваних відходів;

- зменшення обсягу відходів на 95%;
- можливість утилізації тепла та енергії для використання на власні потреби;
- ефективна система газоочистки;
- утилізація відходів на місці їх утворення.

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

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 енергія використовується для опалення розміщених поруч теплиць.

У м. Кропивницький в обласній лікарні з 2006 року медичні відходи спалюють 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.

2.5 Плазмовий метод утилізації відходів

Плазма - термічна технологія базується на розкладанні органічних відходів шляхом газифікації у струмені 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 нагрів. В прилеглої до електричної дуги зоні температура сягає понад 4000°C, а в самій плазмі до 1700°C (рис.24). При таких високих температурах практично всі речовини, включаючи токсичні відходи, розкладаються до іонного стану. Висока температура сприяє значному прискоренню хімічних реакцій

газифікації і дозволяє сплавити разом неорганічні частини завантажених відходів. У якості плазмоутворюючого газу використовується водяна пара.

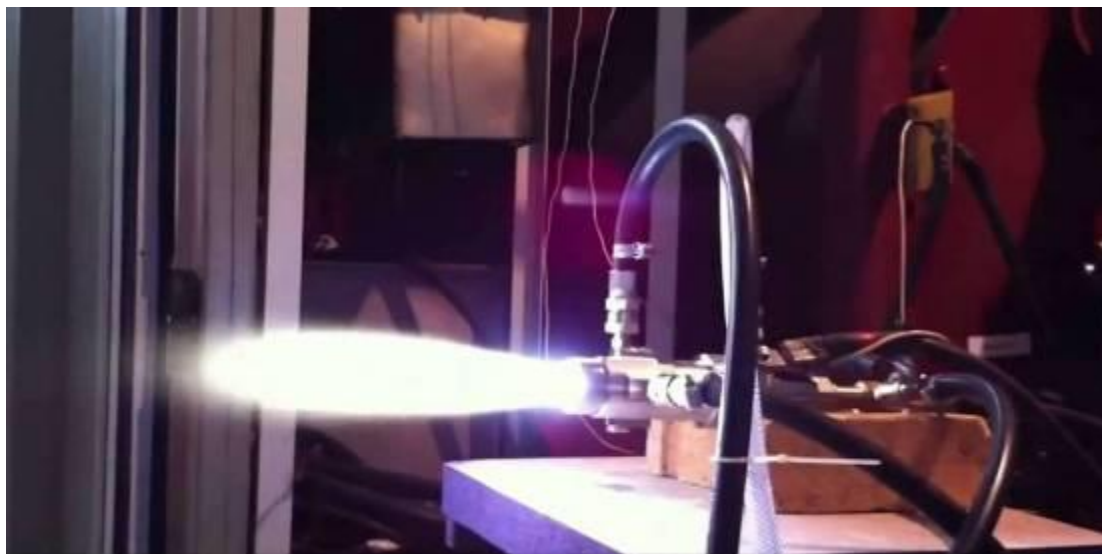


Рисунок 24 – Паровий плазмотрон для газифікації відходів

Плазма - термічний метод знешкодження відходів, незважаючи на його високу енергоємність (500...700 кВт·год на тону відходів) та складність, доцільно застосовувати для знешкодження особливо токсичних та медичних відходів з продуктивністю 0,1...1,0 т/год, коли інші сучасні методи не можуть бути використані, переважно з екологічних причин.

Одна з технологічних схем плазмо-термічної обробки передбачає завантаження відходів у спеціальний пристрій, з якого вони поступово перемішуються в робочу зону компактного реактора. В реактор, який за конструкцією являє собою шахтну піч, вмонтовано кілька плазмотронів з регульованою потужністю для створення високих температур. Система плазових пальників розрахована на 500 000 годин безперервної роботи в агресивних середовищах. Ресурс роботи змінних електродів в середньому складає 1000...1200 годин (відео додаток 5). Внутрішнє вогнетривке покриття реактора дозволяє витримувати високі температури синтез - газу і корозійну дію розплавленого шлаку.

В робочій зоні реактора відходи розігріваються до температури до 2000°C. Важливо, щоб плазмова газифікація відходів проходила за температури понад 1200°C, тоді в реакторі не будуть утворюватися смоли і діоксини, а вихідна сировина повністю розпадається на прості сполуки. В процесі

плазмотермічної обробки відходи трансформуються у два основні продукти – синтез-газ та шлак. Синтез-газ являє собою суміш газів, до складу якої входить окисвуглецю та водень. Синтез-газ відкачується безперервно з нижньої частини реакційної камери, проходить осушення і фільтрацію. Синтез-газ використовують у якості енергоносія або сировини для органічного синтезу. З реактора синтез-газ перекачується в блок очищення, де охолоджується, осушується, фільтрується та нейтралізується (рис. 25). Синтез-газ по енергетичним параметрам поступає метану або пропану. Оскільки робочий простір плазмового реактора ізолюваний від атмосферного повітря, то утворення NO_2 знижується до мінімуму, а хлор-, фтор- та сіркомісткі компоненти переходять в менш активні форми, ніж при шаровому спалюванні у топках і видаляються з реактора у вигляді сорбованих на твердій фазі нетоксичних хімічних сполук. Додатково охолоджений стиснутий синтез-газ проходить через фільтр з активованим вугіллям для видалення слідів ртуті перед процесом сіркоочистки.

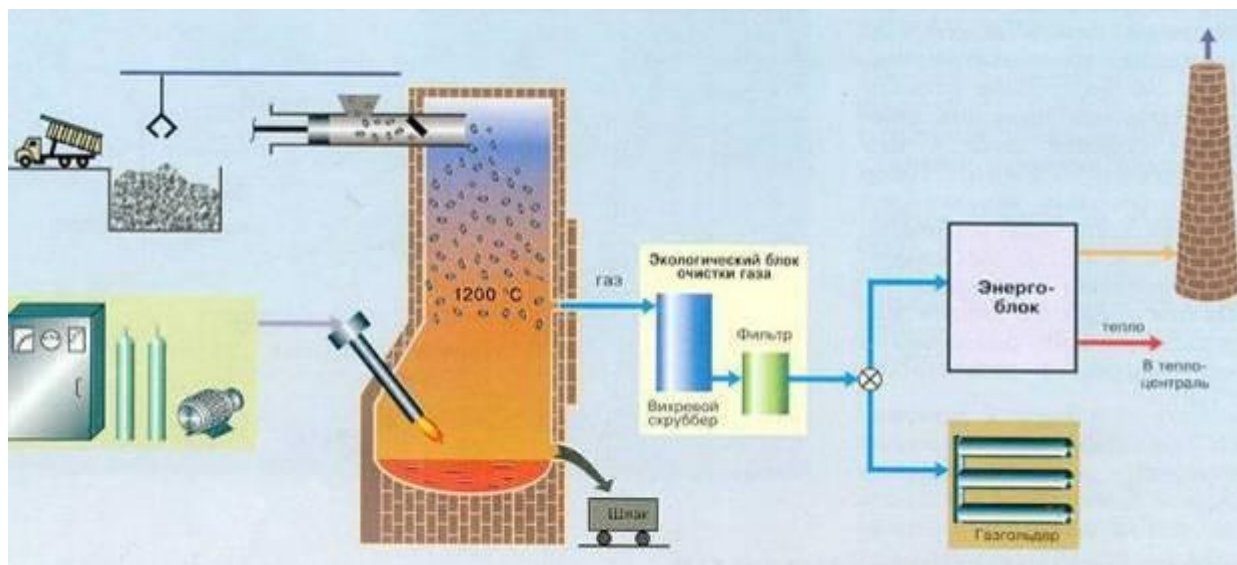


Рисунок 25 –Схема плазмового методу утилізації відходів

Наступною стадією газоочистки є гідролізне перетворення карбонілсульфіду (COS) в сірководень (H_2S) з видаленням останнього з потоку. В процесі гідролізу газ проходить через шар каталізатора, де COS перетворюється в H_2S і CO_2 . Після такої обробки практично вся сірка в синтез-газу переходить у сірководень, який легко видаляється та перетворюється у тверду сірку.

Теплотворна здатність синтез-газу, отриманого із відходів плазмотермічним методом, сягає 10...13 МДж/м³. Ступінь розкладання відходів в зоні дії плазми складає 99,9 %.

Решта відходів, що не піддається розкладанню під дією високих температур розплавляється та періодично зливається з реактора. Утворюєміи шлак, який містить метали та силікати, являє собою інертний екологічно безпечний матеріал. Охолоджений шлак має вигляд скловидної речовини і може використовуватись як матеріал при облаштуванні доріг або для інших будівельних робіт. При захороненні такого шлаку забруднення прилеглих територій та ґрунтових вод шкідливими речовинами не відбувається.

До переваг плазмо-хімічних технологій відноситься:

- екологічна чистота;
- відходи можуть бути оброблені плазмою без попереднього сортування, нечутливість процесу до вологості сировини;
- відсутність шкідливих виділень (включаючи діоксини);
- кількість одержуваних газоподібних продуктів, що підлягають очистці істотно менше кількості продуктів їх горіння, що утворюються в традиційних технологіях на основі спалювання відходів. Це призводить до різкого скорочення розмірів системи очищення газів, що відходять. Висока якість утворюємого синтез-газу.

- отримання скловидного шлаку, який може бути використаний в якості будівельного матеріалу або бути безпечно захороненим;

- мала інерційність процесу і, як наслідок, більш висока ступінь безпеки, оскільки процес можна швидко зупинити і перезапустити.

Застосування плазми - термічного методу знешкодження відходів на сьогоднішній час починає виходити зі стадії експериментальних установок. Прикладом застосування плазми - 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. В цілому, комерціалізаційних подібних проєктів утилізації проходить з великими

труднощами, оскільки вони вимагають значних капітальних витрат і дотацій. Технологію утилізації токсичних відходів з застосуванням плазмо-термічного методу можливо ефективно реалізувати лише за наявності державної підтримки інноваційних екологічних технологій.

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. Дайте пояснення утворенню та нейтралізації викидів шкідливих речовин при спалюванні твердих побутових відходів.
6. Які існують технології очищення димових газів після спалювання твердих побутових відходів на сміттєспалювальних заводах?
7. Яку небезпеку для навколишнього середовища являють собою димові гази сміттєспалювальних заводів?
8. Охарактеризуйте процес спалювання відходів в інсинераторах.
9. Дайте характеристику спалювання твердих побутових відходів на сміттєспалювальному заводі «Енергія» (м.Київ).
10. Дати характеристику плазмо – термічного методу утилізації відходів.

3. ЗБІР, ТРАНСПОРТУВАННЯ ТА СОРТУВАННЯ ВІДХОДІВ

3.1 Технології збирання і транспортування відходів

В даний час в усьому світі є загальноприйнятою думка, що спалювання та захоронення відходів є технологіями, які не мають майбутнього. Захоронення твердих побутових відходів є малоефективним процесом, коли безповоротно губляться невідновлювані природні ресурси, та вимагає великих капітальних витрат. Однак до сьогоднішнього часу, такі способи поводження з відходами продовжують широко використовуватися. Екологи енергійно проводять роботу по просуванню в свідомість населення ідей необхідності повернення в біологічний і виробничий цикли вторинних матеріалів, які одержують з відходів.

Тотальний екологічний менеджмент, який отримав назву **ZeroWaste** (нульові відходи), створює нові підходи до управління відходами. **ZeroWaste** - це сукупність принципів, орієнтованих на запобігання утворення відходів, що заохочує оновлення життєвих циклів ресурсів, щоб усі продукти були повторно використані. Мета полягає в тому, щоб відходи не відправлялися на сміттєзвалища, сміттєспалювальні пристрої чи затоплювалися в океанських глибинах. Впровадження тотального екологічного менеджменту дозволяє зменшити площі звалищ та необхідну кількість сміттєспалювальних заводів, вводити в управління відходами «інтелектуальні системи» і створювати робочі місця, пов'язані з переробкою відходів. В країнах Європейського Союзу діють закони, що максимально ускладнюють вивезення на звалище неперероблених відходів і забезпечують збільшення обсягу вторинного використання відходів.

Тверді побутові відходи складаються з різноманітних компонентів, утилізація яких вимагає застосування абсолютно різних підходів. Для ефективної утилізації кожного компонента твердих побутових відходів повинна використовуватися своя оригінальна технологія вторинної переробки.

В технології утилізації відходів особливу роль відіграють збагачувальні процеси в якості підготовчих операцій, що дозволяють виділити 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.

Часто найбільш вартісним етапом усього процесу утилізації і знешкодження твердих побутових відходів є збір 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 відносно чисті вторинні ресурси та на 30–85 % зменшити обсяг неутилізованих відходів. Забезпечення екологічної безпеки є одним з визначальних чинників при створенні системи роздільного збору відходів. Корисність 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.

Відповідно до Закону України «Про відходи» з 1 січня 2018 року в Україні заборонено захоронення не перероблених (необроблених) побутових відходів. Закон також передбачає «сприяння максимально можливій утилізації відходів шляхом прямого повторного чи альтернативного використання ресурсно-цінних 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 виконувати на Україні, відносяться: макулатура, склобій та ПЕТ-пляшки.

Потребу в макулатурі відчують усі українські підприємства, які виробляють папір і картон. В Україні у рік споживається близько 1,5 млн. т картонно-паперової продукції. Із загального обсягу споживаної внутрішнім ринком продукції галузі повертається в якості вторинної сировини, близько 800 тис. т, а потреба під наявні виробничі потужності становить близько 1,2 млн тонн. При цьому значну частину вторинної сировини ці підприємства закупають 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.

В Україні налічується 17 діючих склозаводів. Більшість склотари після використання у непошкодженому вигляді повторно використовується виробниками напоїв та консерв після її відповідної стерілізаційної обробки.

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 заводах 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.

ПЕТ-пляшки в Україні виробляють в основному самостійно самі виробники безалкогольних напоїв та пива, для яких є важливою максимальна локалізація тари. Сировина (гранулят) для видування пластикових пляшок в Україну імпортується.

На сьогодні потужність підприємств України по утилізації 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 переробляють ПЕТ-тару у вторинні матеріали. При цьому виробничі потужності, які призначені для утилізації ПЕТ-тари завантажені сировиною всього на 50-70%.

Сортування та подальшу переробку відходів в Європі почали практикувати ще у 1990 році. За цей час, країни ЄС виробили налагоджену схему збору відходів, яка стала не тільки 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. Рахується 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 Західної Європи передбачає *(відеододаток 8)*:

- попереднє сортування населенням основної маси твердих побутових відходів біля джерел утворення - в житловому господарстві;
- транспортування 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.

Роздільний збір відходів дозволяє:

- значно скоротити площі, що відводяться під 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.

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. Якість матеріалів, отриманих із попередньо не розсортованої суміші відходів як за допомогою машинних технологій, так і за допомогою ручної вибірки, є невисокою та економічно малоефективною.

При соціальному підході жителі самі свідомо сортують свої відходи, доводять їх переробну частину до 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 зведе 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.

Для стимулювання населення до сортування сміття, уряди зарубіжних країн застосовують різні міри покарання:

- в Японії незаконне викидання сміття загрожує тюремним ув'язненням до 5 років і штрафом в 10 млн ієн;

- в Швейцарії за кожні 5 кілограм несорттованих побутових відходів потрібно платити від 2 до 3 франків;

- в Німеччині недотримання правил сортування побутових відходів прирівнюється до порушення громадського порядку. Розмір штрафу за перший випадок знаходиться в межах € 10-50. При неодноразовому порушенні накладається штраф у розмірі € 2500;

- в південно-китайському мегаполісі Шеньчжень з приватних осіб стягують штраф у розмірі 50 юанів (близько \$ 7), з організацій - до 1000 юанів (близько \$ 145);

- в Ірландії передбачений штраф понад € 5000, а максимально сувора міра - 12 місяців тюремного ув'язнення.

Впровадження роздільного збору може бути здійснено двома основними способами, в залежності від типу сортувального комплексу.

Перший спосіб - двухфракційний 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 (забрудненої упаковки, харчових відходів).

Другий спосіб - чотирехфракційний 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. 26): жовтий для відходів пластмас, синій для відходів паперу, зелений - для відходів скла, сірий - для відходів, відходи, які не потрапляють ні в одну з перерахованих категорій (харчові відходи, забруднені матеріали).

В Україні найбільш поширеним є поділ зібраних відходів між двома контейнерами: в один - ті, які можуть бути використані як вторинна сировина, в інший - 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 викидати свої відходи в різні контейнери.

Шкідливі відходи, такі як хімікати, електроприлади, батарейки, аерозольні балончики, люмінесцентні лампи, викидати разом з іншими, розділеними на фракції відходами, заборонено. Вони мають збиратися у спеціально облаштованих пунктах утилізації. Дані пункти в міжнародній практиці, як правило, розташовуються поблизу магазинів та аптек.

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. 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. 27). Сфера застосування таких контейнерів є досить широкою- житлові масиви, будівництво, дачні кооперативи. Контейнери вивозяться сміттєвозами, оснащеними спеціальними маніпуляторами для їх захоплення.

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 крупно-габаритного сміття.

5. Контейнери заглибленого типу - новий вид контейнерів для сміття, що дозволяє істотно заощадити площу для їх розміщення, Основна частина

контейнера (близько 70%) заглиблена в землю. Такий контейнер, який має об'єм 5 м³, займає меншу площу, дозволяє раціональніше використовувати територію і виглядає більш естетично. На контейнері закріплюється спеціальний міцний мішок для збору відходів, термін служби яких може складати кілька років (рис.28). Для очищення таких контейнерів використовуються звичайні смітєвози, 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 смітєвозів. Відходи краще спресуються в таких контейнерах під дією сили тяжіння. Нижча температура у заглибленні затримує розпад і гниття відходів і, як результат, 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.



Рисунок 26 - Пластикові сміттєві баки для роздільного збору відходів

У розвинутих країнах світу збір відходів з контейнерів переважно контролюється комп'ютеризованими системами. Обладнання смітєвозів інформаційними пристроями дозволяє проводити визначення їх

місцезнаходження через супутниковий зв'язок. Обробка цієї інформації дозволяє поліпшити прокладку маршрутів, зменшити пробіг, вартість і трудомісткість робіт, а також знизити їх шкідливий вплив відходів на оточуюче середовище.



Рисунок 27 - Оцинкований євроконтейнер "Standart" для відходів об'ємом 1,1 м³



Рисунок 28 - Розвантаження у смітєвоз мішка з відходами з контейнера заглибленого типу.

В Україні на сьогодні експлуатується близько одного мільйона контейнерів. Для повноцінного роздільного збору відходів їх кількість потреба збільшити їх кількість, як мінімум, вдвічі.

Кожне муніципальне господарство має спеціалізовані автомобілі, які збирають і транспортують тверді побутові відходи. Для вивезення відходів з території населених пунктів на звалища, смітєперевантажувальні станції, смітєспалювальні чи смітєпереробні заводи призначені автомобілі – смітєвози (рис. 29). Смітєвоз - спеціальний вантажний автомобіль, призначений для завантаження, ущільнення, транспортування та

вивантаження сміття. На кожні 400 контейнерів необхідно мати один автомобіль - сміттевоз. Вони мають бути надійними, максимально герметичними і зручними для проведення процесу завантаження і розвантаження відходів.



Рисунок 29 - Автомобіль-сміттевоз на базі шасі автомобіля КрАЗ-5401Н2

Сміттевози відрізняються 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). 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, в який відходи зі сміттевого контейнера завантажуються вручну або механізовано.

Основна особливість сміттевозів - 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 ставить бак назад на відповідну площадку.

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.

У даний час у світовій практиці намітилася тенденція переходу до централізованої обробки відходів на підприємствах із заводською технологією знешкодження й утилізації корисних вторинних продуктів. Такі підприємства 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 речовин - компонентів відходів.

У світовій практиці використовуються різні схеми доставки відходів, що часто комбінуються між собою і доповнюють одна одну.

По першій схемі збір відходів проводиться автомобільним транспортом, що доставляє їх безпосередньо до місця утилізації чи обробки на перевантажувальних станціях, де вони ущільнюються і перевантажуються на великовантажні автомобілі. При цьому перевага віддається перевезенню відходів у контейнерах.

По другій схемі завантаження відходів здійснюється у залізничні цистерни, вагони, чи на платформи. Тут також приділяється велике місце контейнерному способу перевезень.

Згідно третьої схеми здійснюють вивіз відходів за межі міста водним транспортом. Протягом багатьох років щорічно близько 700 тис. т відходів і забруднень, що збираються в м. Лондон, вантажаться на баржі і вивозять річкою Темза. Водяні шляхи також використовують для транспортування відходів у таких містах як Антверпен, Женева, Гамбург, Роттердам, Москва.

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, переробки й утилізації побутових та промислових відходів у масштабах усієї країни, стала Данія, яка є порівняно невеликою, розвитою у промисловому відношенні європейською країною з населенням більше 5 млн. чоловік. Велика кількість промислових підприємств, у технологічних процесах яких утворюються значні відходи, створюють небезпеку забруднення навколишнього середовища, що для Данії, яка є одним з великих постачальників сільськогосподарської продукції, 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 небезпечно з погляду попередження забруднення навколишнього середовища та невігідно економічно.

На першому етапі утилізаційної діяльності в Данії було визначено проектну кількість утворюємих відходів 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 перегонки нафтопродуктів, залишки пестицидів, відходи бітуму та фармацевтичного виробництва і т.д.)
- 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 луги тощо);
- тверді відходи (пакувальні матеріали, пластмаси, побічні хімічні продукти).

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 у вагонах, у цистернах чи в контейнерах (пастообразні відходи, осад, пеки).

Відходи з оліє- і нафтопродуктами містять, як правило, значну кількість води і розділяються на масляну і водяну фази в резервуарах, де відбувається їхня сепарація шляхом відстоювання. З відстійника вода скидається в центральну каналізаційну систему, що має масловловлювач. З резервуарів рідкі відходи перекачуються насосами в цистерни, а осілі відходи піднімаються з дна резервуара шнеком та вантажаться у бочки, що щільно закриваються кришками.

3.2 Прес-компактори та вертикальні пакувальні преси

За останні двадцять років структура побутових відходів кардинально змінилася. 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 ущільнення відходів.

Щільність відходів є важливою характеристикою, яка має враховуватися при їх зберіганні і транспортуванні (табл.7). Природно, що ті відходи, які мають малу щільність за рахунок повітряних проміжків, будуть характеризуватися високим ступенем стисливості. Полімерні пляшки, стаканчики і коробки при стисканні можуть зменшити свій об'єм більш ніж у десять разів. Тому, незалежно від обраних подальших технологій утилізації твердих побутових відходів - рециклінгу або захоронення, проводиться їх неодноразове ущільнення. З метою зниження транспортних витрат доцільно транспортувати відходи у максимально стисненому стані.

Вологість твердих побутових відходів може знаходитися в широких межах. Визначається вона, переважно, вологістю складових відходів, умовами та терміном їх зберігання. Якщо папір, картон, деревина у своєму природному стані вміщують не більше 20...40%вологи, то вологість харчових відходів рідко буває нижчою 60%, а в окремих випадках сягає 95%. Згідно статистичних даних вологість твердих побутових відходів складає: - для центральних регіонів України 40-50%, - для південних – 35...70 %.

Суттєво на вологість твердих побутових відходів впливають умови їх зберігання та доступність для попадання атмосферних опадів. У загальному випадку вважається, що за звичайних умов зберігання вологість твердих побутових відходів складає близько 35%.

Щільність твердих побутових відходів змінюється залежно від благоустрою житлового фонду та пори року. Для благоустроєного житлового фонду щільність твердих побутових відходів становить 0,18...0,25 т/м³, для неупорядкованого 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 знизиться до значень 0,1 т/м³.

Можливості зменшення загального обсягу твердих побутових відходів під час перевезення й складуванні на полігонах визначаються їхніми

компресійними властивостями, тобто залежністю ступіню ущільнення від тиску пресування. При пресуванні твердих побутових відходів у сміттєвозі при питомому тиску 0,1МПа, їхній обсяг зменшується в 1,5...3 рази. При пошаровому ущільненні на полігонах при питомому тиску, що дорівнює 0,1 МПа, обсяг 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 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.

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 ще 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.

Таблиця 7 – 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

У відповідності з властивостями матеріалу розрізняються основні характеристики застосовуваного ущільнюючого обладнання.

Прес - компактори – це контейнерне обладнання, яке за рахунок пресування, забезпечує зменшення об'єму відходів (відеододаток 9). Один прес - компактор об'ємом до 20 м³ куб. може замінити собою 80...100 контейнерів об'ємом 0.8 м³. Прес - компактор складається з двох частин: герметичного

накопичувального бункера для збору відходів і пресового механізму, який забезпечує зменшення об'єму відходів до 20 раз. 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, і дозволяє значно знизити витрати на транспортування відходів. Необхідна частота вивезення відходів при використанні такого обладнання знижується у 3...5 раз. Застосування прес - компактторів робить збір відходів та їх утилізацію менш трудомістким процесом і сприяє поліпшенню санітарного стану виробничих ділянок.

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 преса – воронку, яка закривається автоматично шибєрною 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 спресовування відходів є повністю автоматизованим, що зводить витрати часу і зусиль до мінімуму. Коли накопичувальний контейнер стає повністю заповненим відходами, автоматизована система сповіщає про це шляхом подачі звукового або світлового сигналу.

До особливостей застосування прес-компакторів відноситься:

1. Універсальність. Прес-компактори для відходів забезпечують ефективне ущільнення різноманітної сировини. Вони розраховані на функціонування в широкому діапазоні експлуатаційних умов, наприклад, в інтервалі температур від -50 до +50 °С.

2. Використання прес - компакторів (на відміну від звичайних сміттєвих баків) виключає розповсюдження неприємних запахів та антисанітарії.

3. Простота експлуатації.

4. Широкий діапазон потужностей. В номенклатуру обладнання для пресування відходів входять як домашні преси, призначені для використання в побуті, так і потужні промислові установки, здатні щоденно проводити обробку десятків тон відходів.

Прес-компактори за конструкцією поділяються на стаціонарні і мобільні. Стаціонарні прес - компактори, як правило, відрізняються більшою продуктивністю і використовуються на великих підприємствах (рис.30).



Рисунок 30 - Стаціонарний прес - компактор ECOM

Мобільні прес - компактори для відходів є пересувними і служать для того, щоб зменшити об'єм перевезимих відходів (рис.31). Існують спеціальні рішення по будівництву станцій перевантаження на основі стаціонарних компакторів, для скорочення витрат при транспортуванні відходів на полігон.



Рисунок 31 - Моноблочний мобільний прес - компактор

Мобільні прес - компактори застосовують в промисловості, у великих торгових центрах, для утилізації паперової і картонної тари, а також у готелях, медичних установах, закладах громадського харчування тощо. Однією з переваг мобільних прес – компакторів є сумісність з різними типами вантажних і транспортувальних пристроїв. Більшість конструкцій мобільних прес - компакторів пристосовано для транспортування на вантажних автомобілях, оснащених крюковим захопленням.

Конструкція прес-компактора включає (рис.32):

1. Завантажувальний бункер великого розміру, який забезпечує зручне завантаження. Персоналу не потрібно 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.

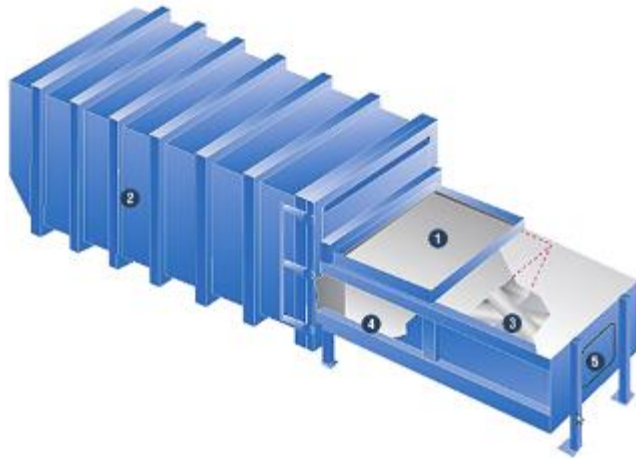


Рисунок 32 - Конструкція пресового компактора

Моноблочний мобільний прес - компактор собою контейнер і прес, об'єднані в єдиний нероз'ємний блок. При вивезенні відходів моноблочний компактор транспортується цілком – пресовий вузол не відділяється від контейнер. Така конструкція є оптимальною для збору і ущільнення сухих відходів для компаній, що мають обмежену виробничу площу.

Для ущільнення картону, паперу, ПЕТ пляшок, деревних і змішаних відходів доцільно застосовувати шнекові прес - компактори (рис.33). Вони характеризуються вищою на 20...50% продуктивністю, у порівнянні з розглянутими вище прес – компакторами. Такий ефект досягається за рахунок того, що шнековий компактор не тільки ущільнює, але і додатково подрібнює відходи перед переміщенням у контейнер. Це дозволяє значно збільшити щільність спресованої маси.



Рисунок 33 - Конструкція шнекового прес - компактора: 1-привід шнека; 2-шнек; 3-завантажувальний бункер; 4-контейнер.

Для зменшення обсягу сухих відходів також використовують гідравлічні пакетувальні преса. Дане устаткування дозволяє щільно спресовувати вторинну сировину у тюки, які обв'язуються дротом. Широке застосування, 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 та в пунктах прийому вторинної сировини). Вони застосовуються для пресування картону, паперу, фруктових ящиків, плівки, металевих банок, ПЕТ пляшок, невеликих металевих баків і бочок. Ребриста поверхня стінок преса запобігає розширенню матеріалів після пресування і дозволяє отримувати щільний тюк вагою до 60 кг. Зсувна бічна стінка робить вивантаження сформованого тюка швидким і зручним.

Пакетувальні преси виробляються різної конструкції, споживаної потужності, зусилля пресування тощо (рис. 34).



Рисунок 34 – Вертикальні пакетувальні преси

Пакетувальний прес характеризується лінійними розмірами тюка, у який він спресовує відходи. При виборі характеристик преса оцінюється розмір завантажуваних відходів у камеру преса. Наприклад, якщо розмір листів відходів будуть більшим за розміри камери преса або його завантажувального вікна, то доведеться вручну ламати або розрізати такий матеріал.

3.3 Станції перевантаження відходів

Станція перевантаження відходів є ключовим елементом при розподіленні вивезення відходів на кілька етапів. При цьому схема транспортування відходів «Місце накопичення відходів - майданчик утилізації» замінюється на локальну «Місце накопичення відходів - станція перевантаження» і транспортну складову «станція перевантаження - майданчик утилізації». На першому етапі сміттєвози невеликої місткості, які легко переміщуються по тісним проїздам та дворам, звозять зібрані по території великого міста 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 ущільненим сміттям вивозяться великовантажними сміттєвозами на полігон або сміттєпереробне підприємство, які розміщено за межами населеного пункту. На станціях перевантаження може використовуватися система попереднього вилучення з відходів окремих складових, наприклад, макулатури.

Зменшення об'єму відходів і повернення в товарний оборот цінної вторинної сировини, що відбирається з відходів, стає все більш актуальним завданням через зростаючі транспортні витрати і прийняття більш суворих екологічних законів. Використання станцій перевантаження відходів, що відповідають високим вимогам безпеки навколишнього середовища, дозволяють істотно знизити витрати на вивезення твердих побутових відходів. 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 полігонів для складування твердих побутових відходів від 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 транспортних магістралях. При використанні станцій перевантаження забезпечується зниження сумарної

витрати палива смітєвозами, у порівнянні з одноетапним вивезенням. Завдяки ущільненню твердих побутових відходів досягається максимальне використання корисної вантажопідйомності транспортних смітєвозів.

Основною характеристикою станцій перевантаження відходів є їх продуктивність. За продуктивністю станції перевантаження відходів підрозділяються на три групи: малі (до 50 т/добу); середні (50...150 т/добу) та великі (понад 150 т/добу).

За виконанням станції перевантаження відходів бувають одно-і дворівневі. На однорівневих станціях в'язкості вантажопідйомних механізмів використовують стрічкові, пластинчасті або скребкові транспортери, грейферні ковші 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 смітєвозів у приймальні бункери - накопичувачі, а на нижньому – завантаження відходів у транспортні смітєвози. 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. У приймальному блоці за допомогою преса сміття завантажується у накопичувальний контейнер великого об'єму (рис. 36-37).

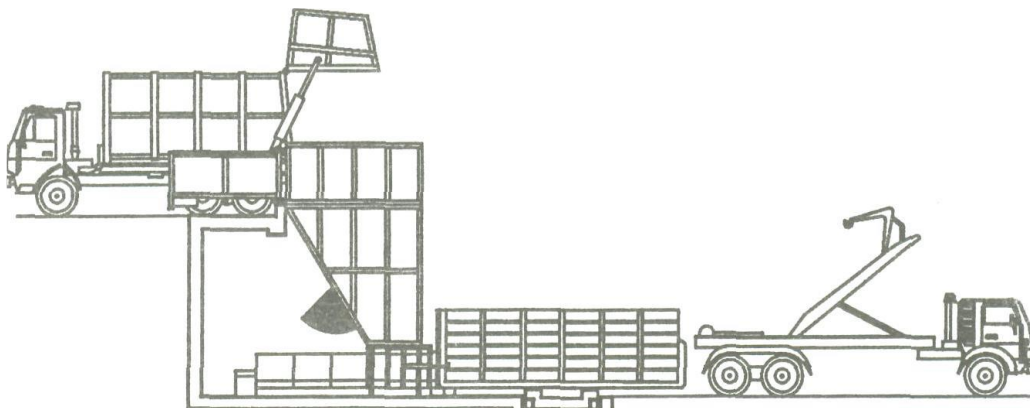


Рисунок 36 – Смітєперевантажувальна станція контейнерного типу

Після заповнення і пресування, вагонетка підїжджає під заповнений контейнер і переміщує його на вибране місце. Порожній контейнер на заміну вагонеткою подається до компактора і цикл завантаження повторюється.



Рисунок 37 - Станція перевантаження твердих побутових відходів у прес-компактор

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, відеододаток 10).



Рисунок 38 — Тягач з маніпулятором типу «multi – lift» в процесі завантаження накопичувального контейнера перед вивезенням для утилізації

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 Сортивання відходів

Морфологічний склад твердих побутових відходів включає ряд корисних фракцій, які можна повторно використовувати для виробництва різних матеріалів. В основі сучасних сміттєпереробних підприємств покладено – розділювання відходів на складові. Сміттєсортувальні підприємства - промислові підприємства, що обробляють тверді відходи виробництва і споживання (як змішані, так і зібрані окремо), з метою отримання корисних і цінних вторинних матеріалів для подальшої обробки або переробки. Сміттєсортувальні підприємства виконують сортування твердих побутових відходів та відбирання з відходів цінної вторинної сировини, такої як макулатура, ПЕТ пляшки, метал, пластик, пластикова упаковка, алюмінієві банки, скло тощо. Стимулом для розвитку сміттєпереробних підприємств є наявність ринків збуту для реалізації відібраних при сортуванні вторинних матеріалів, та придатність залишків відходів для спалювання.

Сортування відходів також є обов'язковою підготовчою операцією перед їх спалюванням на сучасних сміттєспалювальних заводах. Сортування відходів дозволяє видалити складові, переважно полімери, які при спалюванні ведуть до посиленого забруднення навколишнього середовища. Також з відходів відділяються негорючі складові (скло, бетон, метал), на нагрів яких при спалюванні витрачається велика кількість тепла.

На сьогоднішній день існує можливість у якості вторинної сировини реалізувати до 50% матеріалів, що входять до складу твердих побутових відходів (полімерні матеріали, папір, скло, чорні і кольорові метали). 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, крупнофракційні відходи в деревообробній промисловості і т. д.). Крім того, промислові відходи, як правило, не забруднені, та мають незначну вологість.

Проведення сміттесортування відходів проводять виходячи з наступних причин:

- намагання досягнення економічності утилізації відходів за рахунок розширення використання вторинних ресурсів;
- застосування 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.

З підвищенням витрат на розміщення твердих побутових відходів на полігонах, організації, що відповідають за їх вивезення та захоронення, змушені спрямовувати більше уваги і коштів на розвиток рециклінгу.

У практиці поводження з відходами сміттесортувальні підприємства з'явилися порівняно недавно. На початку 80-х років перше сміттесортувальне підприємство було побудовано в м. Гротон (штат Коннектикут, США) для відділення від відходів паперових та пластмасових складових. З огляду на зростаючі обсяги утворення твердих побутових відходів і прагнення поліпшити екологічну ситуацію, роль сміттесортувальних комплексів постійно зростає. В Україну технологія переробки та сортування твердих побутових відходів прийшла з європейських країн.

Робота сміттесортувальних підприємств забезпечує:

- збільшення терміну експлуатації полігонів у 3...4 рази і зменшення його площі у 5...6 разів, а при запровадженні технології повної переробки твердих побутових відходів необхідність у використанні полігонів практично відпадає;
- зменшення витрат на транспортування та розміщення твердих побутових відходів у 6...8 разів;

- сміттесортувальні комплекси, порівняно з сміттєспалювальними заводами, мають нижчу вартість і значно коротший термін окупності;
- зменшення негативного екологічного впливу на навколишнє середовище від захоронення попередньо сортованих відходів порівняно зі спалюванням та захороненням не розсортованих відходів.

Сміттесортувальний комплекс може бути встановлений на спеціальному майданчику в ангарі або безпосередньо на полігоні. Кожна сортувальна лінія сміттесортувального комплексу проектується індивідуально, залежно від обсягу сміття, що переробляється, його морфологічного складу, а також побажань замовника до необхідного комплексу обладнання для переробки сміття та відходів.

За даними Мінрегіону 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, м. 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. Так, у 2018 році лише 4,2 % побутових відходів потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні заводи.

Для проведення проектного аналізу щодо утилізації розсортованих твердих побутових відходів, 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. Дослідження відбору проб для характеристики відходів повинні бути розроблені таким чином, щоб отримувати найбільш точні дані за найменших витрат та зусиль.

Хоча ручний відбір проб все ще є основним надійним способом оцінки складу, інші методики, наприклад фотограметрія, мають перспективи розширення застосування. Складнощі та непривабливий характер роботи по ручного відбору проб привели до створення безпечнішого способу отримання даних про склад твердих побутових відходів. Методика фотограмметрії передбачає фотографування шару відходів та послідовний аналіз отриманих фотографій. Фотографування здійснюється ширококутним об'єктивом під кутом 90° до шару відходів. Потім фотографія проектується на екран, який розділений на сітку з 10×10 блоків. Складові у кожному перетині сітки ідентифікуються та відображаються у таблиці. Використовуючи заздалегідь відому насипну щільність окремих складових, яка враховує внутрішні порожнини (наприклад, у банці для напоїв), проводять обчислення їх вагової частки.

Фотограметрія також може бути корисна для оцінки складу інших видів відходів, крім побутових. Наприклад, будівельні відходи містять обмежену кількість компонентів, а фотографування великих нагромаджень таких відходів може бути набагато ефективнішим і безпечнішим, ніж сортування вручну.

Сучасні сміттесортувальні комплекси характеризуються продуктивністю від 10 до 300 тис. т перероблених відходів на рік. Продуктивність сортування залежить від розмірів конвеєрного устаткування, кількості постів для роботи персоналу та потужності встановленого обладнання. Сміттесортувальні заводи використовують поєднання двох видів виділення корисних фракцій: ручне і автоматичне сортування відходів. Етапи подачі і відсіву дрібної фракції та ряд інших операцій відбуваються в автоматичному режимі за допомогою конвеєрного обладнання та сепараторів. При ручному сортуванні оператор проводить візуальний відбір корисних фракцій на сортувальному конвеєрі і вручну переміщує їх в спеціальні контейнери. Ручне сортування застосовується у випадках, коли можливості людини ефективно замінити механізмами складно.

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.

При цьому леткі речовини які виділяються при сортуванні сміття не тільки є шкідливими для здоров'я людей, а й корозійно активними для механізмів технологічної лінії і конструкцій будівлі. Оскільки в твердих побутових відходах можуть знаходитися різні колючі та ріжучі предмети, а також токсичні речовини, робітники повинні використовувати щільні матерчаті рукавиці для захисту рук. Робочий одяг також повинна виключати можливий безпосередній контакт людини з твердими побутовими відходами. Поверх одягу повинен бути одягнений прогумований фартух. Взуття має бути прогумованим. Для зниження негативного впливу умов виробництва повинна передбачатися періодична дезодорація і санітарна обробка робочих приміщень лінії сортування.

Таблиця 8 – Стаціонарне обладнання сміттесортувального підприємства

Напрямок використання	Обладнання
Обладнання для переміщення матеріалів	Стрічковий, гвинтовий та пластинчастий конвеєр. Ковшовий елеватор. Скребокний конвеєр Пневматичний конвеєр Вібраційний конвеєр
Обладнання для розділення компонентів твердих побутових відходів	Магнітний сепаратор Електродинамічний сепаратор Дисковий грохот. Барабанный 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 та брикетувальний прес Гранулятор
Обладнання для створення сприятливого середовища	Система збору пилу Пристрої приглушення шуму Система придушення запаху Обігрівачі, вентиляційні системи, повітряні кондиціонери
Інше обладнання	Стаціонарний бункер зберігання відходів Підлогові ваги для контейнерів Автомобільні ваги. Конвеєрні ваги

Найбільш небезпечним моментом є можливий контакт людини з рухомою транспортерною стрічкою, в результаті чого можуть бути отримані різні виробничі травми.

Сміттєвози доставляють тверді побутові відходи до сміттєсортувального комплексу. При в'їзді на територію комплексу проводиться контроль кожного сміттєвоза, його реєстрація та зважування на вагах. Після проходження радіаційного контролю сміттєвози направляються на ділянку розвантаження поблизу приймального бункера лінії сортування та розвантажують сміття на бетоновану підлогу. Ковшовим навантажувачем відбирають великогабаритні елементи сміття, які технологічно не призначені для сортування або які підлягають попередньому подрібненню. Решту відходів подають в приймальний бункер живильника завантажувального конвеєра лінії сортування (рис.39). Лінія не може використовуватися для розбирання змерзлих твердих побутових відходів. Такі відходи направляються на захоронення без сортування, або витримуються певний час при плюсовій температурі у спеціальному бункері-накопичувачі.



Рисунок 39 – 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.

В залежності від конструкції сортувальної лінії далі відходи подаються до сепаруючого обладнання, який призначене для відділення шляхом просіювання дрібних органічних та біологічних відходів. На мобільних

сортувальних лініях у якості такого обладнання використовують сепаратори барабанного типу. Сепаратор являє собою двосекційну барабанну металеву конструкцію з внутрішнім двохзахідним шнеком. Секції барабану обшиті металевою сіткою з розмірами комірок 30×30 мм та 50×50 мм. На внутрішній частині сепаратора розміщені ножі для розривання поліетиленових пакетів (рис.40). При обертанні барабана відходи переміщуються в лінійному напрямку на вихід, струшуються на внутрішніх ребрах барабану, паперові та полімерні мішки розриваються і розрізаються. Фрагменти відходів, перекочуються і труться між собою, при цьому від них відокремлюються прилипли 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. По мірі переміщення твердих побутових відходів вздовж сепаратора до 30% матеріалу, в основному дрібні вологі органічні та біологічні відходи, відсіюються.



Рисунок 40 – Сепаратор відходів барабанного типу

Сепаратор відходів барабанного типу оснащують ультрафіолетовими світильниками, закріпленими на кожусі барабана. Під дією ультрафіолетового випромінювання протягом 8...12 хвилин в процесі знаходження відходи всередині барабана частково знезаражуються від патогенних бактерій і мікроорганізмів, які присутні на їх поверхні. Сепаратор відходів барабанного

типу дає можливість усунення прямого контакту робітників-сортувальників з дрібними брудними, потенційно зараженими відходами.

Для відсіювання дрібних органічних та біологічних відходів на лініях сортування також широко застосовують вібраційні сита у вигляді решіток з отворами 100 мм (рис.41). 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 41 - 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 одного конвеєра на другий конвеєр матеріал рухається через потужний потік повітря. При цьому легкі компоненти з високою парусністю захоплюються повітрям, осідають у циклоні і, далі, вивантажуються на стрічку верхнього конвеєра для транспортування. При аеросепарації в легку фракцію з 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.42).

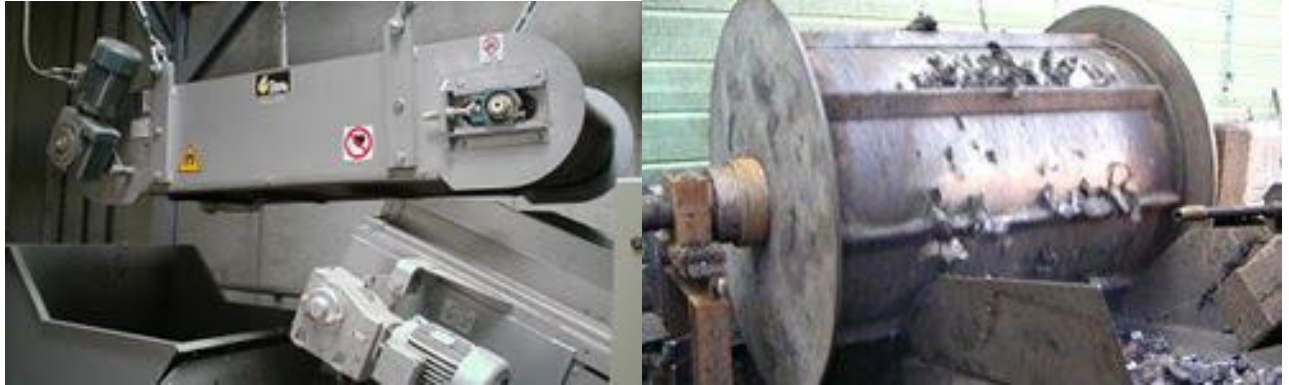


Рисунок 42 - Електромагнітні сепаратори

Принцип роботи електромагнітних сепараторів полягає у тому, що феромагнітні матеріали, які транспортуються стрічкою конвеєра, притягуються до потужного електромагніта і відкидаються в сторону на ділянці, де сила магнітного поля стає незначною (рис.43). Немагнітні складові відходів залишаються на стрічці конвеєра і передаються на подальше сортування.

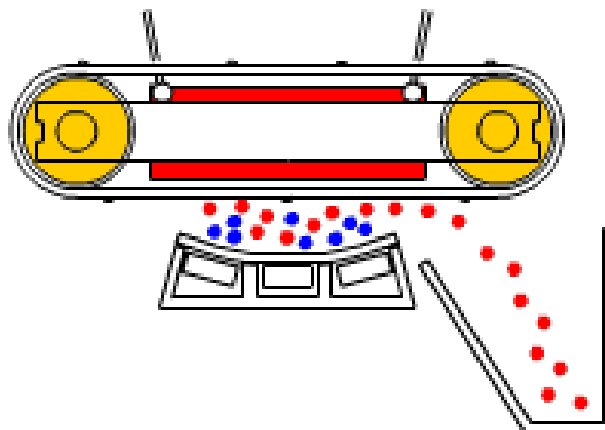


Рисунок 43 - Схема роботи магнітного сепаратора

Ефективність роботи електромагнітного сепаратора залежить від маси, геометрії і магнітної сприйнятливості металевого матеріалу, що відділяється, а також від щільності відходів, що транспортуються і швидкості руху стрічки конвеєра. Швидкість руху стрічки конвеєра з відходами на ділянці розміщення

магнітного сепаратора повинна становити 1,25...2,0 м/с. При більш високій швидкості руху стрічки знижується повнота розділення магнітної та немагнітної фракцій. За допомогою встановлених над транспортерними стрічками магнітних сепараторів з відходів переважно витягуються чорні метали, які розташовані на поверхні маси змішаних відходів. Приховані у товщі відходів на конвейерній стрічці чорні метали відсортовуються менш ефективно. Наприклад, консервні банки відбираються з маси відходів у кількості не більше 15%. Алюмінієві банки і вироби зі сплавів кольорових металів вибираються вручну і складуються окремо, не змішуючись з іншими металевими матеріалами.

Сортувальна платформа - це головний елемент сортувального комплексу, на якій здійснюється відбір придатних для рециклінгу фракцій з потоку твердих побутових відходів. На сортувальній платформі розташовано горизонтальний стрічковий конвеєр і місця для операторів по вибірці придатних фракцій із загального потоку (рис.44).

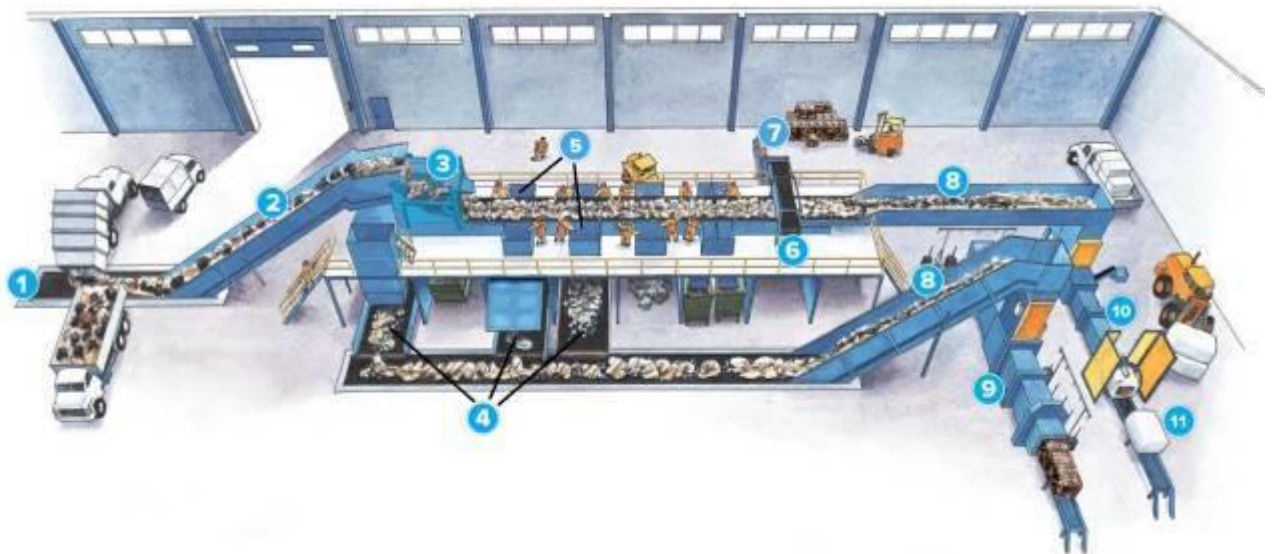


Рисунок 44 – Лінія сортування твердих побутових відходів:

1 - ділянка розвантажування сміттєвозів; 2 - завантажувальний конвеєр; 3 - вібраційний стіл; 4 - бункерні конвеєри; 5 - сортувальна платформа з робочими місцями операторів; 6 - магнітний сепаратор; 7 - прес для ущільнення металеві фракції в пакети; 8 - завантажувальний конвеєр; 9, 10 - пакувальні преса для різних видів вторинної сировини; 11 - пакувальний пристрій.

Стрічковий конвеєр призначений для переміщення твердих побутових відходів. Конвеєр з метою запобігання випаданню відходів з рухомої конвеєрної стрічки обладнується бортами. Швидкість руху стрічки складає 0,1...0,3 м/с.

Кількість робочих місць на сортувальній платформі залежить від продуктивності лінії та кількості видів відходів, які відбираються при сортуванні. Робочі місця операторів розміщуються по боках горизонтального конвеєра. З одного боку конвеєра може бути спроектовано від 3 до 20 робочих місць. Їх обладнують люками для скидання відібраних фракцій твердих побутових відходів, сидіннями, спеціальними пристосуваннями для полегшення роботи з розбирання сміття (рис.45). На стрічці конвеєра робітники - сортувальники вручну відбирають з відходів, що знаходяться на конвеєрі, корисні фракції сухих відходів, які мають споживчі властивості і скидають їх в спеціальні люки (відеододаток 11). Відібрані фракції попадають у накопичувальні ємності, що розміщуються на нижньому поверсі. Накопичувальні ємності з відбраною вторинною сировиною по мірі заповнення передається на ущільнення і пакетування.



Рисунок 45 - Сортування макулатури на ділянці сортувальної лінії

Робочі місця на початку транспортерної стрічки призначені для вилучення з твердих побутових відходів великогабаритних складових, наприклад, листів картону. Також є доцільним проведення видалення з потоку твердих побутових відходів відпрацьованих елементів живлення,

електроприладів, ртутних ламп і 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.

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, з кожного робочого місця передбачається можливість аварійної зупинки стрічки транспортера.

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 залучення додаткових робочих продуктивності лінії збільшення продуктивності лінії по сортування відходів.

Для відбору легких горючих фракцій із залишків відходів застосовують повітряну класифікацію. Потужна повітродувка всмоктує повітря через патрубок, який розміщений над конвейерною стрічкою, втягуючи з собою такі легкі матеріали, такі як папір і пластик. Повітряний потік подається у циклонний сепаратор, де відібрані складові втрачають швидкість і відділяються від потоку повітря. Відібрана фракція може використовуватися у якості сировини для виробництва RDF – палива.

Скло з твердих побутових відходів сортується на кольорове і безбарвне і збирається окремо.

Не відібрані залишки скляного бою, камені та шматки бетону відділяються від не розсортованих залишків в кінці процесу сортування балістичним методом і потрапляють в контейнери, які 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.

Навесні 2016 року на сміттєвому полігоні підприємства «Екостайл» (м. Кропивницький) запрацювала мобільна сортувальна лінія (рис.46). Лінія обробляє 60 тонн твердих побутових відходів за робочу зміну.

Сортувальна лінія дозволяє вирішити наступні екологічні проблеми Кропивницького:

- видалення із загальної маси сміття, що не розкладається (скло, пластик, поліетилен, органічні відходи тощо)
- зменшення викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище міста
- видалення легкозаймистих відходів
- зменшення території для захоронення сміттєвих відходів (лінія дозволяє знизити обсяг захоронення на 8...15%).



Рисунок 46 - Мобільна сортувальна лінія на сміттєвому полігоні підприємства «Екостайл» (м.Кропивницький)

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 споживачів;
- складність візуальної ідентифікації та відокремлення різних видів пластику один від одного.

На сьогодні перспективною альтернативою ручному сортуванню є автоматичне сортування, яке засноване на оптичному розпізнаванні матеріалу.

Технічні рішення по автоматичному сортуванню відходів на основі використання оптико-механічного розділення відходів реалізуються в обладнанні ряду європейських виробників. Одним з представників фірм-виробників автоматичних оптичних сортувальних ліній є фірма TOMRA (Німеччина). 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 визначати у потоці складові твердих побутових відходів.

Розпізнавання здійснюється шляхом порівняння спектральної характеристики відбитого світлового сигналу від поверхні матеріалу, що розпізнається, з інформацією, що міститься в базі даних системи. Для цього поверхня відходів на конвеєрі опромінюється світлом від галогенових ламп. При цьому специфічний відбитий сигнал надходить на два датчика: VIS та NIR. Датчик VIS налаштований на світло видимого спектру і забезпечує розпізнавання кольору матеріалу відходів, а датчик NIR реагує на світло з довжиною хвилі, яка відповідає інфрачервоному діапазону, і визначає тип аналізованого матеріалу. Відходи 1, які поступають для сортування, рівномірно подаються по транспортеру до області роботи сенсорів 2 (рис.47). Порівнюючи сигнали від датчиків з базою даних, система протягом мілісекунди розпізнає колір і вид аналізованого матеріалу. Точність сортування забезпечується високою щільністю сканування поверхні конвеєра з матеріалом (320 тис. точок

в секунду). Датчики ліній автоматичного сортування дозволяють розрізняти матеріали за специфічним для кожного матеріалу спектром випромінювання і виділяти компоненти, які візуально не відрізняються один від одного. Стає можливим сортування полімерів - виділення поліетилену, поліпропілену, полістиролу, полівінілхлориду та інших пластиків, візуальне розпізнавання яких дуже ускладнено.

Сортування проводиться відповідно до завдання, яке закладено у комп'ютерну програму. Якщо в системі запрограмовано завдання виділяти з відходів конкретний компонент, то при збігу параметрів спектрів на блок пневмоклапанів буде надходити керуючий сигнал. В кінці транспортера знаходиться один або два виконавчі модулі з пневмодюзами 3. В момент проходження розпізнаного елемента над відповідними пневмодюзами, пневмоклапани відкриваються, і елемент 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 багаторазово збільшити точність та продуктивність сортування матеріалів та підвищити відсоток відібраних фракцій у порівнянні з ручним сортуванням. Можливість ідентифікації за кольором і хімічним складом більше тисячі різних матеріалів відкриває широкі перспективи промислового застосування даних технологій.

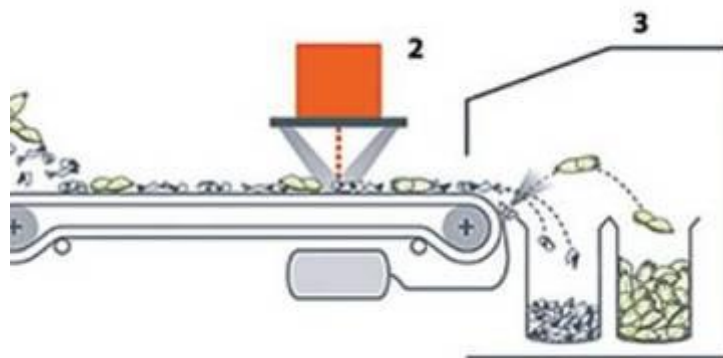


Рисунок 47 - Принцип роботи лінії автоматичного сортування відходів

Використання обладнання оптико-механічного розділення відходів є доцільним при сортуванні роздільно зібраних відходів. Комплекс

автоматичного сортування передбачає з боку персоналу лише контроль за роботою обладнання. Автоматизована лінія має значно більшу вартість обладнання, але, разом з цим, суттєво зменшуються експлуатаційні витрати за рахунок зменшення кількості необхідного персоналу (табл. 9).

Таблиця 9 – Технічна продуктивність ручного і автоматичного сортування

Матеріал	Сортування, кг/год		Необхідна кількість робітників для заміни однієї машини
	автоматичне	ручне	
Плівка	4000	70	57
Папір	11000	180	61
Скло	12000	400	30
ПЕТ-пляшки	7000	120	58

Відібрані при сортуванні компоненти відходів (макулатура, ПЕТ-пляшки, пластмаса тощо), в залежності від номенклатури відбираємих вторинних матеріалів, при сортуванні можуть розділятися на більше ніж 20 фракцій. Папір, картон, пластик накопичуються у контейнерах. По мірі накопичення визначеного обсягу, фракції відходів вивантажуються на живильник автоматизованого преса вторинної сировини для пакування шляхом пресування у тюки. Пресування забезпечує зниження транспортних витрат при перевезенні вторинної сировини. Наприклад, укузов вантажного автомобіля може поміститися всього 320 кілограм неспресованих ПЕТ - пляшок.

До макулатури, яку відібрано з твердих побутових відходів, ставляться вимога: перед пресуванням її вологість не повинна перевищувати 50...60%, а рівень забруднення - 20%.

Для ущільнення і пакування відібраної з відходів вторинної сировини застосовують каналні преси безперервної дії (зусилля пресування від 40 до 140 тонн). Для збереження форми спресованих тюків їх обв'язують кількома рядами дроту за допомогою автоматичного пристрою (рис.48).



Рисунок 48 – Канальний пакетувальний прес для макулатури

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.



Рисунок 49 - Склад розсортованої вторинної сировини.

Склад зберігання макулатури, ганчір'я, металів представляє з себе не опалювальне закрите сховище ангарного типу (рис.49). 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.

3.5 Виробництво RDF-палива

Пошук альтернативних джерел енергії привів до розробки нових, зручних для складування та транспортування видів палива, які виробляються із залишків сортування відходів. У 1980-х роках у Бельгії стали виробляти вид гранульованого палива, яке отримало назву «сміттєве вугілля» або RDF-паливо (від англ. «RefuseDerivedFuel» – паливо з відходів). Даний вид палива отримували з органічних фракцій відходів, у яких теплотворна здатність перевищувала ту, яка властива звичайним сумішам твердих побутових відходів (рис.50). При цьому у сировині для виробництва RDF-палива, як правило, завжди присутня певна кількість невідділених при сортуванні незгораючих складових відходів. Досвід використання RDF-палива показав, що для спалювання такі гранули вимагають застосування топок спеціальної конструкції, оскільки метал звичайних топочних установок, як правило, піддається корозії при контакті з хлором, що виділяється при горінні окремих полімерних складових. Використання подібного палива були визнано занадто витратними і інтерес до них протримався всього кілька років.



Рисунок 50 - RDF - паливо у вигляді гранул та брикетів

Пошуками подібного типу палива активно займалися і в інших країнах, зокрема у Швеції. Висушені залишки очищених відходів, після видалення металевих включань, каміння та скла, у формі гранул, стали використовувати у якості палива для об'єднаної системи обігріву осель. Ця технологія зменшила проблему утворення небезпечних викидів від сміттєспалювальних заводів, на

які скаржилися жителі навколишніх будинків. Муніципалітети стали вдаватися до попереднього сортування відходів, а потім перетворювати дрібні залишкові безпечні фракції з високою калорійністю горіння у тверде паливо. На сміттєсортувальних лініях найбільш легкі за щільністю матеріали стали відокремлювати продувкою або всмоктуванням у повітряному потоці, а потім подрібнювати і висушувати. У якості складових гранул також використовують подрібнені відходи дерева та меблів. Це дозволило домогтися теплотворної здатності понад 3000 ккал. на кілограм RDF-палива, що еквівалентно показниками деревини і в два рази нижче теплотворної здатності вугілля. По теплотворній здатності 1 м³природного газу еквівалентний 1,7 кг такого RDF - палива.

Сьогодні для позначення альтернативного палива використовують назву SRF (solidrecoveredfuel -тверде відновлене паливо) - паливо, отримане з твердих відходів, з хімічним складом і фізичними властивостями, що задовольняють вимогам споживача. При цьому RDF є загальним терміном, що використовується для змішаних відходів, склад яких, характеристики та властивості не є повністю відомими.

У розвинутих країнах світу знайшло розповсюдження спалювання SRF/RDF-палива переважно в цементній промисловості та на теплових електростанціях. У цементній промисловості SRF/RDF – паливо використовується разом з природним газом для підтримки процесу горіння і подається за окремою дозуючою системою. Зацікавленість цементних заводів у такому виді альтернативного палива залежить від багатьох факторів: складу SRF/RDF - палива, його вологості і калорійності, наявності полівінілхлоридів, ціни SRF/RDF - палива та традиційних видів палива, безперебійності постачання та технологічного оснащення заводу. 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 хлорвміщуючих пластмас приводить до зниження якості цементу за рахунок виникнення злипання частинок клінкеру.

Існує два підходи до виробництва SRF/RDF -палива:

-цільовий, коли реалізується технологія, головною метою якої є отримання палива з відібраних горючих складових відходів;

-залишковий, коли паливо отримують з горючих компонентів залишків, що утворилися після повного відділення з відходів цінної вторинної сировини.

Основою обох підходів є сортування. Спочатку на сміттесортувальній лінії з відходів відбирають таку сировину, як макулатура, склобій, вироби з хлорвмісного пластику, хімічні джерела струму (батарейки 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 малопридатні для вторинного використання: папір, дерево, картон, шкіра (шкірозамінник), синтетичні волокна, текстиль, полімери, пакети тетрапак.

Особливо ефективно застосування автотазованого сортування сировини, яке на відміну від ручного сортування дозволяє виділяти з потоку відходів дрібні об'єкти розміром до 15 мм, що значно збільшує продуктивність. Головною перевагою застосування автоматичного сортування для отримання SRF/RDF - палива є те, що допомогою цього методу можна отримувати паливо заданого складу, а також повністю виключати потрапляння в нього таких екологічно небезпечних компонентів, як залишки полівінілхлориду.

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;

- чистова сепарація (2-й етап) із застосуванням 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 ганул чи брикетів з застосуванням механічних пресів.

Установки для виробництва SRF/RDF – палива з вторинної сировини на сьогодні особливо поширені в Австрії, Німеччині, Фінляндії, Італії, Нідерландах і Великобританії. 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, потрібна лише невелика модернізації для використання RDF - палива, оскільки вони обладнані пристроями для видалення шлаку і летючої золи. В той же час проблеми комерціалізації подібних горючих матеріалів і забруднення навколишнього середовища в процесі їх спалювання залишаються до кінця не розв'язаними.

На Україні прийнятий ДСТУ стандарт EN 15359:2018 Тверде відновлювальне паливо (SRF). Технічні характеристики та класи (EN 15359:2011, IDT). Цей стандарт надає характеристику 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 > 15 МДж/кг. 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.

До переваг SRF/RDF - палива відноситься: тривале горіння; низька зольність; сумісність з традиційними видами палива (вугілля, дрова); низька вартість. Виробництво RDF- палива дозволяє вирішувати одну з ключових екологічних проблем – скорочення площі полігонів для захоронення твердих побутових відходів.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте існуючі схеми збору і видалення твердих побутових відходів.
2. Опишіть закордонний 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 роботоустанції 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. УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ ПЛАСТМАС

4.1 Групи відходів пластмас

Полімерні матеріали знаходять все більше використання, темпи приросту споживання пластиків в глобальному масштабі випереджають темпи зростання попиту на інші матеріали. Починаючи з 60-х років минулого століття, світове виробництво пластмас зросло в двадцять разів з 1960-х років, досягнувши 322 мільйони тонн у 2015 році. Очікується, що обсяг їх виробництва вдвічі збільшиться протягом наступних 20 років.

Полімерні матеріали впевнено витісняють папір, метали і скло зі сфери пакувальних матеріалів, при цьому упаковка - виріб з найбільш коротким життєвим циклом, а тому є головним джерелом поточної генерації побутових відходів. При цьому упаковка - ключова сфера споживання пластиків. Зручність і безпека, низька ціна і висока естетика є визначальними умовами прискореного зростання використання пластичних мас при виготовленні упаковки. З усіх випущених пластиків понад 40 % використовується у якості пакувальних матеріалів.

Це підтверджується такими цифрами: 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%.



Рисунок 51 – Полімерні відходи

Вся множина марок пластмас нараховує близько 10000 назв. Пластики є серйозними конкурентами металу, склу, кераміці. Володіючи унікальними властивостями і відносно низькою ціною, в останні десятиліття вони переважають практично у всіх сферах людського життя. Наприклад, при виготовленні скляних пляшок витрати енергії на 21 % більші від енергетичних затрат на пластмасові вироби.

Разом з тим полімерні матеріали мають два принципових недоліки. По-перше, подавляюча більшість пластиків виробляється з невідновлюємої вуглеводневої сировини, природні запаси якої обмежені. По-друге, вони дуже повільно розкладаються у природі, що приводить до виникнення значної екологічної проблеми - пластиковому забрудненню навколишнього середовища. 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, вони можуть бути проковтнуті тваринами, що призводить до загибелі останніх. 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.

Уже сьогодні у розвинених країнах спостерігається катастрофічне зростання обсягу відходів виробництва та споживання пластмас. Екологічною катастрофою сучасності є забруднення пластиковими відходами вод світового океану. Великий Тихоокеанський смітєвий острів (The Great Pacific Garbage Patch) складається з двох частин. Східний острів знаходиться між Гаваями і Каліфорнією, Західний знаходиться між Японією і Гаваями. Це два з п'яти відомих смітєвих островів у Світовому океані (відеододаток 12). Близько 80 відсотків сміття в Великому Тихоокеанському смітєвому острові переноситься циркулюючими океанічними течіями з Північної Америки і Азії. Джерелом забруднення є відходи узбереж'я і захоплений річками по шляху своєї течії сміття. Пластикове сміття також надходить від суден та нафтових вишок. Підраховано, що понад 8 млн т пластику щороку попадає в океани. Екологічний моніторинг свідчить, що Велике Тихоокеанське смітт'єве пятно постійно

зростає і на сьогодні за площею втричі перевищує площу Франції. Згідно з дослідженням, проведеним в 2015 році, Китай робить найбільший внесок у забруднення океану. Основний шлях утилізації відходів пластмас - це їх повторне застосування.

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 мільярдів 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 4 років тюрми. В Китаї повна заборона була прийнята ще в 2008 році і з того часу кількість пластикових пакетів у загальній кількості відходів скоротилась на 60-80%.

18 країн світу впровадили додаткові збори за використання пластикових пакетів. Це виявилось непоганою альтернативою повній забороні. В Ірландії впровадження податку на пакети знизило їхнє використання на 90%, в Португалії - на 85%. При цьому спостерігається перехід на використання сумок з натуральних тканин.

Щорічно близько 30% обсягу споживаних пластмас переходить у відходи. Полімери довгий час вважалися матеріалами одноразового використання, довгі роки залучення полімерів у повторний цикл корисного використання вважалась не актуальною. Однак разом, зі стрімким розширенням виробництва полімерів, в першу чергу в сферу упаковки товарів, та скороченням тривалості циклу корисного використання пластикових виробів, їх частка в загальному обсязі побутових відходів почала зростати. Це викликало розробку і впровадження як технічних, так і організаційних заходів щодо активного залучення полімерних відходів в повторний цикл використання.

В першу чергу, необхідність утилізації полімерних відходів диктується інтересами захисту навколишнього середовища. Використання відходів полімерів 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 передумови для повторного використання полімерних відходів. Результати економічного аналізу свідчать, що капітальні та експлуатаційні витрати за основними способами утилізації полімерних відходів не перевищують витрати на їх захоронення. Найбільшу складність представляє утилізація відходів споживання населенням пластмас, обсяги утворення яких в 3-4 рази перевищують обсяги утворення промислових відходів.

В цілому відходи пластмас поділяються на 3 види:

- 1) відходи виробництва і переробки;
- 2) відходи виробничого споживання;
- 3) відходи суспільного споживання.

У цьому переліку частка кожного з видів відходів у загальному обсязі зростає від 1 до 4 позиції, наприклад, в Японії перша позиція становить 5, друга - 10, третя - 20, четверта - 65%.

Промислові відходи виробництва, які утворюються при синтезі та переробці термопластичних полімерів - це кромки, висічки, обрізки, литники, облой, дефектні вироби і т.д. У галузях промисловості, що займаються виробництвом і переробкою пластмас, таких відходів утворюється від 5 до 35 %. Вони представляють собою високоякісну сировину і за властивостями не відрізняються від вихідного первинного полімеру. Промислові відходи, на відміну від побутових, характеризуються, як правило, на порядок більш рівним компонентним складом і 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 досить однорідними, малозабрудненими і тому являють інтерес з точки зору їх повторної переробки.

Змішані відходи суспільного споживання накопичуються, в домашньому господарстві, на підприємствах громадського харчування тощо. Обсяги утворення полімерних відходів суспільного споживання в 3-4 рази перевищують обсяги утворення відповідних промислових відходів. Більшість пластиків не можна змішувати при переробці, отже, постає необхідність їх ефективного сортування. Утилізація таких відходів сильно ускладнюється через прагнення виробників пластмас підвищити їх декоративність, привабливість, що пов'язано з введенням до їх складу різноманітних добавок. Переробка ускладнюється у випадках, коли полімерні матеріали забруднені нафтопродуктами, різними технічними рідинами, засмічені металевими скріпками, шурупами, наклейками тощо.

Існує ряд проблем, пов'язаних з утилізацією вторинної полімерної сировини:

- організація збору, сортування та первинної обробки відходів полімерних матеріалів різного складу;
- розробка системи цін на вторинну полімерну сировину, що стимулюють підприємства до створення ефективних способів переробки, а також методів її модифікації з метою підвищення якості;
- необхідність застосування спеціального обладнання для утилізації полімерів;
- розробка номенклатури виробів, які доцільно виробляти з вторинної полімерної сировини.

Найбільш часто переробляються у якості вторинної сировини відходи наступних термопластичних полімерів:

1. Поліетилентерефталат (ПЕТ) являє собою складний термопластичний поліефір терефталевої кислоти і етиленгліколя. В СРСР полімер поліетилентерефталат і отримуємо з нього волокно називали лавсаном, на честь місця розробки - лабораторії високомолекулярних сполук Академії наук. Аналогічні волоконні матеріали, що виготовляються в інших країнах, отримали назви: терілен, дакрон, тергал, поліестер, мелінекс, майлар тощо. Продукт поліконденсації етиленгліколю з терефталевою кислотою - це тверда, безбарвна, прозора речовина в аморфному стані і біла, непрозора у кристалічному стані. При нагріванні до температури склування поліетилентерефталат переходить в прозорий стан і залишається в ньому при різкому охолодженні. 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. Фізичні властивості ПЕТ роблять його ідеальним матеріалом для використання в різних сферах: виготовлення тари (пляшок), волокон, деталей машин. Методом екструзії з ПЕТ виготовляють термоусадочні і багат шарові 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.

2. Поліетилен високого тиску (ПВТ) - сировина для виготовлення плівок та пакетів.

3. Поліетилен низького тиску (ПНТ) - полімер, що використовується, переважно, для виробництва пляшок та пакетів для молочних продуктів, косметичних засобів (шампуні), кришечок від пляшок, одноразового посуду, контейнерів для продуктів харчування, іграшок.

4. Полістирол (ПС) - полімер, з якого отримують одноразовий посуд, стаканчики для йогуртів, упаковку, іграшки, теплоізоляційні та пакувальні пінопластові вироби.

5. Поліпропілен (ПП) - пластик, з якого виготовляють бампери, корпуси акумуляторів, деякі деталі двигуна, блоки запобіжників, деталі салону, і кузова автомобілів, кришки пластикових пляшок.

6. Полівінілхлорид (ПВХ) - полімер, з якого виробляють лінолеум, металопластикові віконні профілі, меблі, штучну шкіру, плівки для натяжних стель, труби, ізоляцію дротів та кабелів.

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 волокна (з яких більша частина – поліефірні, ПЕТ). На практиці відходи полімерів переважно представлені використаною пластмасовою тарою, виготовленою з поліетилентерефталату і поліолефінів - поліетилену, поліпропілену, полістиролу. При наявності великих обсягів вихідної сировини, розсортовані за видами полімерів, відходи пластмасової тари є цінною сировиною для отримання вторинних пластиків. В той же час термореактивні пластмаси утилізувати складно і їх відходи переважно спалюють або захороняють.

Технічним моментом, що перешкоджає нарощування рециклінгу полімерів, є проблема змішаної сировини. Велика частина відсортованих з твердих побутових відходів полімерних матеріалів є сумішшю полімерів різних типів, міжвидова сепарація яких часто є надзвичайно складною і не виправданою економічно. Так, якщо рівень рециклінгу полімерів взагалі становить 14%, то у пляшкового ПЕТ він доходить до 55%. Це пов'язано з тим, що пластикові пляшки є зручним і легким об'єктом для попереднього сортування і організації індивідуального технологічного ланцюга переробки. Проблема сумішевих пластикових відходів призводить до того, що повністю замкнутих циклів, тобто коли полімерні відходи повертаються в початкову точку того процесу, в результаті якого вони були вироблені, дуже небагато. Так, для відходів полімерної упаковки це лише 2% від усього обсягу. Ще 8% вторинних полімерів направляється на виробництво інших виробів, як правило, з більш низькими споживчими властивостями. Хрестоматійний приклад - використання вторинного поліетилентерефталату з пляшок для виробництва одягу з текстилю на основі вторинних поліефірів.

Найвища доля утилізації 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 було використано у внутрішньому виробництві, а поставлялося у Китаї. Яскравим прикладом є також Японія, де утилізацію проходить більше 80% пластикових відходів. Хоча тут важливо відзначити, що у виробничий цикл у вигляді полімерних форм повертається 22% відходів, і ще 4% у вигляді хімічної сировини. Основна ж маса полімерних відходів витрачається на виробництво теплової енергії.

В більшості випадків вирішення питань, пов'язаних з утилізацією полімерних відходів є затратною технологією. Вартість обробки і знищення відходів пластмас приблизно в 8 разів перевищує витрати на обробку більшості промислових відходів і майже в 3 рази - на знищення 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 вугіллям, і подачу необхідного для горіння повітря.

У деяких випадках відходи полімерів не можна переробити у вторинний гранул або композиційні 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. Найбільш раціональними методами утилізації відходів в подібних випадках є термічні методи. Тому важливою характеристикою відходів пластмас є їх енергетична цінність. За теплою згоряння пластмаси близько до викопних палив - природного газу, нафти, кам'яного вугілля.

Полімери допускається спалювати у спеціальних печах, обладнаних фільтрами, що очищають шкідливі гази. 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 дуже ускладнюється. Спалювання вимагає високих затрат, які на сьогоднішній день не можуть бути компенсовані доходами, 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. Досвід спалювання пластмасових відходів в доменному виробництві на сьогодні накопичено в Німеччині. В той же час, більшість фахівців вважають спалювання відходів полімерних матеріалів марнотратним витрачанням сировини, яка може стати цінною якісною основою для виготовлення нових виробів.

Серед методів утилізації відходів полімерних виробів найбільше розповсюдження знаходить механічний рециклінг. Ця технологія включає подрібнення полімерних відходів, відмивання та, при необхідності, вторинне сортування, наприклад, за видами полімерів, кольором тощо.

У світовій практиці утилізації пластмас також застосовують технології хімічного рециклінгу, який являє собою деполімеризацію і/або деструкцію пластикових відходів з метою отримання їх 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 на роботу з

відходами, що втратили первинні властивості або ж є неможливим їх переробка іншими способами.

До методів хімічного рециклінгу відносяться піроліз, газифікація, гідрокрекінг, каталітичний крекінг тощо. Хімічний рециклінг дозволяє здійснити повернення ресурсів в той же виробничий цикл, в результаті якого утворився первинний вироб. Має місце розширення застосування технологій піролізу полімерних матеріалів, які на виході дають синтетичну нафту або синтетичний горючий газ. Піроліз відходів полістиролу, який проводиться при 700-800°C, забезпечує вихід стирулу 75-85%.

4.2 Технологія утилізації відходів пластмас

У світі вторинна переробка полімерних матеріалів вважається низькорентабельною і її першочерговою задачею є недопущення забруднення навколишнього середовища. В даний час відбувається активне вдосконалення технології переробки відходів полімерних матеріалів. При цьому досягається значний економічний ефект від вторинної переробки завдяки поліпшенню екологічних показників навколишнього середовища, дешевизни сировини, простоти технології та економії енергії. У Західній Європі кожна третя ємність виготовляється з вторинного ПЕТ - продукту переробки побутових відходів. Світовим лідером по утилізації пластику є Норвегія, де працює ряд сучасних переробних підприємств, на які на утилізацію 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.

Значну частину відходів складають пляшки з поліетилентерефталату, які були у вживанні, та використаний одноразовий посуд з поліпропілену. Відходи побутової ПЕТ-тари представляють величезну проблему для навколишнього середовища, так як для їх розкладання у природних умовах необхідно понад 100 років. В даний час в світі відбувається щорічне зростання більш ніж на 25% виробництва ПЕТ – тари. За 2016 рік підрозділи компанії «Кока-Кола»

виробили на один мільярд більше пластикових пляшок, ніж в попередній рік, а весь об'єм випуску складає понад 110 мільярдів штук. На долю цієї компанії припадає 59% світового випуску одноразових пляшок. За статистичними даними, з них на вторинну переробку надходить лише 7%, інші повільно розкладаються на звалищах, згорають в сміттєспалювальних печах або забруднюють водойми.

Європейські країни широко стимулюють населення і виробників до утилізації пласмасових пляшок. Наприклад, уряд Норвегії обкладає екологічним податком всіх виробників пластикових пляшок. Чим більше вони утилізують 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. Крім того у вартість товару окремо включається вартість пляшки - націнка (в перекладі на гривні - від 3 до 8 грн, в залежності від розміру), яку споживач зможе повернути, коли здасть пляшку у спеціальний автомат. Автомат приймає пляшку і видає споживачеві або готівкові гроші, або чек, який в торгових точках можна обміняти на гроші.

Щомісяця в Україну завозиться до 50 тис. т сировинного ПЕТ-грануляту. Основна частка цієї маси матеріалу у вигляді пляшок,плівок і пакувань потрапляє на прилавки магазинів, а далі ця маса у вигляді відходів відправляється для захоронення на звалища. На сьогодні сумарні потужності України з переробки ПЕТ відходів складають до 1 тис. т в місяць.

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 такої утилізації. Корективи вносить те, що витрати на збір і переробку відходів з пластику у нашій країні у кілька разів нижчі, виходячи з фактичної різниці у заробітній платі і вартості енергоресурсів.

Найбільш поширеною є утилізація полімерів на основі переробки відходів, які отримані від роздільного збору вживаних ПЕТ-пляшок. Цей метод утилізації отримав широке поширення за кордоном і розвивається в Україні. У деяких містах є вдалий досвід роздільного збору побутових відходів: сортуванням ПЕТ-пляшок займаються дворники за договором із заготівельниками. Такий спосіб заготівлі є найбільш перспективним, оскільки забезпечує високу чистоту зібраного матеріалу. Також збирають ПЕТ-пляшкина полігонах твердих побутових відходів.

Первинне сортування ПЕТ-пляшок проводять у приймальних пунктах і на сміттесортувальних заводах, а також на звалищах. Ідентифікація пляшок, як правило, не викликає труднощів, бо 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.

Зібрані пляшки для зручності транспортування спресовуються в тюки, які далі відправляються на переробку (рис.45). 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. Доцільно використовувати спеціальні преси з вбудованими «шипамі» на пресовій плиті.

Повторному використанню відходів термопластичних полімерів, як правило, передуює переробка, пов'язана з їх подрібненням і гранулюванням. 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 види, оскільки він може бути застосований в подальшій переробці з виробництвом виробів - від волокон і текстилю до тари і геосинтетичних матеріалів. Вторинна сировина з термопластів повинна мати відповідний гранулометричний склад.

Найбільш поширений спосіб утилізації 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, проходять повітряну сепарацію, миються у спеціальних ваннах із застосуванням лужних розчинів і миючих засобів, флотуються, ополіскуються та висушуються. 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.



Рисунок 52 - Обв'язані дротом тюки з спресованих пляшок з ПЕТ перед відправкою для утилізації

Розглянемо технологію переробки ПЕТ-пляшок та інших полімерних відходів у чисті пластівці.

Виробнича лінія складається з наступних основних секцій:

1. Секція сортування. Зазвичай 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. Найвища закупівельна ціна встановлюється на прозорий флекс, а найнижча - на коричневий, оскільки продукції з прозорого флексу можна надати будь-який колір.

Длякінцевого сортування сировини після подрібнення використовуються методи флотації, поділу у важких розчинах, повітряної сепарації, електросепарації, обробки органічними розчинниками тощо.

2. Секція подрібнення. Стадія подрібнення відходів є обов'язковою і найбільш відповідальною при переробці відходів пластмасових виробів. Часто від якості подрібнення залежить можливість подальшої переробки відходів у нові вироби.

В даний час на ринку представлена значна кількість різних типів обладнання для подрібнення відходів пластмас. При виборі того чи іншого типу враховують: вид і характер пластмасових відходів, з розміри і кількість, необхідна ступінь подрібнення і кінцевий розмір дробленого 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 полімерів є застосування шредерів (англ.shredder - подрібнювач), на горизонтальних осях яких закріплюється набір ножів (рис. 53 – 54). Матеріал, який підлягає подрібненню, засипається в завантажувальний бункер. Вали з ножами здійснюють зустрічний рух і тим самим відбувається захоплення матеріалу,

проходячи через ножі матеріал піддається різанню, або руйнування і далі подрібнений матеріал випадає з робочої зони для подальшої утилізації (відеододаток 13).



Рисунок 53 - Подріблення полімерних матеріалів на шредері

Шредери призначені для подрібнення відходів пластмасових виробів: ящиків, корпусних деталей, ПЕТ пляшок, корпусів акумуляторів, листів, каністр, пінопласту, дрібних і середніх відходів лиття, плівки.



Рисунок 54 - Зовнішній вигляд ріжучої частини шредера

Крім шредера для подрібнення полімерів використовуються роторні дробарки (рис.55). 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, у середині корпуса подрібнювача матеріал ефективно подрібнюється і викидається з дробарки.

Мокрий роторний подрібнювач, призначений для дроблення пляшок в пластівці і одночасно виконує функцію попередньої мийки.

Складність виникає у 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.

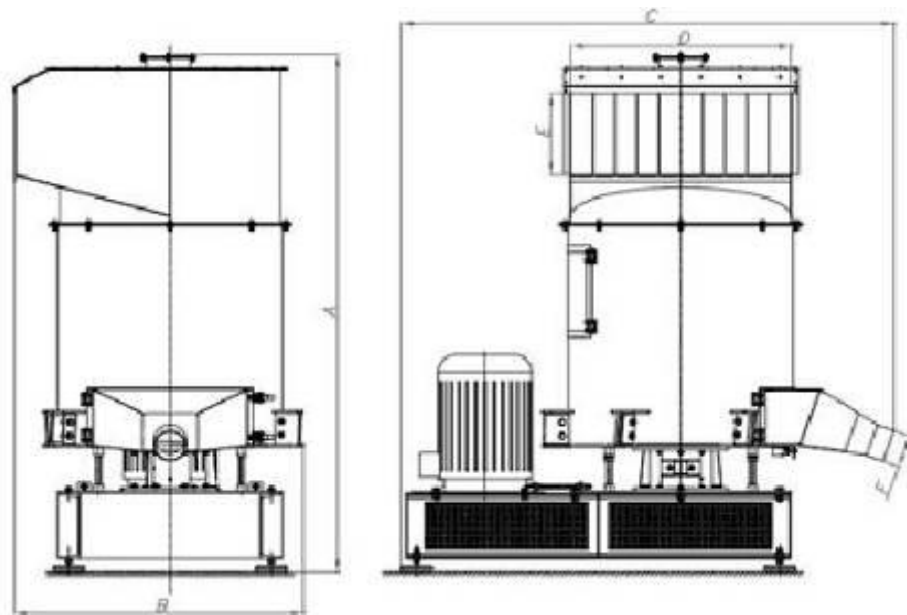


Рисунок 55 - Дробарка з вертикальною віссю обертання ротора

Особливе місце серед способів подрібнення пластмас займають криогенні технології, що застосовуються для подрібнення складноподрібнюємих 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, а потім подають на подрібнення.

Подрібнені пластівці (флекс) поступають у центрифугу, яка видаляє вологу. Від центрофуги 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. 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. Принцип роботи фрикційної мийки: за рахунок обертання шнека в заповненій водою ванні частки полімерного матеріалу переміщуються по довжині ванни і очищаються за рахунок тертя своїх поверхонь одна об одну, а також по поверхні шнека і ванни (рис.56). Для ефективного відмивання жирових включень в воду нагріту до 95⁰С додають каустичну соду та миючі засоби.



Рисунок 56 - Фрикційна мийка

Ванна мийки флотаційного типу призначена для сепараційного розділення різних полімерних матеріалів. Принцип поділу заснований на різниці поверхневого натягу на кордонах «повітря - полімер – вода» у різних видів полімерів, яка створюється підбором реагентів 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. Рух частинок полімерів по довжині флотаційного ванни, перемішування і змочування відбувається за рахунок обертання барабанів (рис.57). В ємності, яка заповнена водою, видаляються поліпропіленові кришечки і інші включення з матеріалів щільністю нижче 1 г/см³.



Рисунок 57 - Флотаційна установка

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.

З метою збільшення ефективності розділення використовують водні розчини поверхнево - активних речовин, що змінюють змочуємість полімерів і поверхневий натяг на кордонах «повітря - полімер – вода». Ефективне розділювання відходів різних пластмас досягається при послідовному проведенні флотації в сольових розчинах різної щільності. Далі пластівці проходять просушування у центрифугі, або нагрітими повітряними потоками і подаються на пакувальну станцію для фасування (рис.58).



Рисунок 58 – Товарні ПЕТ – пластівці (флекс)

4. Секція грануляції. Чисті пластівці уже є самодостатнім матеріалом, який може реалізуватися. Але для підвищення чистоти, якості і ціни сировини, а також з метою використання матеріалу на обладнанні, що технологічно не може працювати на пластівцях, пластівці піддаються грануляції (рис. 59). Лінії грануляції, які призначені для отримання вторинної сировини у вигляді, побудовані на явищі екструзії. Екструзія - це безперервний процес виробництва виробів і напівфабрикатів потрібної форми, який здійснюється шляхом продавлювання розплаву полімерного матеріалу через отвори у фільтрній головці (відеододаток 14).

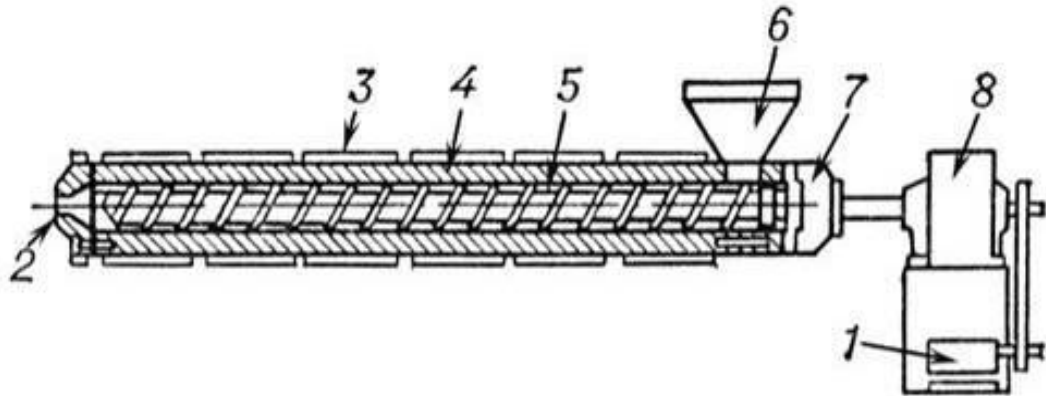


Рисунок 59 - Вторинні гранули полімерного матеріалу

В процесі екструзії вихідний термопластичний полімерний матеріал через завантажувальний пристрій надходить в циліндр і переміщується в осьовому напрямку в спіральному каналі шнека, утвореному внутрішньою поверхнею циліндра екструдера і спіральною нарізкою на поверхні обертаючогося шнека (рис.52 - 53). Завдяки виділенню тепла при терті і переміщенні полімерний матеріал розплавляється. Оскільки для розплавлення завантажених пластівців необхідний короткий проміжок часу, термодеструкція полімеру не відбувається 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 ковзаючими вздовж фільтрної плити ножами. 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 $50 \dots 300 \text{ кг/м}^3$ (відеододаток 15). 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).



1 - двигун; 2 - екструзійна головка; 3 - нагрівач корпусу; 4 - корпус; 5 - шнек;
6 - завантажувальний пристрій; 7 - упорний підшипник; 8 - редуктор.

Рисунок 60 - Схема одношнекового горизонтального екструдера.



Рисунок 61 - Лінія грануляції термопластичних полімерів

Агломератори призначені для подрібнення, відмивки, 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 в

кульки неправильної форми за рахунок термічного впливу. Розмір отриманого агломерату складає 0,5 - 5,0мм в діаметрі (рис.62).

Відходи плівки завантажуються через завантажувальне вікно в робочу камеру. 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 перероблюємім пластик досягає консистенції злиплої кашоподібною густої маси, оператор подає порційно воду. Під дією води маса агломерату розділяється на окремі частини та охолоджується, деякий час маса сушиться і потім вивантажується у підготовлену тару.



Рисунок 62 – Полімерний агломерат

Без попереднього розділення переробляють відходи термопластів вальцово-каландровим методом. Метод полягає в вальцюванні і каландруванні матеріалу та отриманні плит і листів, які можуть бути використані для виготовлення лінолеуму, тари. Зразки виробів надходять на вальці з температурою 150...160°C, на яких відбувається їх пластикація і гомогенізація протягом 20...30 хв. Як приклад, можна привести переробку відходів пластифікованого ПВХ. Отримані листи використовують для виготовлення плиток для підлоги. Пластикація і гомогенізація матеріалу забезпечують отримання виробів з досить високими показниками міцності.

4.3 Приклади застосування вторинних пластмас

Дослідження вторинного грануляту ПЕТ свідчать про те, що його вязкотекучі властивості практично не відрізняються від властивостей первинного ПЕТ, тобто його можна переробляти при тих же режимах екструзії і лиття під тиском, що і первинний ПЕТ. При цьому необхідно враховувати, що механічні характеристики і зовнішній вигляд виробів з вторинних пластмас, як правило, гірші, ніж з первинних. Це пов'язано зі зниженням молекулярної маси пластмас, більшою розгалуженістю структури їх макромолекул тощо. Зазвичай вміст сировини з відходів в суміші з товарним продуктом не повинен перевищувати 20%, оскільки у випадку більшого вмісту вторинної сировини погіршується глянець поверхні виробів, утворені поверхні характеризуються підвищеною шорсткістю.

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. У багатьох випадках відновлені пластмаси є сировинним матеріалом за найкращою ціною. Використання відходів полімерів дозволяє істотно економити первинну сировину (перш за все нафту) і електроенергію.

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 FIATauto, що переробляє бампери автомобілів, що відслужили свій строк, у патрубки та килимки для нових машин.

Кожен вид вторинних пластиків використовується для отримання певних пластмасових виробів. 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%. Введення в полімерну композицію пластифікаторів, стабілізаторів, наповнювачів дозволяє збільшити цю цифру до 40...50%. Це підвищує фізико-механічні характеристики виробів, проте їх довговічність (при експлуатації в жорстких кліматичних умовах) становить 60...75% від довговічності виробів з первинного полімеру.

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 будівельних опалубних конструкцій, відер, каркасів світильників, а з поліпропіленових відходів - в текстильні шпулі, деталі сантехніки, ручки для меблів, ящики (рис. 63).

З вторинної 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. Бандажна стрічка з вторинного ПЕТ призначена для фіксації вантажів може конкурувати з стрічками з поліпропілену і сталі. Вторинний ПЕТ активно використовують для виробництва канатів, промислового текстилю для виготовлення матраців, автомобільних сидінь, спортивних сумок, рюкзаків, шнурків, спортивного взуття, автомобільних повітряних фільтрів, а також килимів тощо. Ефективно одержувати з вторинного ПЕТ синтепон - матеріал для утеплення зимового одягу та спальних мішків, наповнювачів для м'яких іграшок, спортивних товарів. Близько третини вторинного ПЕТ використовується для виготовлення волокна для килимів, синтетичних ниток, одягу і геотекстилю (відеододаток 16).



Рисунок 63 - Приклади застосування геотекстилю

Широке застосування знаходять вторинні полімерні матеріали для виготовлення звукоізоляційних плит і панелей, герметиків, що застосовуються у будівництві. Фірма Reluma (Німеччина) виробляє із вторинного пластику берегові дамби для захисту від розмивання узбережжя на Балтиці. Раніше такі захистні елементи виготовляли з деревини, але їх швидко роз'їдали молюски. В цьому випадку пластмаса продемонструвала значно вищу довговічність.

Геотекстильне полотно (підкладка, утеплювач) - це високоміцне полотно з нетканого текстилю на полімерно-волоконній основі з пробитими дрібними отворами. Геотекстиль є матеріалом, який вільно пропускає повітря і воду. Матеріал має високу біологічну, термічну, хімічну і механічну стійкість до впливу навколишнього середовища. Геотекстиль знаходить широке застосування в дорожньому і гідротехнічному будівництві, транспортній та інженерно-комунікаційній галузях, територіальному благоустрою та ландшафтному дизайні, промисловості і сільському господарстві. Геотекстиль легкий і міцний матеріал, він виготовляється різної щільності і колірної окраски. Геотекстиль широко застосовується у випадках штучного озеленення територій. 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 перемішуванню шарів бідного місцевого і привезеного гарного ґрунту, а також запобігти вимивання гумусу, між цими шарами укладають геотекстиль. 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 для укриття рослин, оскільки він захищає як від морозів, так і від сонячних опіків, пропускає крізь себе повітря, не розкисає і не піддається гноїнню.

Один з методів отримання будівельних виробів полягає в гарячому пресуванні суміші відходів пластмас і піску в співвідношенні 1: 1. Пісок просіюють, нагрівають до 500°C, додають до подрібленої суміші полімерних відходів, змішують при 150°C протягом 25 хв. Далі підготовлену пластичну масу пресують або піддають екструзії. Для поліпшення зовнішнього вигляду в композицію на стадії змішування додають пігменти. Отримувані вироби - водостійкі будівельно-оздоблювальні матеріали з високими естетичними і споживчими властивостями: черепиця, облицювальна плитка, тротуарна плитка, а також інші вироби народно-господарського використання. Такі матеріали мають достатні показники міцності і мають високу стійкість до стирання. Полімерно-піщана продукція має меншу щільність за аналогічні керамічні та цементні вироби, більш волого- і морозостійка, еластична. Застосування полімерно-піщаної черепиці суттєво спрощує та здешевлює виготовлення покрівель у порівнянні з керамічним матеріалом.

Відмінною заміною старих важким металевим каналізаційним люкам є полімерно - пісчані люки. Вони не піддаються корозії, морозо- і теплостійкі, а також мають легку вагу. Перевагою таких люків є можливість вибір будь-якого забарвлення, що дозволяє гармонійно доповнити існуючий ландшафт або навіть поліпшити його.

Будівельні матеріали також можна отримувати шляхом змішування у цементному розчині продуктів утилізації виробів з поліетилену чи поліпропілену, які подрібнені до гранулоподібного стану, з подальшим розливанням маси у форми. Виготовлені таким чином елементи будівельних конструкцій мають 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. УТИЛІЗАЦІЯ ГУМОВИХ ВИРОБІВ

Світовий ринок гумовмістних відходів (натуральних і синтетичних) поділяється: зношені шини та гумові вироби. Загальносвітові запаси зношених автомобільних шин – ключового сегменту гумових відходів - складають близько 25 млн. т, а щорічний приріст становить не менше 7 млн. т. Відповідно до прогнозу, в найближчі роки проблеми утилізації гумовмістних відходів будуть лише поглиблюватися.

В Україні проблема утилізації старих покришок ускладнюється ще й тим, що з країни ЄС поступають на український ринок частково відпрацьовані покришки, і таким чином, на нас перекладаються європейські екологічні проблеми. Зношені шини є одним із значних джерел забруднення навколишнього середовища оскільки:

- мають дуже тривалий період біологічного розкладання;
- є вогнебезпечним, хоча і не легкозаймистим матеріалом, але в разі загоряння гасити пожежу досить важко;
- при складуванні у шинах накопичується вода, що робить їх ідеальним місцем для розмноження гризунів і комах, переносників інфекційних захворювань;
- контакт шин з дощовими опадами і ґрунтовими водами супроводжується вимиванням у ґрунт ряду токсичних органічних сполук.

У різних країнах докладаються значні зусилля до розробки екологічно чистих технологій і обладнання для утилізації гумотехнічних відходів. Обсяги переробки і використання зношених шин за кордоном складають від 87% у Японії, у Німеччині - 50%, до 20...30% у США. По Україні утворюється близько 150 тис. тон в рік зношених шин, які переважно викидаються на звалища. В той же час, будучи у вживанні шини являють собою цінну вторинну сировину, що містить до 60% каучуку, 25...35% технічного вуглецю, до 17% сталюого дроту (рис. 64).

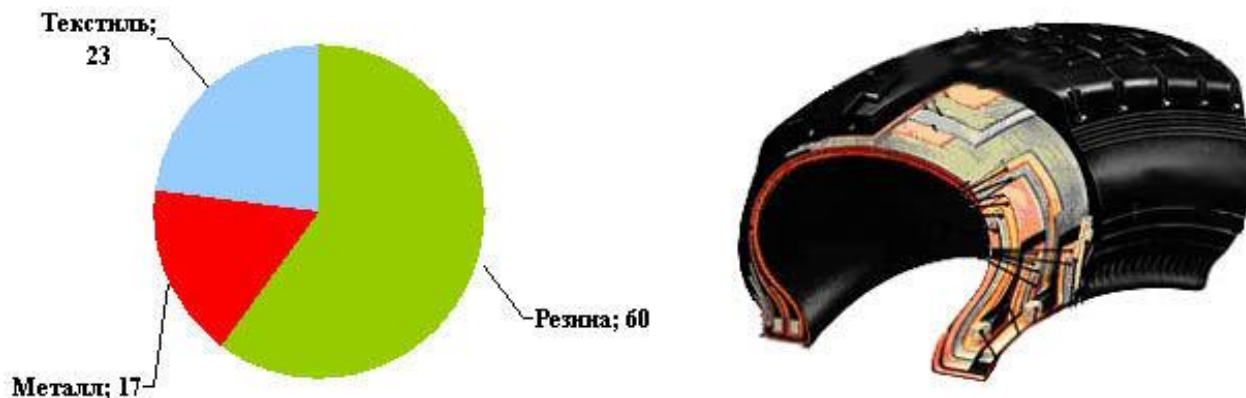


Рисунок 64 - Усереднений хімічний склад автомобільної шини

На відміну від термопластичних полімерів утилізація гумових виробів є ускладненою. Це пов'язано з тим, що гума є термореактивним матеріалом, який характеризується високою еластичністю та ускладненою подріблюєстю.

Одним із шляхів подовження терміну експлуатації шин є відновлення - капітальний ремонт, при якому оновлюється протектор шини, з метою продовження терміну їх експлуатації. В останнє десятиліття ХХ століття в Україні промисловість відновних ремонтів шин шляхом нанесення нового протектора практично перестала існувати. В першу чергу це пов'язано з тим, що зник дефіцит нових шин, а також тому, що відновлені шини мають нижчу надійність.

Незначна частина зношених шин використовується у якості кранців в морських і річкових портах, як бортові демпфуючі елементи морських буксирів та на ігрових майданчиках. Також шини можуть використовуватися як кріплення укосів, стабілізаторів ґрунту в дорожньому будівництві, як дренажний шар для захисту річкового або морського узбережжя. Застосування зношених шин для цих цілей є обмеженим і лише в незначній мірі пом'якшує проблеми утилізації зношених шин.

У 80-х роках біля середземноморського узбережжя Франції на 30-метровій глибині було затоплено понад 22 тисячі автомобільних покришок з метою створення штучного рифу. Цей захід був спрямований на створення привабливого середовища для морських мешканців. У підсумку з'ясувалося, що риби намагаються уникати цього місця, оскільки шини у морській воді стали розкладатися, виділяючи при цьому важкі метали та токсичні речовини. В

результаті було визнано даний експеримент не вдалим і прийнято рішення про ліквідацію цього гумового рифа.

Для утилізації гумових виробів, переважно автомобільних шин, на даний момент знайшли розповсюдження механічний і термічний методи. У глобальному масштабі утилізація гумовмістних відходів здійснюється наступним чином: від 3 до 15% використовується у виробництві нової гумової продукції, 5 - 23% знаходить інше застосування (наприклад, , використовуючи гумову крихту у дорожньому будівництві), від 20 до 30% захоронюється на полігонах. Значна частина гумовмістних відходів спалюється з отриманням теплової енергії, що широко затребувана на енергомістких виробництвах (у цементній промисловості та на целюлозно - паперових комбінатах). В окремих країнах доля рекуперованої енергії з шинних відходів сягає до 60%. Наприклад, в Японії та Бразилії спалюється до 70% зношених шин, у Європі - близько 40%.

5.1 Утилізація гуми шляхом спалювання

Спалювання (термодеструкція) великої кількості шин має історичні причини. Десятиліттями спалювання шин розглядалося як недорогий спосіб отримання енергії. Теплотворна здатність гуми становить 32 ГДж / т, що відповідає характеристикам вугілля високої якості. При спалюванні однієї шини від легкового автомобіля виділяється кількість енергії, рівноцінна одержуваній від спалювання 3 л нафти.

Ряд недоліків спалювання шин лежить в самій природі даного методу. Процес спалювання сприяє посиленню парникового ефекту. Так, в процесі згорання 1 т шин утворюється близько 3700 кг вуглекислого газу. Високий вміст сірки у гумі (до 2%) ускладнює очистку продуктів горіння. Крім того, при горінні гумових шин в атмосферу виділяється велика кількість кіптяви з високим вмістом різноманітних небезпечних для здоров'я людини вуглеводнів. У процесі горіння гуми утворюються небезпечні для здоров'я канцерогенні органічні сполуки пірен, фенантрен, антрацен, флуорантен, біфеніл, флуорен, аценафтен, бенз[а]антрацен, бенз[а]пірен, дібензоантрацен, бутадієн, стирол,

діоксин, фуран, флуорентан та інші. Небезпека кожної з цих органічних речовин підвищується при їх спільній дії на людину.

Продукти грубого подрібнення шин можуть додаватися у кількості до 10% до низькокалорійних палив для підвищення їх теплотворної здатності. Існують приклади часткової заміни палива (мазут і вугілля) на зношену гуму у цементній промисловості. Спроби рентабельного спалювання зношених шин на теплоелектроцентралях не знайшли широкого розповсюдження, оскільки установки по спалюванню використаних шин мають бути забезпечені дорогим устаткуванням для обмеження викиду шкідливих речовин в атмосферу. Необхідність значних капіталовкладень для установки фільтрів знижує економічну ефективність використання зношених автопокришок у якості енергоносія. Таким чином, втрачається економічна перевага від використання зношених автомобільних покришок у вигляді дешевого палива порівняно з іншими методами їх переробки.

Кількість використовуваних у якості палива автомобільних шин у виробництві цементу також технологічно обмежена. Застосування у цементному виробництві для спалювання значної кількості зношених шин негативно відбивається на якості і кольорі отриманого цементу. На сьогоднішній день залишається не розв'язаним питання щодо екологічної шкоди від спалювання в цементних печах старих автомобільних шин.

По відношенню до рівня споживання природних горючих матеріалів, отримання теплової енергії шляхом спалювання усіх наявних старих використаних шин, може відігравати незначну роль і є економічно маловигідним способом утилізації. Посилення вимог екологічного законодавства у галузі 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 утилізації ніж спалювання.

5.2 Переробка гуми в крихту

Зношені шини тривалий час вважалися матеріалом, який неможливо використовувати повторно, оскільки вони є комплексним з'єднанням різних матеріалів. Також, не представлялося можливим так переробити гуму зі складу зношених покришок, щоб вона могла використовуватися як вторинний матеріал. Утилізація зношених шин має включати їх розділення на складові компоненти (гуму, сталь, текстиль) і подальшу обробку з метою одержання нових матеріалів.

Основним напрямком переробки відходів гумотехнічних виробів на сьогоднішній день є їх подрібнення і сепарація з отриманням гумової крихти. Даний метод вважається відносно безпечним з точки зору екології і широко застосовується в світі. Основна перевага переробки подрібненням зношених автомобільних шин у кінцевий продукт по відношенню до інших методів утилізації полягає у тому, що в одержаних гранулах і пилу зберігаються основні фізичні і хімічні властивості гуми. Для подрібнення гуми застосовують окремо або у комбінації наступні методи: ударної дії, вибухової дії, стирання, стиснення, стиснення із зсувом, різання. Переробка шин за допомогою подрібнення - найбільш простий і досить поширений метод.

Переробка подрібненням включає наступні операції:

- первинне руйнування покришок до крупності менше 100 мм за допомогою роторної ножової дробарки чи шредера (відеододаток 17). Утворений при такому подрібненні продукт носить назву чіпси;
- вторинне дроблення до крупності менше 20 мм за допомогою двороторної ножової дробарки;
- руйнування зв'язків гума-металокорд-текстильний корд у високошвидкісний молотковий дробарці - ударно-імпульсному дезінтеграторі;
- просіювання з відділенням текстильного корду;
- магнітна сепарація;
- додаткове подрібнення крупних гумових фрагментів між вальцями;
- розсіюванням на класи крупності.

Переробка гуми за допомогою подрібнення зберігає технологічні властивості вихідного матеріалу. Подрібнення має значну перевагу у порівнянні зі спалюванням шин у відсутності утворення токсичних викидів. Мінусом даного методу є висока собівартість кінцевого продукту, так як подрібнення шин вимагає спеціального устаткування і вважається малопродуктивним та енергомістким способом переробки. Для подрібнення гумових виробів потрібні витрати до 1000 кВт/год електроенергії на 1 тону сировини, що переробляється. Швидке зношування різального інструменту з інструментальної сталі разом з низькою продуктивністю призводить до високої вартості отриманої гумової крихти. При застосуванні даного методу досягається видалення при послідуєчій магнітній сепарації лише 50...70% корду, при цьому отримують корд, який забруднений залишками гуми. Переробка зношених шин при температурах вище 0°C вимагає застосування устаткування з високотносостійкими ріжучими елементами і багатостадійного очищення гумової крихти від металу і текстильного корду. Досвід експлуатації різних типів устаткування свідчить, що подрібнення при позитивних температурах є достатньо економічно вигідним та найменш енергоємним процесом.

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.

Подрібнення при низьких температурах значно зменшує енерговитрати на обробку, покращує відділення металу та текстилю від гуми, підвищує вихід гуми. Визначальним для криогенної технології переробки шин в крихту є охолодження матеріалу нижче температури крихкості перед подрібненням. Для гуми в залежності від її складу даний температурний інтервал знаходиться в межах -60...-120°C. Характер подрібнення охолодженої гуми є схожим на руйнування кристалічних мінералів. коли в процесі подрібнення не протікає еластична деформація. При цьому робота на руйнування гуми знижується в

2,0...2,5 рази. В якості холодоагенту в більшості випадків застосовується рідкий азот з температурою -196°C у кількості 0,4...3,0 кг на 1 кг отриманої гумової крихти. Охолоджена гума потрапляє в роторно-лопатковий подрібнювач, звідки вона направляється на повторну очистку в магнітний сепаратор і аеросепаратор, де відбирається гумова крихта розміром менше 1,0...0,5 мм. При температурі нижче за температуру окрихчування гума втрачає свої еластичні властивості та набуває крихких властивостей. Таким чином, технологія кріогенного подрібнення зношених автомобільних шин дозволяє одержати тонкодисперсний гумовий порошок. При необхідності отримання у великих кількостях гумового пилу з розміром частинок менше 0,315 мм базовим може бути лише кріогенний метод. При цьому процес подрібнення протікає у три стадії:

- попереднє подрібнення зношених автомобільних шин до шматків розміром 50...150 мм;
- подрібнення до отримання крихти розміром 6...10 мм;
- охолодження і тонкодисперсне подрібнення в кріогенних умовах.

Оскільки окрихчування при охолодженні є зворотним процесом, то гума при кімнатній температурі знову повертає свої еластичні властивості. Таким чином властивості кінцевого продукту відповідають початковому матеріалу. Крім того, застосування такого процесу дозволяє досягнути більш повного розділення (до 99,9%) гуми, металу і текстильного матеріалу при утилізації зношених шин, що підвищує економічну ефективність процесу і покращує екологічні показники переробки. При цьому виключаються пожежо-небезпечні ситуації, оскільки подрібнення відбувається в середовищі азоту.

При переробці шин кріогенним способом основним недоліком є підвищені енергетичні витрати на одержання рідкого азоту - від 2500 до 3000 кВт·год для переробки 1 т покришок, які, як правило, перекриваються економією від зниження енерговитрат на руйнування гуми. Вартість заморожування 700 кг шин складає від 80 до 100 доларів.

Подрібнення гумових виробів спрощується в атмосфері озону. Для реалізації технології використовують спеціальні камери, в яких автопокришки

або їх фрагменти піддають одночасно впливу дії озону і деформації. Озон сприяє руйнуванню структури гуми, полегшуючи подальше подрібнення покриття механічними методами. В результаті зі старої шини виходить чиста гумова крихта і метал, які легко розділяються.

Незважаючи на ряд переваг озонного методу, необхідно відзначити істотні недоліки: технологічну складність процесу отримання озону, його високу токсичність, вибухонебезпечність. Крім того для вторинного матеріалу характерні незадовільні показники по формі і стану поверхні частинок. Крім того, зруйнована озоном гума частково змінює свої початкові властивості. Виникає необхідність рекуперації відпрацьованого озону, так як його підвищена концентрація в повітрі негативно впливає на стан здоров'я працівників.

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 металевго корду, а через отвори виходить дрібна гумо - тканинна крихта з високорозвиненою поверхнею. По закінченню циклу обробки металокард виймається з пресової камери у вигляді спресованого брикету. При додатковій обробці гумової крихти в екструдері-подрібнювачі отримують тонкодисперсні гумові порошки з фракції до 0,2 мм з відокремленням текстильного корду.

Лінії переробки покриттів при підвищених температурах працюють при температурах, за яких у гумі починається руйнування міжмолекулярних зв'язків. Наприклад, для ізопренових гум технологічна температура початку деструкції складає близько 140°C. Руйнування міжмолекулярних зв'язків забезпечує зниження питомих енерговитрат на подрібнення. Однак застосування подрібнення при високих температурах ускладнюється через поступове налипання гуми, що переробляється, на ріжучі леза чи молотки дробарок, які застосовуються для ударного руйнування та на стінки камери подрібнення.

Лінії переробки зношених шин при нормальній температурі на даний час є найбільш поширеними. Усі технологічні лінії подрібнення зношених шин є багатоступінчастими, технічно складними, потребують оснащення системами аспірації і пилогазоочистки.

Сучасні виробничі установки по утилізації зношених автомобільних шин працюють в основному по методу подрібнення. Для подрібнення можуть застосовуватися машини і стандартні установки, які також застосовуються в інших галузях переробки вторинної сировини. Застосування даної технології не вимагає спеціалізованого обладнання (*відеододаток 21*).

Механічні способи переробки гуми в крихту дають продукт, який 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 ($2500...3500 \text{ см}^2/\text{г}$), 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 (*відеододаток 22*);

- порошкова гума з розмірами частинок від 0,5 до 1,0 мм застосовується в якості добавки для модифікації нафтового бітуму в асфальтобетонних сумішах.

Застосування гумової крихти в асфальтобетоні вдвічі підвищує коефіцієнт зчеплення на мокрому покритті. При використанні часток гумової крихти менше 0,14 мм тріщиностійкість асфальту зростає на 30 %. Зі зменшенням розміру частинок тріщиностійкість збільшується. 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. Однак вартість асфальту, що містить порошкову гуму, є вищою від вартості звичайного асфальту. Гумову крихту у якості наповнювача широко застосовують при будівництві спортивних бігових доріжок та дитячих площадок.

- гумові чіпси з розмірами частинок до 5,0 см застосовують як внутрішній наповнювач спортивного інвентарю, наприклад, боксерські груші (рис.65).

Ефективним є застосування порошкової гуми у якості сорбенту для збору сирої 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.

5.3 Регенерація гуми

Близько 30% відходів виробництва гумотехнічних виробів використовують, як правило, на підприємствах, що виготовляють вироби широкого вжитку. Ця додаткова стадія дозволяє отримати універсальну сировину – регенерат, який за властивостями близький до первинного каучуку. Одержуваний регенерат використовують у гумових сумішах як заміник каучуку. При регенерації гуми повторно використовується її каучуковий компонент.



Рисунок 65 – Чіпси з подрібнених автомобільних шин

Напівпродуктом для виробництва регенерату є подрібнена гумова крихта розміром 1...2 мм з вмістом текстильних волокон від 2 до 10%. Процес девулканізації полягає в нагріванні подрібненої гуми з домішками до температури 160...190° С. При цьому відбувається деструкція вулканізованого каучуку: його структура частково руйнується, виникають розриви в місцях приєднання сірки і безпосередньо в молекулярних ланцюжках. При регенерації гумову крихту змішують з домішками - пом'якшувачами і активаторами процесу девулканізації, що сприяє переходу гуми в пластичний стан. При девулканізації як пом'якшувачі використовуються органічні продукти, а саме, різноманітні смоли, каніфоль, технічні оливи тощо. Молекули пом'якшувача проникають між молекулами каучуку і приводять до збільшення міжмолекулярної відстані, і, відповідно, до послаблення міжмолекулярних зв'язків і набрякання гуми. Використання активаторів, переважно цинкових солей, скорочує на 40...50% час девулканізації і знижує робочу температуру ведення процесу. Продукт, який отримують у процесі девулканізації - девулканізатор має в своїй структурі велику кількість ненасичених подвійних зв'язків.

Водонейтральний метод одержання регенерату. Процес девулканізації гумової крихти проводять в автоклавах у водній емульсії пом'якшувача при температурі 180...185°С протягом 5...8 годин. Безперервне перемішування сприяє кращому її набряканню в контакт з пом'якшувачами. Після закінчення процесу девулканізації в прес-шнекових екструдерах проводять відокремлення води від продукту.

При термомеханічному методі одержання регенерату, гумову крихту безперервно змішують з пом'якшувачем і пропускають через прес-шнековий екструдер при температурі 140...210°C. Одержаний девулканізатор обробляють на вальцях з одержанням регенерату. Такий регенерат є більш однорідним і пластичним, ніж одержаний водонейтральним методом.

Застосування регенерату в гумових сумішах має не тільки економічні, але й технічні переваги: збільшення швидкості змішування, зменшення енерговитрат на обробку, зменшення ступеню усадки гуми. В той же час регенерат погіршує такі фізико-механічні і фізико-хімічні властивості гуми, як міцність при розтягуванні, опір стиранню тощо. На сьогоднішній день галузь застосування регенерату зміщується в бік 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 сьогодні досить часто привертає увагу фахівців у галузі поводження з відходами, оскільки дозволяє уникнути багатьох негативних наслідків спалювання у котлоагрегатах. Піроліз шин та полімерних матеріалів на даний момент розглядається як найбільш перспективний і екологічний метод їх утилізації. Кількість газів, що утворюються при піролізі і вимагають очищенню, набагато менше, ніж при спалюванні відходів.

Під піролізом (газифікацією) відходів органічного походження розуміється необоротна хімічна деструкція органічних компонентів відходів при їх термічному розкладанні без доступу кисню, результатом якого є утворення ряду рідких або газоподібних інгредієнтів. Піроліз вуглеводнів (від грец. *Pyr* - вогонь і *lysis* - розкладання, розпад) полягає в деполімеризації довгих молекул вуглеводнів на більш короткі при нагріванні в реакторах спеціальної конструкції. Піролізу піддаються органічні складові відходів (пластмаса, гума, деревина, шкіра). 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 протікає процес піролізу, і складу перероблюємих відходів.

Відповідно до температурних умов ведення процесу піролізу поділяються на:

- низькотемпературний піроліз ($450\ldots 550^{\circ}\text{C}$), що характеризується мінімальним виходом газоподібних продуктів та, максимальною кількістю утворюємих смол, масел і твердого залишку;
- середньотемпературний піроліз ($550\ldots 800^{\circ}\text{C}$), при якому збільшується кількість одержуваного газу, а кількість смолистих речовин і масел зменшується;
- високотемпературний піроліз (понад 800°C), що відрізняється максимальним виходом газу і мінімальним - смолоподібних продуктів.

Високотемпературний піроліз у порівнянні з іншими методами має ряд переваг:

- відбувається більш інтенсивне перетворення вихідного продукту;
- швидкість реакцій експоненціально зростає з збільшенням температури, у той час як теплові втрати зростають лінійно;
- збільшується час теплового впливу на відходи, відбувається більш повний вихід летучих продуктів;
- оскільки процес піролізу проходить при відсутності кисню, то піролізний газ не містить небезпечні діоксини і фурани, які утворюються при спалюванні вуглеводнів.

Швидкість піролізу зростає з підвищенням температури процесу. При високотемпературному піролізі підвищення температур процесу понад 1300°C є не бажаним, щоб уникнути розм'якшення та перетворення в розплавлений стан шлакових залишків. При цьому енергетичний баланс процесу піролізу при температурах вище 1000°C є негативним, тобто витрати енергії на проведення

процесу значно вищі, ніж отримуєма теплотворна здатність утворених вторинних продуктів.

У випадку нагрівання гумових виробів без доступу кисню умови для горіння відсутні, а відбуваються складні хімічні процеси розпаду на ті вуглеводневі компоненти. Продукт, що утворюється при піролізі у тиглі є складною сумішшю газоподібних, рідких і твердих речовин, склад яких залежить від хімічної природи сировини і температурних параметрів процесу нагрівання. При температурах піролізу ці фракції випаровуються, видаляються з тигля, охолоджуються і конденсуються у вигляді рідкого синтетичного палива зі складом, близьким до складу природної нафти. Частина піролізного газу, яка не конденсувалася при охолодженні до кімнатної температури, направляється в топку реактора, де спалюється для підтримки процесу піролізу. З 1 т перероблених гумових відходів можна отримати до 450 л синтетичної нафти, 300 кг пірокарбона (з вмістом технічного вуглецю до 85%), 10 м³ піролізного газу. До складу піролізного газу входить:

- горюча складова: чадний газ, метан, етилен, сірководень, водень;
- негорюча складова: вуглекислий газ і азот.

Технологія переробки зношених автомобільних шин в паливо заснована на нагріванні без доступу кисню до температури 400...450°C (низькотемпературний піроліз). Оцінка енергоємності процесу показує, 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. На сьогодні розроблено і пропонуються споживачам десятки піролізних установок різної продуктивності та ступеню автоматизації для утилізації автомобільних шин та твердих побутових відходів (відеододатки 18 – 19).

Заводи з переробки відходів (включаючи промислові, небезпечні медичні та тверді побутові) способом високотемпературного піролізу працюють з середини 70 років минулого століття у Франції, Данії, США, ФРН, Японії та інших країнах починаючи. В той період часу отримання енергії і тепла шляхом

низькотемпературного піролізу гумових, пластмасових та інших відходів стало розглядатися як перспективне джерело вироблення енергетичних ресурсів.

До складу піролізних установок входить:

- тигель – ємність, в яку завантажується сировина для піролізу;
- піролізна піч це топкова камера, в яку зверху для нагрівання встановлюється 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 на основі керамічного волокна (рис.66). 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.



Рисунок 66 - Піч для утилізації автомобільних шин методом низькотемпературного піролізу

Тигель являє собою реакторну ємність, яка виготовляється з жаростійкої сталі (рис.67).



Рисунок 67 - Тиглі для утилізації автомобільних шин методом низькотемпературного піролізу

Кожен тигель, після завантаження поза піччю, закривається кришкою, яка закріплюється болтами по периметру, потім тигель піднімається за допомогою кран-балки і встановлюється у топку. Сировина нагрівається за рахунок теплопередачі через стінки тигля і піддається піролізу. Парогазова суміш виводиться з тигля по трубопроводу через швидкокороз'ємне з'єднання і сільфонний компенсатор деформацій, охолоджується в конденсаторі - холодильнику, де пароподібні продукти конденсуються (рис.68).

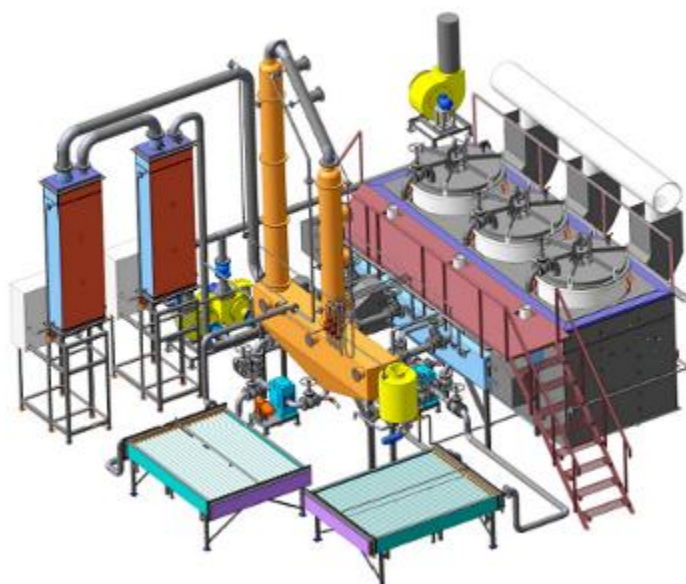


Рисунок 68 - Конструкція установки для утилізації методом низькотемпературного піролізу автомобільних шин

Частина летючих вуглеводнів при охолодженні не конденсується і виходять після охолодження у холодильнику у вигляді газу, що йде на розігрів установки в якості палива. Рідина накопичується в збірнику рідкого продукту. Після закінчення процесу 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, виробленого на самій установці піролізу. Відповідно, при завантаженні в тиглі 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.

Ефективна робота піролізних установок досягається поєднанням кількох печей у модулях, коли надлишковий синтез - газ з першої печі використовують для розігріву другої. У кожний період часу печі знаходяться на різних стадіях процесу. Зсув фази процесу між двома печами обраний 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...140⁰С. Застосування примусового охолодження дозволяє скоротити час витримки до 4...5 годин, після чого тигель можна розвантажувати. Прискорення охолодження дозволяє економити корисну площу ділянки та значно здешевити вартість комплексу обладнання, за рахунок скорочення в 2...3 рази кількості робочих піролізних тиглів.

Після охолодження тигля продукти переробки вивантажують у піддон і від них на віброситі відокремлюють великі включення металевих дротів.

(табл.10). Після вибросита, переміщуючись на стрічковому конвеєрі з вбудованим магнітним сепаратором, фракція вуглецевого залишка остаточно очищається від металевих включень і готова як напівпродукт для подальшої переробки (відеододаток 20).

Таблиця 10 – Продукти піролізу зношених автомобільних шин

Назва продукту	Використання продуктів
Піролізне рідке паливо	Застосовується в якості рідкого палива для котлоагрегатів, заміник пічного палива. Можливо застосувати для перегонки на фракції шляхом ректифікації. з метою отримання різних нафтопродуктів (бензин, дизельне паливо, масло, смоли і ін.)
Технічний вуглець (92 - 99%С)	Застосовується в якості твердого палива, а також можливе використання при приготуванні модифікованого рідкого палива, в якості сорбенту, заміника 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

Піролізні залишки не містять агресивних речовин, тому їх можна захороняти, причому такі відходи утворюються в меншій кількості, ніж після спалювання. Оскільки процес піролізу йде в відсутності кисню, то піролізний газ містить лише незначну кількість небезпечних діоксинів, які утворюються при спалюванні вуглеводнів

Альтернативою є установки термічної деструкції безперервної дії з горизонтальним реактором. Головна відмінність цього обладнання від розглянутої вище установки з вертикально встановлюємим тиглем є відсутність необхідності періодичного багатогодинного охолодження.

В установках термічної деструкції 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 дизельного палива, піролізного газу чи рідкому піролізному паливі. Продуктивність таких установок може досягати 10 тис. т автомобільних шин у рік.

Для реалізації методу потрібне дороге обладнання, необхідне залучення кваліфікованих кадрів. Незважаючи на це є зацікавленість у створенні підприємств, що займаються утилізацією зношених автомобільних шин за методом піролізу.

У світі повноцінно діють два заводи з піролізного спалювання побутових відходів – у Токіо (Японія) та Оттаві (Канада). В той же час, в європейських країнах більшість великих підприємств використовують піролізні установки для утилізації відходів. Затребуваність використання піролізу пов'язане з його ефективністю та фактично безвідходним методом утилізації органічних відходів, отримання вторинного продукту у вигляді паливних ресурсів, можливість отримання з вторсировини цінних сполук для хімічного синтезу (вуглеводні, органічні кислоти, смоли тощо) та захисту екологічного середовища.

До недоліків існуючих піролізних установок відносять низьку продуктивність, вибухонебезпечність при неправильній експлуатації установки, висока вартість обладнання та значні експлуатаційні витрати. Неоднорідний та непередбачуваний характер твердих побутових відходів призводив до численних збоїв у роботі піролізних установок.

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

Експлуатація силових агрегатів неможлива без застосування олив для змащення їх 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 змащувальної оливи можуть служити антикорозійні і протиокислювальні властивості, допустимий температурний режим експлуатації, в'язкість, хімічний склад і багато іншого.

Переважно під впливом високих температур в оливах в ході роботи механізмів протікають реакції окислення, в які вступають найбільш нестійкі вуглеводні з їх складу. В результаті таких реакцій утворюються різні сторонні речовини, такі як кислоти, смоли, асфальтени, які призводять до погіршення фізико-хімічних властивостей олив, що негативно позначається на їх експлуатаційних якостях. В оливи потрапляють залишки палива та вода. Відбувається збільшення їх кислотності, зольності, коксованості, з'являються асфальто-смолисті речовини, шлам, знижується температура спалаху.



Рисунок 69 - Основні види забруднювачів моторних олив

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. Відпрацьовані оливи - основна частина відходів нафтопродуктів, що збираються і накопичуються на транспортних і промислових підприємствах. Незважаючи на те, що застосування олив становить всього близько 1% від загального обсягу використовуваних нафтопродуктів, питання їх утилізації з точки зору екології заслуговує великої уваги. Вони відносяться до небезпечних відходів, оскільки потрапляючи у ґрунт, поверхневі і ґрунтові води оливи можуть нести 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. Дослідниками встановлено, що відпрацьовані оливи становлять не менше 50% загальних забруднень від нафтопродуктів.

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. Відпрацьовані моторні оливи при правильній утилізації можуть бути використаними повторно на деяких видах техніки і в деяких галузях хімічного та технічного виробництва. Цей процес називається регенерацією моторних олив. Світове споживання олив становить близько 60 млн. т на рік. 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 сирої 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 світових держав, 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, на законодавчому рівні зобов'язані збирати, вести облік, раціонально використовувати і здавати на регенерацію всі відпрацьовані мастильні матеріали, що відносяться до однієї з перерахованих вище груп. Регенерація, тобто відновлення відпрацьованих олив, дозволяє видалити з них хімічний осад, механічні включення, гази, водний конденсат, кислоти та інші домішки, а також надати очищеному продукту оригінальний колір.

Утилізація відпрацьованих олив може проводитися на підприємствах нафтопереробки з одержанням вторинної сировини, яка надходить в початок процесу переробки нафти.

Відпрацьовані оливи після їх попередньої обробки можуть використовуватися в якості базової оливи у виробництві моторних, індустріальних, трансмісійних, гідравлічних та інших видів олив. При роздільному зборі відпрацьованих олив можливе часткове відновлення їх первинних властивостей і повторне використання. Така утилізація організовується на підприємствах, які утворюють ці відходи.

При зборі відпрацьованих олив необхідно дотримуватися певних правил: оливи збираються окремо за марками, сильно забруднені оливи збирають окремо. Для збирання важливим є використання чистого спеціального інвентарю - воронки, відер, бідонів, піддонів, бочок. Ємності для збору, транспортування та зберігання відпрацьованих олив рекомендується позначати написами, що вказують на певну марку зібраної оливи.

Термічні методи утилізації відпрацьованих олив полягають в їх спалюванні в опалювальних установках в якості основного палива або добавок до топкового мазуту. Найбільш часто цей метод застосовують для опалення приміщень автотранспортних підприємств та станцій технічного обслуговування автомобілів. Спалювання олив проводять в печах різної конструкції, топочний простір яких розділено на кілька зон. Процес спалювання протікає послідовно по стадіям: сушіння, 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 температура згорання відпрацьованих олив визначає привабливість цієї технології. Критичним параметром такої технології утилізації є складна система очищення продуктів згорання, оскільки спалювання попередньо неочищених олив супроводжується утворенням великої кількості 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 охорони навколишнього середовища від небезпечних викидів. Однак, існує технологія переробки, після якої оливи можна спалювати, але після проведення такої очистки суттєво підвищується вартість їх як палива.

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.

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 більш 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 олив може вистачати 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 регенованих оливах додають присадки, а також іноді змішують їх зі свіжими масляними дистиляторами, які отримують з нафтопродуктів.

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. Методи регенерації відпрацьованих масел поділяються на фізичні, фізико-хімічні та хімічні.

6.1 Фізичні методи регенерації відпрацьованих олив

До фізичних методів регенерації відпрацьованих олив відносяться такі, при застосуванні яких видаляють лише механічні домішки (пил, пісок, частинки металу, воду, смолянисті, асфальтообразні, коксоподібні речовини, а також залишки пального), не змінюючи хімічну вуглеводневу основу олив, що очищаються. Ці методи лежать в основі першого етапу 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. За допомогою таких методів є можливим отримання низькоякісних регенованих олив.

Відстоювання від механічних домішок і води - перша і обов'язкова операція 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 тим більше, чим більше їх розмір і питома густина і чим менша в'язкість рідини. Даний спосіб регенерації є найбільш дешевим, 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. Оскільки при температурі 100°C буде відбуватися закипання залишків води, що міститься в оливі, і її спінювання, то оптимальною для відстоювання приймають температуру 80...90°C.

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. Частинки, що мають рівну з оливою питому густину, в ній також не осідають. Застосування цього методу є доцільним у якості попереднього етапу очищення з метою зниження навантаження на наступні апарати тонкого очищення.

Відстоювання відпрацьованих олив не завжди приводить до бажаного результату. Іноді навіть при істотному збільшенні тривалості процесу більшість домішок залишаються в підвішеному стані, тобто олива практично не відстоюється. Така ситуація найчастіше спостерігається при очищенні відпрацьованих моторних масел, 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 якісний вторинний матеріал, проведення цього процесу є обов'язковим. Для його реалізації необхідно застосовувати досить дороге обладнання, яке невеликим підприємствам зазвичай придбати буває проблематично. Робота центрифуги заснована на дії відцентрової сили, яка дозволяє розділити забруднену рідину на різні фракції. При цьому досягається видалення з оливи до 90% домішок і повне зневоднення. 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.

Фільтрація - це процес видалення частинок механічних домішок і смолистих з'єднань шляхом пропускання оливи через сітчасті або пористі перегородки фільтрів. Відбувається процес розділення неоднорідних систем за допомогою пористих перегородок, які затримують одні фази цих систем і пропускають інші. Рідина, що піддається фільтруванню, знаходиться по одну сторону фільтра, знаходячись у контакті з фільтрувальною перегородкою. У розділених частинах фільтру створюється різниця тиску, під дією чого рідина проходить через пори фільтрувальної перегородки, а тверді частинки затримуються в ній. Різницю тиску стисненням повітрям створюють за допомогою компресорів, вакуумними насосами, рідинними насосами зі створенням різниці тиску до $5 \cdot 10^5$ Па, а також використовують гідростатичний тиск самої фільтрованої рідини. На практиці фільтрування олив здійснюють переважно 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%.

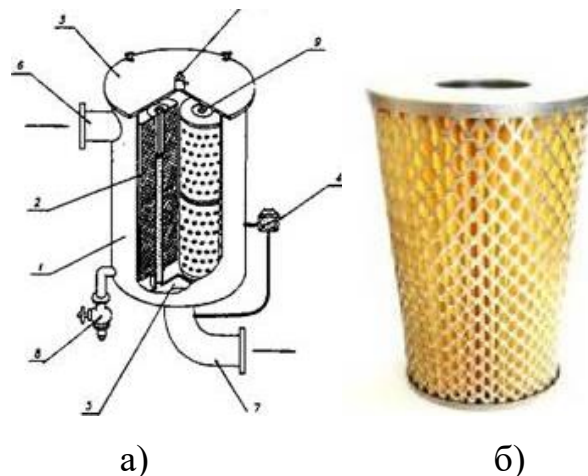
У якості фільтрувальних матеріалів використовують металеві та пластмасові сітки, повсть, тканини, папір, картон, композиційні матеріали і кераміку. Вибір фільтрувального матеріалу для перегородки залежить в основному від характеру домішок, що підлягають видаленню. Чим менше розмір частинок домішок, тим щільніше повинен бути фільтруючий матеріал. На наступному етапі регенерації оливи піддають мікрофільтрації, пропускаючи їх через мембрани, що розрізняються як продуктивністю, так і термічною стійкістю, оскільки збільшення питомої продуктивності мембран досягається при зниженні в'язкості рідини за рахунок підвищення температури. Найбільш поширеними є полімерні мембрани, які здатні відфільтрувати близько $800 \text{ л / м}^2\text{-год}$ при діаметрі пор $0,07 \text{ мкм}$. Металокерамічні мембрани є найбільш продуктивними - при діаметрі пор $0,07 \text{ мкм}$ вони пропускають $1000 \text{ л / м}^2\text{-год}$. Вуглецеві одноканальні мембрани здійснюють найбільш грубе очищення: у них діаметр пор складає $0,1 \text{ мкм}$, зате ці мембрани термічно стійкі до 300°C .

Найбільш тонке очищення олив досягається за рахунок застосування керамічних одноканальних мембран із середнім діаметром пор 0,03 мкм.

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.

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.

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.70).



1 - корпус; 2 - фільтруючий елемент; 3 - кришка; 4 - манометр;
5 - оливоприймач; 6 - вхідний патрубок; 7 - вихідний патрубок; 8 - патрубок для зливу відстою; 9 - притискна гайка; 10 - видалення повітря

Рисунок 70 - Конструкція фільтру для тонкого очищення масла (а) та зовнішній вигляд фільтроелементу (б)

Олива, нагнітається насосом під тиском 0,6 МПа у фільтр для тонкого очищення. В якості змінних фільтруючих елементів використовуються фільтрелементи з різною тонкістю фільтрації. Залежно від марки

фільтрелемента фільтр забезпечує тонкість фільтрації від 5 до 60 мкм і пропускну здатність від 10 до 90 м / ч відповідно.

Велика фільтруюча поверхню фільтрелементов (від 9,4 до 14,3м в залежності від марки) забезпечує значний ресурс їх роботи до заміни.

Основним недоліком процесу фільтрування є необхідність проведення періодичної регенерації фільтруючих перегородок, пори яких схильні до закупорювання в процесі роботи, або ж їх утилізації, в разі не можливості відновлення працездатності. На практиці часто застосовують багатоступеневу фільтрацію, яка включає поетапну очистку відпрацьованих олив за допомогою різних типів фільтрів: спочатку грубу, а потім тонку.

При регенерації відпрацьованих моторних олив також здійснюють методом відгонки відділення залишків пального, оскільки важкі фракції палива, потрапляючи в оливу, розріджують її і знижують в'язкість. Фізична основою методу відгонки пального є наявність різниці у значеннях температур кипіння складових палива і оливи. При нагріванні відпрацьованої оливи спочатку з неї випаровуються паливні фракції і тільки потім масляні фракції, які характеризуються підвищеною температурою кипіння. Для багаторазового збільшення площі випаровування оливу додатково розпилюють, чим забезпечується більш повне і швидке протікання процесу її очищення. Застосовуємі для проведення процесу відгонки палива апарати мають відносно просту конструкцію, проте необхідно контролювати рівень їх герметизації і не допускати попадання атмосферного повітря. Ще більш ефективною є регенерація відпрацьованих олив з застосуванням вакуумної перегонки, при якій отримують в якості дистиляту високоякісні базові оливи.

6.2 Фізико-хімічні методи регенерації відпрацьованих олив

При використанні фізико-хімічних методів забезпечують більш глибоке і повне очищення масел. Ці методи регенерації служать дозволяють видаляти з відпрацьованих олив продукти окислення, а також смолисті і асфальтові речовини, які разом з механічними домішками і елементами присадок, що

відпрацьовували, знаходяться в оливі у зваженому стані і не можуть бути видалені за допомогою фізичних методів. Для регенерації олив в даному випадку застосовуються додавання відповідних хімічних речовин. При цьому може проходити 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.

Метод коагуляції є складовою частиною технологічного процесу регенерації відпрацьованих моторних олив, які містять багатфункціональні 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. У кожному з випадків коагуляція виникає за рахунок ослаблення зв'язку забруднюючих частинок з оточуючим їх дисперсним середовищем. 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 всіх випадках причиною коагуляції є зменшення зв'язків частинок з оточуючим їх дисперсійним середовищем. Найбільше поширення у якості коагулянтів при регенерації моторних олив набули електроліти на основі

Na_2CO_3 (кальцинована сода), Na_3PO_4 (тринатрійфосфат), Na_3SiO_3 (рідке скло). Поверхнево-активні речовини, концентруючись на різних поверхнях розділу, утворюють тонкі адсорбційні шари, що різко змінюють молекулярну структуру і властивості поверхонь. Також, як коагулянт для олив, які не піддаються фільтруванню застосовується сірчана кислота.

Процес коагуляції проводиться у спеціальній мішалці (відстійнику) з конічним дном, яка включає нагрівальний і перемішувачий пристрої. Нагріта до температури $75\ldots 90^\circ\text{C}$ олива обробляється при перемішуванні водним розчином коагулянта протягом $20\ldots 30$ хвилин. Витрата коагулянта становить 5% (мас.) від відпрацьованої моторної оливи. Швидкість протікання процесу коагуляції залежить від кількості введеного коагулянту, тривалості його контакту з маслом, температури, ефективності перемішування тощо. Після чого проводиться очистка масла від укрупнених включень забруднень за допомогою відстоювання протягом $1\ldots 2$ діб, відцентрової очистки або фільтрування.

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 інших продуктів старіння олив. У якості адсорбентів застосовують речовини природного походження (відбілюючі глини, боксити, природні цеоліти) і отримані штучним шляхом (силікогель, оксид алюмінію, алюмосилікатні сполуки, синтетичні цеоліти). Для здійснення процесу 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 адсорбенту, однак застосування цього методу пов'язане з використанням досить складного обладнання, що стримує його широке поширення.

Даний метод може застосовуватися для очищення більшості відпрацьованих олив. До недоліків адсорбційного очищення слід віднести необхідність утилізації великої кількості адсорбенту, що забруднює навколишнє середовище.

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 розчиняються 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. В результаті іонообміну рухливі іони в просторовій решітці іоніту замінюються іонами забруднень. Застосування методу іоно-обмінного очищення дозволяє видаляти з олив кислотні забруднення, оксиди, нітроти, сірчані з'єднання, але не забезпечує затримку смолистих речовин.

Селективна очистка відпрацьованих олив заснована на вибіркового розчиненні окремих забруднюючих речовин (кисневих, сірчистих і азотних сполук) при обробці розчинниками. У якості селективних розчинників застосовуються фурфурол, фенол і його суміш з крезолу, нітробензол, різні спирти, ацетон тощо. Різновидом селективного очищення є обробка відпрацьованого масла пропаном, при якій вуглеводні у складі оливи розчиняються в пропані, а асфальтосмолисті речовини, що знаходяться в оливі у колоїдному стані, випадають в осад. Селективна очистка може проводитися в апаратах типу «змішувач - відстійник» в поєднанні з випарниками для відгону розчинника (ступінчаста екстракція) або в двох колонах - екстракційної для видалення з забруднень забруднень і ректифікаційної для відгону розчинника (безперервна екстракція).

6.3 Хімічні методи очищення

Хімічні методи очищення засновані на взаємодії введених реагентів з речовинами, що забруднюють відпрацьовані оливи. При цьому в результаті хімічних реакцій утворюються сполуки, які не складно видалити з олив. До хімічних методів очищення відносяться кислотне і лужне очищення, окислення киснем, гідрогенізація, а також осушення та очищення від забруднень за допомогою оксидів, карбідів і гідридів металів.

За кількістю установок і обсягом сировини, що переробляється, найбільше поширення знайшла обробка відпрацьованих олив сірчаною кислотою. Сірчана кислота взаємодіє з асфальто-смолистими речовинами і ненасиченими сполуками, 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. Такий розчин здійснює нейтралізацію залишків кислоти і кислого гудрону. Процес очищення завершується промиванням оливи водою та її подальшим зневодненням.

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 екологічної обстановки. Крім того, сірчано-кислотне очищення не забезпечує видалення з відпрацьованих масел поліциклічних аренів і високотоксичних сполук хлору.

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 олив

проводиться за допомогою негашеного вапна та інших водопоглинаючих речовин.

Останнім часом все ширше при переробці відпрацьованих олив застосовується технологія гідрогенізації, яка є більш технологічною та екологічно чистою 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.

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.

Таблиця 11 – Характеристика основних способів регенерації відпрацьованих олив

Спосіб регенерації	Мета	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
Коагуляція	Видалення дисперсних домішок після укрупнення	Спосіб заснований на укрупненні частинок забруднюючих речовин, що знаходяться дрібнодисперсному стані, що досягається за допомогою спеціальних речовин - коагулянтів
Адсорбція	Видалення дрібнодисперсних частинок	Спосіб заснований на здатності адсорбентів, утримувати забруднюючі продукти на своїй поверхні і на поверхні всередині пор. Адсорбентами можуть бути 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, диссоціюючи у розчиненому стані на іони
Селективне очищення	Видалення кислотних забруднень, та інших хімічних сполук, що погіршують в'язкісно-температурні властивості масел	Спосіб заснований на властивості окремих речовин, які забруднюють оливи (кисневих, сірчистих і азотних сполук) вибірково розчиняючись під дією певних реактивів
Хімічні способи		
Сірчано-кислотне 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

На теперішній час на ринку представлено широкий ряд установок різної продуктивності для регенерації олив. Серед них є промислові стаціонарні

установки з великою продуктивністю і невеликі установки, призначені для очищення масел на транспортних і промислових підприємствах (рис.70).



Рисунок 70 - Установка для регенерации відпрацьованих трансформаторних олів GLOBECORE CMM-2,2

Робота таких установок заснована на комбінованому використанні методів фільтрації, коагуляції, відстоювання і випарювання. Відпрацьована олива, відфільтрована і підігріта в електропечі до 200 °С, 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 автоклаві-відстійнику сліди води видаляються в другому випарнику. Потім олива надходить на фільтрування для видалення механічних домішок з розміром частинок більше 1...2 мкм.

Контрольні питання для самоперевірки

1. З якою метою застосовують мастильні матеріали?
2. Назвіть основні причини втрати експлуатаційних властивостей олів.
3. З якою метою проводять регенерацію відпрацьованих масел?
4. Які методи включають фізичні способи очистки олів?
5. Основні види фільтрів для регенерації олів та їх раціональне застосування
6. Які компоненти виконують роль адсорбентів при регенерації олів?
7. Які основні способи використовуються для хімічної регенерації олів?

7. УТИЛІЗАЦІЯ РТУТЬВМІСНИХ ВІДХОДІВ

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, рідкокристалльних моніторів тощо. Ртуть відноситься до речовин першого класу небезпеки. Питання, пов'язані із забрудненням навколишнього середовища ртуттю, займають дуже 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. Основна стратегічна лінія поводження з ртутьвмісними відходами - це запобігання їх попаданню в навколишнє середовище. Наприклад, у Європі 2009 року заборонено виробництво і продаж ртутних градусників.

Звичайні лампи розжарювання значну частину енергії, яку вони використовують, перетворюють не на світлове випромінювання, а на теплову енергію. Принцип дії ламп розжарювання заснований на перетворенні електричної енергії, що проходить через спіраль розжарювання (вольфрамова нитка), у світлову енергію. Під дією електричного струму вольфрамова нитка розжарюється до світіння, з температурою $2600...3000^{\circ}\text{C}$. При цьому у світлову енергію перетворюється близько 3% затраченої енергії.

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.

Люмінесцентна лампа - це скляна трубка, 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 вилітають з гарячого катода, і в трубці виникає

тліючий розряд. Енергія іонів ртуті перетворюється у випромінювання у синій, фіолетовій та ультрафіолетовій областях, яке є шкідливим для очей. Для перетворення ультрафіолетового випромінювання у більш тепле світло, що близьке до природного, на внутрішні стінки люмінесцентних ламп наносяться люмінофори - речовини, які активно випромінюють світло видимого спектру під дією ультрафіолетового випромінювання.

Термін служби ламп розжарювання складає близько 1000 годин. Використовуючи таку лампу 6 годин на добу, її ресурсу вистачить приблизно на півроку. Термін служби енергозберігаючих лампи складає до 12000 годин, їх вистачає на роботу до 5,5 років. 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.



Рисунок 71 - Люмінесцентна ртутьвмісна енергозберігаюча лампа

Незважаючи на ринок нових енергозберігаючих безртутних світлодіодних ламп, ртутьвмісні лампи досі активно використовуються для освітлення житлових приміщень, муніципальних будівель, промислових комплексів. Масове застосування ртутних ламп обумовлено цілим рядом переваг: від високої світлової віддачі до низької вартості і великого терміну служби. Основна проблема полягає в тому, що відпрацьовані лампи повинні бути правильно утилізовані, оскільки вони є потенційним джерелом токсичної ртуті. Через воду і повітря, токсична речовина проникає з екосистему і може викликати значні порушення в біогеоценозах місцевості.

Близько 100 мільйонів люмінесцентних ламп щорічно приходить в непридатний стан, при цьому велика частина ламп не утилізується 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.

З огляду на неможливість масового переходу на безртутних технології, широку поширеність медичних і електротехнічних ртутьвмісних виробів, високу ймовірність ртутного забруднення при неправильному поводженні з ртутьвмістними відходами, проблема ртутної безпеки є в даний час однією із пріоритетних екологічних, медичних і соціальних проблем. Гранично допустима концентрація (ГДК) парів ртуті в повітрі закритих приміщень становить $0,0003 \text{ мг/м}^3$. При об'ємі кімнати 40 м^3 концентрація парів ртуті в разі руйнування лампи складе від $0,075$ до $0,125 \text{ мг/м}^3$. Це приблизно в 400 разів вище гранично допустимої концентрації для атмосферного повітря. Тому дуже важливо зберігати відпрацьовані лампи окремо від усіх інших відходів і, ні в якому разі, не викидати їх у загальний контейнер.

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. Класифікатор відходів ДК 005–96 відносить лампи люмінесцентні та відходи, що містять ртуть до категорії відходів, які сортують і збирають окремо. Процес утилізації ртутьвмісних відходів називається демеркуризація.

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. Лише в окремих містах встановлено спеціальні контейнери для збирання ртутьвмісних відходів (рис.72)



Рисунок 72 - Контейнер для збирання ртутьвмісних відходів

Поводження з люмінесцентними лампами на підприємствах України є більш-менш урегульованим. 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 І 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.

В період існування СРСР проблема збирання і утилізації ртутьвмісних відходів вирішувалася централізовано – відходи перероблялися на Нікітовському ртутному заводі – зараз це підприємство збанкрутувало. На сьогодні у великих містах існують підприємства, які приймають на утилізацію люмінесцентні лампи. Утилізацією небезпечних відходів в Україні займаються виключно організації, які мають відповідну ліцензію (близько 30 компаній). Наявність у державі проблем з утилізацією ртутьвмісних відходів стимулювало появу галузі приватної утилізації відходів цього виду. Утилізація ртутьвмісних відходів є платною послугою, що пов'язано з високою вартістю демеркуризаційного обладнання та реагентів. В середньому вартість утилізації однієї лампи складає 5...7 грн.

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. Збір супроводжується обліковими записами у відповідному журналі.

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 вантажем.

Пункти збирання та зберігання відходів повинні бути обладнані газосигналізаторами для того, щоб виключити ймовірність випаровування ртуті. Пункти зберігання повинні бути розташовані на достатньому видаленні від громадських місць і житлових кварталів.

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.

У 2016 році у селі Муроване, біля Львова відбулося відкриття заводу з перероблення відпрацьованих люмінесцентних ламп. Постачальником обладнання для даного підприємства являється шведська фірма «MRTSystemAB», 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 і непридатні до використання. Завод працює по технології «zerowaste» з замкнутим циклом, що робить його першим та єдиним у своєму роді заводом, що функціонує в Україні. Потужності лінії складають 200кг/год (500 трубчастих або ж 800 компактних люмінесцентних ламп). Zero Waste - це концепція, основною ідеєю якої є максимальне зниження кількості відходів, які б потрапляли на звалища і сміттєспалювальні заводи. Утилізація ртутьвміщуючих 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, періодичний контроль рівня ртутного забруднення повітря у приміщеннях і на поверхнях, їх санітарна обробка.

Знайшло розповсюдження кілька методів утилізації (демеркуризації) ртутьвмісних відходів (відеододатки 23-24).

1) Хімічний метод полягає в обробці роздроблених виробів хімічними демеркуризаторами з метою переведення ртуті у важкорозчинні хімічні з'єднання. Відповідно до цього способу використані лампи піддаються мокрому

подрібненню та механічному розділенню скла і цоколів. Хімічний метод дозволяє відокремити ртуть від скла і елементів конструкції люмінесцентних ламп при температурах, близьких до кімнатної, та виключити викиди 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 чистою і забезпечує максимальний відсоток вилучення ртуті. Однак, 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 утворюються стічні води;
- 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 полягає у їх подрібненні у шнековій трубчастій печі з електронагрівачем, нагріванні до температури 450...550⁰С, випаровуванні та сублімації ртуті з суміші скляного і металевих лому з подальшим вловлюванням та конденсацією її парів.

Доставлені в спеціальних контейнерах (бочки з оцинкованого заліза з поліетиленовими мішками-вкладишами), ртутні лампи подаються у вузол завантаження вібропневматичної установки для розділення ртутних ламп на складові: скло розміром менше 8 мм, металеві цоколі і ртутьвмістний люмінофор. Цоколі відділяються від скла і спрямовується в демеркуризаційно-відпалювальну електричну піч, газові викиди з якої поступають в систему

очищення. В результаті термічної обробки 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 в умовах вібрації. Очищене від люмінофора скло поступає у бункер-накопичувач. Основна маса люмінофора уловлюється в циклоні і потрапляє у збірник люмінофора (металеву бочку з поліетиленовим мішком-вкладишем і спеціальною кришкою). Отримання ртуті з люмінофору проводиться спеціалізованих підприємствах. 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 утилізації ртутьвмісних відходів відноситься необхідність вакуумування установки, складні системи конденсації ртутьвмісних парів та утилізації сорбентів, наявність технологічних стоків. 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 демеркурізаційній камері установки за допомогою спеціального ножа, нагріваються вище температури випаровування ртуті ($380...450^{\circ}\text{C}$). 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 (рис. 73). Після утилізації люмінісцентної лампи вагою 140 грам отримують до 45 грамів скляного бою (зазвичай його використовують як сировину для варіння скла) і до 6 міліграм ртуті (йде на повторне використання

при виготовленні ламп). Крім того, виділяють майже 4 грами люмінофору, який підлягає захороненню.



Рисунок 73 - Завантаження люмінісцентних ламп в установку вакуумної дистиляції ртутьмісних відходів.

Усі технологічні процеси мають замкнутий цикл. Наявність ртуті усередині приміщення може бути пов'язана тільки з боєм ламп, отриманих для переробки від постачальника або внаслідок неакуратності оператора при завантаженні установки. Ефективність установок вакуумної дистиляції ртутьмісних відходів дозволяє економічно вигідно утилізувати люмінісцентні лампи, починаючи з мінімальних об'ємів переробки 75...100 тис. в рік.

Контрольні питання для самоперевірки

1. В чому полягає доцільність використання люмінісцентних ламп?
2. В чому полягає шкідливий вплив парів ртуті?
3. Який порядок збору ртутьмісних відходів в Україні?
4. Які методи застосовують для утилізації ртутьмісних відходів?
5. Які вторинні продукти отримують при утилізації люмінісцентних ламп?
6. Охарактеризуйте суть хімічної утилізації ртутьмісних відходів.
7. Охарактеризуйте суть термічної утилізації ртутьмісних відходів.
8. Опишіть суть термовакуумного методу утилізації люмінісцентних ламп.

8. УТИЛІЗАЦІЯ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ ТА ЕЛЕКТРОННОГО БРУХТУ

8.1 Особливості утилізації автономних джерел живлення

Більшість видів електронної апаратури та всі транспортні засоби передбачають використання автономних хімічних джерел струму – батарейок чи акумуляторів. 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).

Сучасний ринок пропонує споживачу широкий спектр малих хімічних джерел струму: мангано-цинкові (сольові), мангано-цинкові (лужні), ртутно-цинкові (RTS), літієві, такі, що водоактивуються, срібно-цинкові (срібно-оксидні), повітряно-цинкові; а також акумулятори: нікель-кадмієві (Ni-Cd), нікель-металогідридні (Ni-MH), літій-іонні (Li-Ion), свинцево-кислотні герметичні (SLA).

Найуживанішими сучасними гальванічними елементами є мангано-цинкові, яких виготовляють 3 млрд. штук у рік.



Рисунок 74 – Відпрацьовані гальванічні елементи

В залежності від електроліту, гальванічні елементи поділяються на: сольові, лужні (алкалінові), літієві, срібні, ртутні. У виробництві елементів живлення використовують спеціальне маркування, що вказує на параметри і вид: літієвий - CR; лужний - LR; срібний - SR; сольовий - R.

Залежно від природи електроліту гальванічні елементи поділяють на: сольові ($\text{Zn}|\text{NH}_4\text{Cl}|\text{MnO}_2$) та лужні ($\text{Zn}|\text{KOH}|\text{MnO}_2$).

Сольові гальванічні елементи є найпоширенішими завдяки таким характеристикам як дешевизна і доступність сировини, простота технології виготовлення, низька кінцева вартість, зручність використання, задовільні електричні параметри. Активна маса додатного електрода містить суміш мангану (II) оксиду з графітом або ацетиленовою сажею і електролітом. Для підвищення ступеня використання окиснювача активну масу просочують розчином електроліту. Від'ємний електрод виготовляють з корозійностійкого цинку високого ступеня чистоти. У сучасних сольових елементах живлення у якості електроліту використовують розчини амоніюхлориду та цинку хлориду.

Корпус лужних гальванічних елементів є тільки виводом, а не електродом, як у сольових батарейках. Він сполучений з додатним електродом, завдяки чому значно зменшується імовірність витікання електроліту. Активна маса катода містить мангану (II) оксид, графіт або ацетиленову сажу, розчин КОН і загущувач. У якості електроліту застосовують концентровані розчини КОН чи NaOH. По осі елемента розміщений латунний струмовідвід від'ємного електрода. Порівняно з сольовими гальванічними елементами лужні є більш енергоємними і мають триваліший термін зберігання.

В сучасних умовах особливо актуальною є проблема утилізації автономних джерел струму. Це пов'язано з наступними аспектами:

- масштабне збільшення загального числа використання гальванічних елементів;
- посилення вимог до охорони навколишнього середовища;
- зростаюча роль використання вторинних ресурсів.

Повністю безпечна для екології технологія переробки елементів живлення до цього часу відсутня. Навіть у передових країнах ці процеси утилізації досі далеко не достатньо екологічно чисті. У складі внутрішньої частини хімічних джерел струму можуть міститися до 10 хімічних високотоксичних хімічних елементів - літій, ртуть, свинець, кадмій. Корпус елемента живлення виконується з металу, тому шкідливі речовини в процесі

транспортування, складування, продажу та експлуатації елементів живлення, залишаються всередині корпусу і на зовні потрапити неможуть.

Попереджувальні значки на гальванічних елементах попереджують, що ці відпрацьовані вироби не можна викидати у сміттєвий кошик разом із побутовими відходами. На деяких батарейках цей символ присутній разом з позначенням вмісту небезпечного хімічного елементу. Хімічний знак ртуті (Hg) або свинцю (Pb) вказує на вміст у гальванічному елементі 0,0005 % ртуті або 0004 % свинцю. За рівнем небезпеки для людини кадмій, ртуть, свинець, цинк віднесені до 1-го класу (особливо небезпечні), кобальт і нікель - до 2-ому. Отруєння цими речовинами може представляти серйозну загрозу для здоров'я і життя. Свинець - накопичується в нирках і викликає найсильніші розлади нервової системи та захворювання мозку. Кадмій - накопичується в нирках, печінці, кістках і щитовидній залозі, призводить до виникнення ракових захворювань. Відпрацьовані джерела живлення видалені для захоронення на звалища піддаються корозії і становлять значну небезпеку для навколишнього середовища.

Як правило, населення не звертає уваги на попереджуючі позначення і відправляє відпрацьовані батарейки у сміття, яке викидається у контейнери з побутовими відходами. Контейнери вивозяться на міське звалище, де через кілька місяців 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 починається кругообіг отруйних речовин, який неможливо зупинити. З ґрунту ці хімічні елементи проникають у ґрунтові води та водойми, потім виявляються зараженими рослини і тварини, і, врешті-решт 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 квадратних метрів землі - це територія зростання двох дерев, ареал проживання

кількох тисяч дощових черв'яків. Шкідливі речовини з однієї батарейки здатні забруднити 400 літрів ґрунтових вод.

За підрахунками, кожен житель міста Кропивницький в середньому використовує 5 елементів живлення в рік. Враховуючи кількість жителів, які використовують батарейки - 200 тисяч, отримаємо цифру річного споживання 1 млн. штук. Ця кількість джерел живлення щорічно переміщується на міське звалище міста Кропивницький. 45 мільйонів жителів України викидають 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.

В 2006 року 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 безпосередньо 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 існує (*відеододаток 28*).

Зарубіжні держави, розуміючи масштабність проблеми, пов'язаної з накопиченням хімічних джерел струму, проводять кардинальні заходи. В Євросоюзі у вартість батарейок закладається відсоток на утилізацію, і покупець, здавши старі батарейки в магазині, отримує знижку на придбання нових. Виробники і великі магазини, що продають елементи живлення, зобов'язані забезпечувати збір використаних батарейок. Багато європейських країн практикують збір відпрацьованих елементів живлення у спеціальні контейнери, які розміщують у супермаркетах. 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.75).

Збір відпрацьованих елементів живлення строго контролюється законами ЄС: цим серйозно займаються, і пункти прийому відпрацьованих батарейок зустрічаються на кожному кроці. На даний момент в Польщі дотація держави

на переробку тонни батарейок становить 1 500 злотих (10 500 грн.). 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%, завдяки санкціям, що передбачають штраф в 300 євро за викинуті в сміттєвий бак батарейки.



Рисунок 75 - Контейнер для збору відпрацьованих елементів живлення

Переробка гальванічних елементів на сьогодні в Європі є збитковою діяльністю і дотується виробниками. Переробка 1 т гальванічних елементів коштує від 400 до 600 євро. 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. Європейські заводи утилізують в середньому 3 тис т сировини на рік, а в Україні за п'ять років вдалося зібрати лише 200 тонн, що становить всього 1% від кількості щорічно імпортованих у країну батарейок (за даними Держстату - 3,5 тис тонн).

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, наприклад, в гірничо-металургійній промисловості. 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 налічуються сотні, але повним циклом переробки відпрацьованих елементів живлення володіють одиниці. В Європі діє три заводи з повної утилізації і ефективною подальшою переробкою батарейок (в Німеччині, Великобританії і Франції). Основна ж 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.

8.2 Технологія утилізації автономних джерел живлення

Основна мета переробки автономних джерел живлення полягає в нейтралізації небезпечних речовин і запобіганні попаданню небезпечних речовин в навколишнє середовище. Використані батарейки необхідно утилізувати, тому що важкі метали, що містяться в деяких з них, мають властивість накопичуватися в навколишньому середовищу, отруюючи воду і ґрунт. Крім того, зі старих батарейок при переробці можна добувати цинк, магній, марганець, графіт і залізо. В процесі утилізації з батарейок і акумуляторів відбирають вихідні матеріали, з яких можуть бути зроблені нові джерела струму та інша корисна продукція.

Зібрані гальванічні елементи підлягають сортуванню на типи (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 допускаються значні похибки (рис.76). Для автоматизованого сортування батарейок перед утилізацією часто застосовують машину Optisort (Швеція) з штучним інтелектом, яка може ідентифікувати і відсортовувати батарейки на об'єктах утилізації (рис.77). Машина використовує оптичну технологію розпізнавання

типу джерела живлення, прирівнюючи його до еталонних зразків у своїй базі даних, зі швидкістю до 10 акумуляторів за секунду.



Рисунок 76 - Ручне сортування джерел струму

Утилізацію відпрацьованих кислотних гальванічних елементів проводять використовуючи наступні технологічні операції: сортування на стадії збору, подрібнення, лужне вилуговування цинку, фільтрування, електрохімічне вилучення цинку із цинкатних розчинів вилуговування, магнітна сепарація заліза та нікелю із нерозчинного залишку, випалювання залишку.



Рисунок 77 - Автоматизоване сортування джерел струму

Оскільки сольові та лужні елементи живлення містять цінні компоненти у внутрішній частині їх після сортування подрібнюють на шредері. Лужні елементи живлення важче піддаються механічному розділенню. Це зумовлено розміщенням лужного елемента живлення у міцному сталевому корпусі.

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 хлорним сполуками цинку. Далі суміш переміщується у магнітний барабан, який більш повно відокремлює залізо (рис.78). Шляхом термічного окислення горючих матеріалів, за допомогою газового пальника, з шихти випалюються, такі складові як пластмаса та ізоляція.

Нікель-металогідридні батареї економічно найбільш вигідні для утилізації, оскільки при переробці отримують певну кількість вторинного нікелю в такій кількості, що окупує затрати на проведення процесу і переробка стає економічно вигідною.



Рисунок 78. Подрібнена шихта, яка отримана з подрібнених гальванічних елементів

Існують два основних види технологій вилучення вторинної сировини з шихта, яка отримана з відпрацьованих джерел живлення (відеододатки 26-27).

1. 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 металу у вільному вигляді. Гідрометалургійний метод полягає у тому, що відсорваний при подрібненні матеріал з гальванічних елементів заливається сірчаною кислотою. В результаті хімічної взаємодії утворюється соляний розчин, після випаровування якого отримують кристалічні сульфати. При цьому реалізуються 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. Виділення цинку з подрібненого вмісту гальванічних елементів також може здійснюватися електрохімічним методом. З 1 т гальванічних елементів можна отримати 288 кг марганцю, 240 кг цинку, близько 47 кг графіту. Вміст марганцю (28,8%) і цинку (24%) в гальванічних елементах вище, ніж в природних покладах багатих руд. При використанні гідрохімічного методу вдається отримати вторинний літій.

2. Пірометалургійний метод передбачає високотемпературну обробку, наприклад, застосовуючи вакуумну дистиляцію легкоплавкого кадмію. При використанні пірометалургійного методу пластмасова складова і графітний електрод повністю вирають в печі. Кінцеві вторинні продукти - метали Mn, Ni, Co, Fe, Al і Li знаходяться в складі шлаку, який в подальшому можливо використовувати у ролі реагентів в хімічній промисловості, як добавки до бетону, а також в якості добавок до мінеральних добрив.

В Україні утилізація елементів живлення до недавнього часу здійснювалася на львівське підприємстві «Аргентум». Відпрацьовані батарейки та побутові акумулятори для передачі на утилізацію державному підприємству «Аргентум» пункти збору мали запакувати в поліетиленовий пакет, помістити в картонний ящик і переслати поштою. Пряма фінансова вигода від збору батарейок для утилізації відсутня і будується на ентузіазмі екологічних волонтерів. Державне підприємство «Аргентум» за отримані елементи живлення жодних коштів пунктам збору не виплачувало.

На державному підприємстві "Аргентум" дослідно-виробнича дільниця займала площу близько 50 м², а установка дозволяла переробляти до 300 кг батарейок в день. Спочатку відсортовані батарейки подрібнювалися на шредері. Потім шихта поміщувалася у вібросепаратор, де відсіювався порошок графіту. Далі, шихта переміщується в магнітний сепаратор, який відокремлює залізо від цинку. На наявному обладнанні в основному проводився відбір чорних металів і не проводилася утилізація хімічних речовин.

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. Станом на 2018 рік було зібрано 200 тонн пальчикових батарейок. На сьогодні організація уклала договори про партнерство з трьома підприємствами по утилізації батарейок в Європі - Redux в Німеччині, Rescypul 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.

Поруч із звичайними відпрацьованими батарейками та акумуляторами державне підприємство «Аргентум» приймає на оплатних засадах відпрацьовані срібловмісні батарейки з вмістом срібла в залежності від типу 0,076...0,20 грам на одиницю виробу. Срібно-цинкові акумулятори найчастіше використовуються в наручних годинниках, дитячих іграшках, медичних пристроях і іншій малогабаритній техніці (рис.79). Срібно-цинкові акумулятори містять ртуть, яка з часом починає роз'їдати стінки батареї і протікати, тому їх слід утилізувати з особливою ретельністю. Поставка 1 кг відпрацьованих срібловмісних батарейок оплачується в розмірі 400 грн.

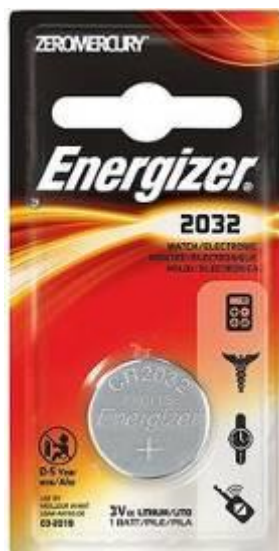


Рисунок 79 - Срібловмістне малогабаритне джерело струму

Державне підприємство "Аргентум" також переробляє відходи і вторинну сировину, 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 добування 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.

8.3 Утилізація літій-іонних акумуляторів

Найвищі затрати характерні для утилізації нікель-кадмієвих і літій-іонних батарей. Вартість переробки літій-іонних акумуляторів, яка сьогодні наближається до 1 євро за 1 кг, приблизно в три рази вища, ніж вартість одержуваних після утилізації матеріалів. В Європі на сьогоднішній день переробляється лише 5% літій-іонних акумуляторів. Це призводить до високих ризиків забруднення навколишнього середовища. Це найпопулярніший тип акумуляторів в таких пристроях як стільникові телефони, ноутбуки, цифрові фотоапарати, відеокамери і електромобілі. 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. Один мільйон електромобілів, проданих по всьому світу в 2017 році, в кінцевому підсумку призведе до 250000 т відходів акумуляторних батарей, з якими світовій інфраструктурі переробки буде важко впоратися. І, хоча електромобільні акумулятори можуть працювати до 20 років, обсяги утворюються від них відходів будуть величезні, оскільки очікується, що продажі електромобілів з року в рік будуть стрімко зростати.

Літій-іонний акумулятор складається з електродів (катодного матеріалу на алюмінієвій фользі і анодного матеріалу на мідній фользі), розділених пористим сепаратором, просоченим електролітом. Пакет електродів поміщений в герметичний корпус. Небезпека даних відпрацьованих джерел живлення складається в їх потенційної вибухонебезпечності (рис.72). Літій-іонні батареї, які отримують механічні пошкодження при зберіганні, при попаданні вологи можуть розігріватися до температури 450⁰С. Цей процес може викликати вибух або стати джерелом пожежі.



Рисунок 80 - Літій-іонна акумуляторна батарея електромобіля

В даний час в масовому виробництві літій-іонних акумуляторів використовуються три класи катодних матеріалів:

- кобальтат літію LiCoO_2 і тверді розчини на основі ізоструктурного йому нікелату літію;
- літій-марганцева шпінель LiMn_2O_4 ;
- літій-феррофосфат LiFePO_4 .

Переробка літій-іонних акумуляторних батарей здійснюється спеціалізованими підприємствами, в розпорядженні яких є відповідне обладнання. Додатково, потрібен спеціальний підбір або навчання робітничих кадрів та дотримання техніки безпеки на виробництві.

Утилізація літій-іонних акумуляторів відбувається в кілька етапів:

- демонтаж корпусу в окремому сухому приміщенні та виймання вмісту акумулятора;
- вимивання солей літію;
- поділ пластин - відокремлення анодних сегментів від катодних;
- очищення пластин від продуктів адгезії;
- відділення та переплавлення отриманих металів – кобальту, міді та алюмінію;
- подрібнення і переробка пластмасового корпусу.

Процес переробки літій-іонних акумуляторів, поки не дозволяє виділяти порівняно не дорогий та не дефіцитний літій, який залишається в складі «побічного продукту». Для отримання літію з цих залишкових хімічних з'єднань потрібний подальший розвиток технологій і значні інвестиції.

Європейська компанія Umicore є піонером в області утилізації електромобільних акумуляторів. Сьогодні це єдиний переробник літій-іонних і NiMH - акумуляторних батарей, який взагалі не піддає їх демонтажу або розбиранні. Батареї цілком завантажуються прямо в піч-реактор. При цьому літій в пірометалургійного процесі Umicore не відділяється, а переходить у шлак, переробка якого ще не розроблена. Метали катода: кобальт, нікель і мідь витягуються на 70% від їх вихідного змісту. Це поки єдина технологія, яка може швидко, хоча і тимчасово, вирішити проблему зростання відходів відслужили електромобілів.

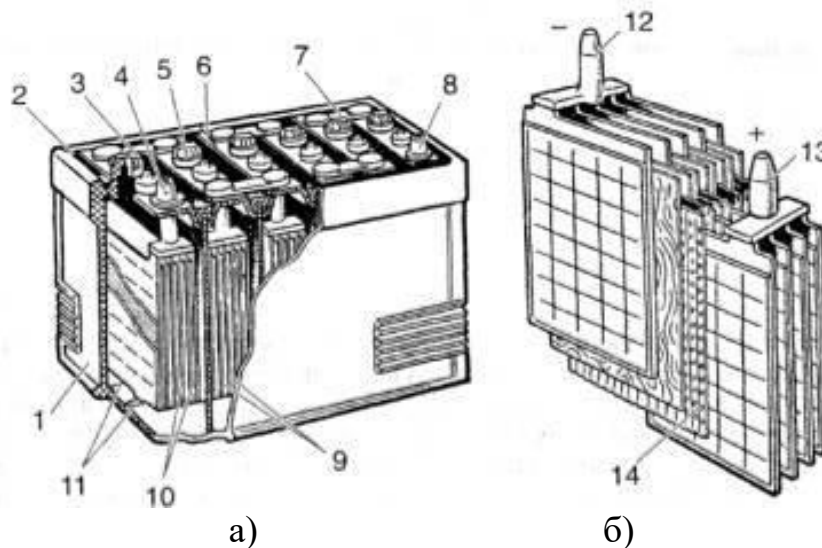
8.4 Утилізація свинцево-кислотних акумуляторів

Свинцево-кислотні акумулятори застосовуються в автомобілях, електромобілях, мотоциклах, джерелах безперебійного живлення, різному промисловому устаткуванні. Для виробництва акумуляторних батарей витрачається від 30 до 45% виробленого свинцю. Акумуляторна батарея слугує для живлення електричним струмом стартера автомобіля під час пуску двигуна, а також усіх інших приладів електрообладнання, коли генератор не працює.

Вона складається з шести свинцево-кислотних двовольтових акумуляторів, з'єднаних між собою послідовно, що забезпечує робочу напругу 12 В в електричній мережі автомобіля (рис.81). 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 скловолокна¹⁴, які виготовлено з пористих пластмас. Пластини відливають у вигляді решіток із свинцю з додаванням до 2% сурми для механічної міцності. У решітку 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 складають у блок так, що позитивні пластини розміщуються між негативними.

Складений акумулятор встановлюють у відділення пластмасового корпусу(банки) й закривають кришкою, що має два отвори для виходу полюсних штирів, а також отвір 3 для заливання електроліту з різьбовою пробкою 5. Акумуляторні блоки з'єднують між собою свинцевими перемичками 7. Полюсні штирі 4, 13 крайніх акумуляторів (плюсовий та мінусовий) призначаються для підключення батареї в мережу електрообладнання автомобіля. 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. 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 забрудника довкілля з досить тяжкими наслідками.



а) б)
 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

Рисунок 81 - Будова свинцево-кислотної акумуляторної батареї:

а - загальний вигляд; б - блок пластин

Свинцево-кислотні автомобільні акумуляторні батареї відносяться до другого класу небезпеки. Збір відпрацьованих автомобільних акумуляторів слід проводити окремо від іншої вторинної сировини. Вони повинні зберігатися в спеціально відведеному місці. Піддон під автомобільні акумулятори повинен бути обладнаний таким чином, щоб запобігти витоку електроліту на ґрунт. При розташуванні піддону додатковими вимогами виступають: наявність твердого покриття і присутність навісу.

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 утилізації 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 тільки 0,3% населення України здає їх для утилізації у спеціалізовані приймальні пункти, 20,5% батарей викидають на сміттєзвалища, 49,6 % - зливають електроліт на землю, і 14,0% - зберігають тривалий час у гаражах. Електроліт, який зливається з цих батарей, витікає в ґрунт та потрапляє у ґрунтові води.

Отримані при утилізації 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. Загущений частинками осаду електроліт нейтралізують гашеним вапном, кальцинованою содою.

Застосовують два варіанти виконання подальшого процесу утилізації (відеододатки 29-30):

- 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 свинцево – вмісна маса проходить просушування.

Відділений вторинний поліпропілен використовують для виготовлення нових корпусів акумуляторних батарей та інших промислових виробів.

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. 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 розливають на злитки (рис.82). Видалення цих домішок забезпечує підвищення якості свинцю. Вторинний свинець відрізняється досить високою чистотою, щоб бути знову з економічною вигодою використаним для виробництва акумуляторів.



Рисунок 82 - Злитки вторинного свинцю

Оксидно-свинцева 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.

Існують також схеми електрохімічної переробки сульфатно-оксидної фракції шляхом її розчинення після попередньої обробки в розчинах гідроксиду

або карбонату натрію з подальшим виділенням свинцю з отриманого електроліту електрорафінуванням. До недоліків електрохімічних технологій переробки відноситься низька продуктивність процесу рафінування.

З 2012 року в Дніпрі почав функціонувати перший в Україні завод з безвідходної переробки використаних акумуляторних батарей ТОВ «Рекуперація свинцю». На заводі використовується закритий технологічний цикл, що дозволяє переробляти всі складові акумуляторних батарей, в тому числі і електроліт. Свинець, який отримується в процесі переробки акумуляторів на виробничих потужностях заводу, використовується при виготовленні нових акумуляторів, кристалічний сульфат натрію - при виготовленні скла, шлак і гранульований поліпропілен - в дорожньо-будівельній промисловості. Проектна потужність підприємства складає переробку 3 млн акумуляторних батарей на рік.

8.5 Утилізація електронного та електротехнічного брухту

Електронний брухт - це морально чи фізично застаріла комп'ютерна техніка, радіопристрої, телекомунікаційне обладнання, а також їх деталі та комплектуючі, які підлягають утилізації (рис.83). Електронний брухт є динамічно зростаючим видом відходів і розробці ефективних технологій їх утилізації приділяється значна увага.

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, великогабаритнеобладнання 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.

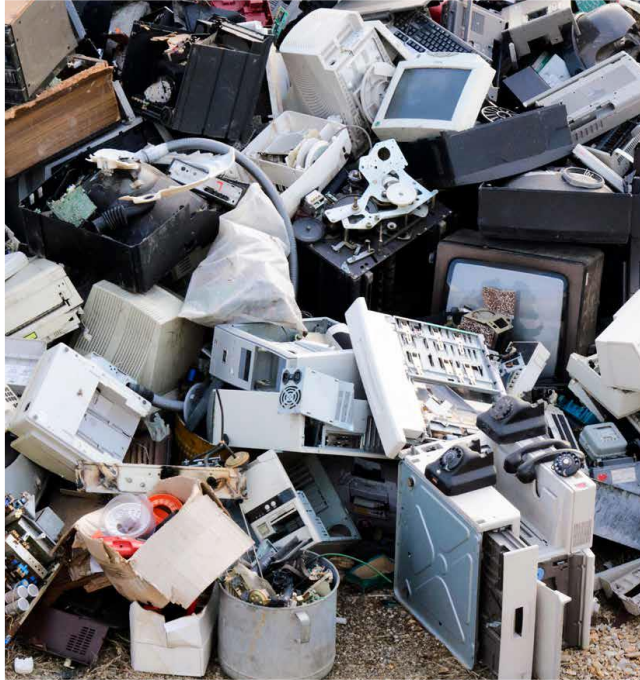


Рисунок 83 - Звалище електронних відходів

У кожного виду електронних відходів, що підпадає під одну з 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. Таким чином, методи збору, логістичні процеси і технології утилізації відрізняються для кожної категорії електронних відходів.

Збільшення обсягу електронних відходів є наслідком швидкого розвитку глобального інформаційного суспільства. З кожним роком насиченість життя людей електронною технікою зростає, знижується її вартість. Населення все більше витрачає коштів на електричне і електронне обладнання, при цьому відповідно виробляючи більше електронних відходів. У багатьох людей є більше ніж один пристрій на базі інформаційно-комунікаційних технологій, а цикли заміни мобільних телефонів і комп'ютерів, а також інших пристроїв і устаткування стають все коротшими. Якщо комп'ютери, випущені у 1992 р.

вважалися морально застарілим через 4,5 роки, то комп'ютери, зібрані у 2015 р. стали вважатися застарілим 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.

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 генерує азіатський регіон (41% за рік у 2016 р.), 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 передається на утилізацію 2,2 млн. комп'ютерів, принтерів і моніторів. За даними експертів, на кожного жителя Євросоюзу утворюється щорічно по 14 кг електронних відходів. До них додається застаріла електрична побутова техніка. У 2018 році світовий обсяг електронних відходів (викинута електроніка і побутова техніка) досяг 48,5 млн. т., що складає понад 6 кілограмів на одного жителя нашої планети. Очікується, що ця цифра до 2050 р. за найгіршим із сценаріїв буде складати до 120 млн т.

В економічно розвинутих країнах з явищем забруднення оточуючого середовища електронним брухтом борються 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», яка визначає нормативи переробки та відновлення електронних відходів на душу населення. З 2005 р. усі європейські виробники зобов'язані безкоштовно приймати для утилізації свою електронну продукцію. При цьому фактично лише 20% електронних відходів утилізується за відповідними технологіями.

У 2018 році Держави - члени Міжнародного союзу електрозв'язку встановили глобальний цільовий показник по електронним відходам на 2023 рік - збільшити глобальний коефіцієнт утилізації електронних відходів до 30%,

та до 50% частку країн, що мають законодавство по поводженню з електронними відходами.

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.12). Також ці відходи можуть містити галогенізовані речовини - хлорфторкарбони, фреони, поліхлоровані біфеніли, полівінілхлорид і бромовмістні антипірени, азбест. Загальна вартість всіх сировинних матеріалів, які наявні в електронних відходах, в 2016 р. оцінювалася приблизно в 55 млрд. євро.

Існує ряд способів позбавлення від електронних і комп'ютерних відходів, з них 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 «багаті» миш'яком, свинцем і ртуттю, дроти виділяють при розкладанні хлор і діоксини, а тонер картриджів - частинки ціаніду. Пластикові деталі і корпуси приладів здатні виділяти біологічно активні низькомолекулярні хімічні речовини протягом десятків років. Надзвичайну шкоду людському здоров'ю і навколишньому середовищу наносить спалювання електронного брухту з метою швидкого відділення металевих складових.

Ціни продажу нових електронних пристроїв слабо відображають безпосередньо вартість самих матеріалів, з яких такі пристрої виготовлені. Наприклад, при продажу нового мобільного телефону вагою 90 гр. з ціною близько 200 євро, вартість цінних металів і пластмас, що містяться у його складі становить лише 2 євро. Однак приймаючи до уваги, що з 2016 року було викинуто приблизно 435 тис. т. мобільних телефонів, сумарна вартість сировинних матеріалів в них (золото, срібло, мідь, платина) склала 9,4 млрд. євро. У зв'язку з трендом на мініатюризацію електронних пристроїв і впровадженням нових сплавів, використання дорогоцінних металів у виробництві одиниці техніки знижується. В той же час в комп'ютерній та

телекомунікаційній техніці поступово збільшується вміст рідкоземельних металів.

Таблиця 12 – 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 світлодіодах
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	Батарейки, лампи підсвічування або плоскі панельні дисплеї, вимикачі та термостати, люмінесцентні лампи
Поліхлоровані біфеніли (ПХБ)	Електроізолюючі рідини в конденсаторах, трансформаторах
Полівінілхлорид (ПВХ)	Монітори, клавіатури, кабелі та корпуси комп'ютерів
Селен	Старі фотокопіювальні машини

Токсичні хімічні елементи, що містяться у відходах електроніки, без правильної їх утилізації можуть завдати непоправної шкоди навколишньому середовищу. Для охорони навколишнього середовища, електронні відходи обов'язково потрібно направляти на переробку та утилізацію. Але переробка і утилізація електроніки - це технологічно складний процес, який обходиться досить дорого. Головна його складність полягає в наявності речовин, що вимагають різних методів переробки. Значне збільшення кількості зібраних електронних відходів дозволить зробити процес переробки економічно вигіднішим, а збільшення доходів забезпечує стимул для переробки та інвестування в нові та більш ефективні технології переробки. У більшості

випадків електронні електронні відходи містять більший відсоток ряду металів у порівнянні з їх вмістом у рудній сировині.

Тенденцією останніх років є вкладання значних інвестицій у розробку майбутніх електронних продуктів з мінімальним використанням токсичних металів та сполук, дорогоцінних металів, а також пластикових компонентів з обмеженим викидом токсичних побічних продуктів при спалюванні.

Найдієвішим і безпечним методом утилізації є застосування комплексної переробки електронного брухту. З 1 кілограма старих мобільних телефонів можна отримати 200 міліграмів чистого золота. З тієї ж маси руди вийде в 40 разів менше дорогоцінного металу. Певна кількість дорогоцінних металів застосовується в напівпровідникових приладах (оптронах, стабілітронах, діодах, транзисторах, тиристорах тощо), а також у радіолампах. Рекордсменом за вмістом дорогоцінних металів є конденсатори в апаратурі для військової техніки. В цьому процесі особлива увага приділяється контактним штирям і гніздам, роз'ємам, радіочастотним з'єднувачам, відокремлюються посріблені елементи (екрани, хвилеводи, шасі приладів). Технології отримання дорогих чистих і благородних металів при утилізації електронних відходів на сьогодні є рентабельним бізнесом. За статистикою більше 80% срібла, яке використовується у промисловості, споживає електротехнічна галузь для виробництва електро- і радіотехніки. Витяг дорогоцінних металів із відходів радіоелектронної промисловості гідрометалургійним методом є на сьогоднішній день перспективним напрямком у галузі переробки та виробництва вторинних дорогоцінних металів. Вміст міді у масі електронних відходів може бути в 10...100 разів більшим, ніж у мідній руді.

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 відслужилі мобільні телефонні апарати і «утилізувати їх відповідно до законів про охорону навколишнього середовища». 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. У класичному випадку утилізація мобільного телефона починається з сортування. Фірма Nokia, наприклад, має пункти збору своїх мобільників більш ніж в 80 країнах світу.

Масштабне ручне розбирання електронних відходів не вигідне в промислово-розвинених країнах, тому що ефективність їх збору низькодохідна, а ефективна переробка вимагає значних інвестицій. Механізована переробка електронних відходів поки що не витримує конкуренції 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.

Утилізація побутової техніки, комп'ютерів і електроніки передбачає багатоступінчастий процес, в який входять 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.

Знайшли розповсюдження чотири основних способи переробки електронного брухту:

- механічний (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 подріблених відходів.

Переробка радіоелектронного брухту вимагає великих затрат ручної праці. Дрібні вузли проходять ручне і механізоване розділювання з відділенням окремих виробів (трансформаторів, конденсаторів і т.д.), а також деталей що містять дорогоцінні метали, брухт із сплавів кольорових і чорних металів,

неметалевих відходів. Найчастіше з електронних плат з радіoeлементами, виділяють 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 радіoeлектронних елементів (наприклад, напівпровідникових приладів).

США відправляє електронні відходи в Південну Азію і Африку, де робочі вручну розбирають прилади в пошуках металів. Вони спалюють відходи на відкритому повітрі, опускають його в кислотні ванни, а потім просівають залишки в пошуках потенційно цінних металів, наприклад, золота.

Диференційована ручна обробка, передбачає розбирання блоків, вузлів виробів з максимальним використанням інструменту для вилучення навісного монтажу та отримання різних концентратів (відеододаток 31). Продуктивність таких робіт за зміну одним працівником не перевищує 150...200 кг, що є основним стримуючим фактором продуктивності утилізації. Першим етапом утилізації електронної техніки є видалення небезпечних компонентів ручним способом - кінескопів з моніторів і телевізорів, акумуляторних батарей з ноутбуків, екранів з інших пристроїв. Також для вінчестерів, ноутбуків і комп'ютерів має бути передбачено обов'язкове знищення всіх даних за допомогою спеціальної програми заводу з переробки.

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 заводах з виробництва акумуляторних батарей. Друкована плата, яка містить у своєму складі дорогоцінні метали, від'єднується від елементів корпусу і передається на подрібнення. Пластиковий корпус телефону подрібнюється на дрібні шматочки, які, найчастіше, відправляють на використання у якості добавок до складу дорожнього покриття.

Після ручного відділення найбільш цінних компонентів певні види складових брухту піддають подрібненню 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.

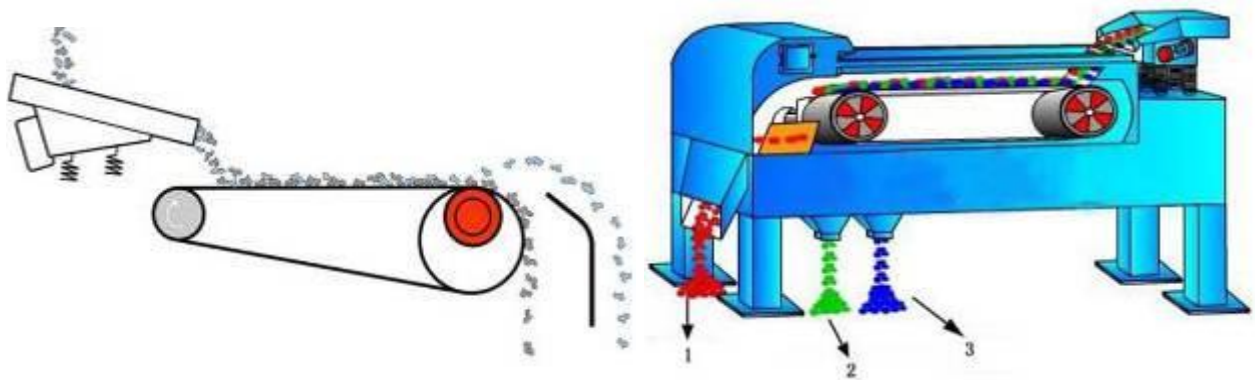
Розроблено ряд технологій й устаткування для механізованого вилучення кольорових і благородних металів з вузлів застарілих комп'ютерів: панелей, друкованих плат, сполучних елементів тощо. Лом попередньо подрібнюють в двовалковій дробарці і подають в магнітний сепаратор для відділення магнітних складових. Однорідність за геометричними розмірами подрібнених частинок електронного брухту можуть забезпечити 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 у шнековому механізмі рідким азотом. Охолоджений матеріал подрібнюється в молотковій дробарці до фракції менше 3 мм, що дозволяє більш точно розділити суміші на кольорові метали і пластмасу. Феромагнітні метали виділяються за допомогою магнітного сепаратора, легка фракція - за допомогою повітряної сепарації, а подальша обробка немагнітної фракції за допомогою електростатичної або вихорострумової сепарації дозволяє розділити неметали і метали. Дану технологію доцільно використовувати при переробці брухту кабелю з мідною жилою для вилучення міді.

Першим етапом розділення подрібненого електронного лому є відбір з суміші феромагнітних матеріалів за допомогою магнітного сепаратора. Для відділення від подрібненої маси немагнітних металів застосовують вихорострумові сепаратори кольорових металів (рис.84). 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 частинки кольорового металу проходять над барабаном, змінне магнітне поле створює в них вихрові струми, перпендикулярні магнітному потоку змінного поля. Ці вихрові струми, в свою чергу, породжують магнітне поле, протилежне

полю, створеному ротором. Дане магнітне поле 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. Таким чином, вихрові струми впливають на траєкторію польоту кольорових металів, які скидаються з конвейерної стрічки.

Алюміній добувають з подрібненого лому за допомогою електролізу. Сухий залишок містить суміш пластика і міді, який розділяють способом флотації.



а) б)
1- немагнітний електропровідний металевий матеріал;
2- неметалеві матеріали; 3 - пил

Рисунок 84 - Вихрострумний сепаратор:

а) схема роботи; б) зовнішній вигляд установки

Відділення від благородних металів кольорових металів і отримання продуктів з вмістом благородних металів понад 50% 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 розчиненням в азотній кислоті (без розчинення благородних металів) з подальшим виділенням міді з розчину.

Способи добування золота з друкованих плат зводяться до травленню 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%.

До недавня для візуального представлення інформації в персональних комп'ютерах та телевізорах використовувалися монітори з електронно-променевою трубкою (відеододаток 32). Проте, ера використання кінескопів практично закінчилася, а на зміну їм приходять більш досконалі рідкокристалічні і плазмові дисплеї. Зворотною стороною цього прогресу стало накопичення для утилізації надзвичайно великої кількості моніторів і телевізорів з електронно-променевими трубками.

Співвідношення ручної і автоматизованої праці на заводах з переробки комп'ютерної техніки залежить від її типу. Для моніторів з електронно-променевими трубками це співвідношення приблизно 1:1 (розбирання старих кінескопів є досить трудомістким зайняттям). Для системних блоків і оргтехніки доля автоматичних операцій є дещо вищою.

Перший етап утилізації моніторів і телевізорів завжди виконується вручну. Це - видалення усіх небезпечних компонентів. На цій операції демонтується корпус, друковані плати, динаміки, дроти, захисний металевий кожух, відхиляюча система і електронна гармата. 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 також зрізується. Усі ці компоненти передаються на подальшу переробку. У результаті залишається лише кінескоп, який необхідно розділити на конус і екран, які мають різний хімічний склад використовуваного скла - свинцеве і барієво-стронцієве. На практиці розділення конуса і екрану виконується за допомогою алмазної пилки, або розжареного ніхромового дроту. На виході отримують два види скла

Існуючі методи утилізації свинцевого скла і 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 та ін. Будівельні матеріали з підвищеним вмістом свинцевого скла можуть використовуватися в матеріалах для захисту від рентгенівського випромінювання.

Інша категорія продукції, потреба в утилізації якої швидко розширюється є ноутбуки. 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 окремо у подрібнювач-шредер. Усі подальші операції з подрібленими відходами проводяться на автоматизованому обладнанні. Подрібнені в гранули залишки комп'ютерів піддаються сортуванню.

На сьогоднішній день спостерігається швидкий розвиток сонячної енергетики. За один тільки 2017 рік у світі було введено в експлуатацію сонячних електростанцій потужністю близько 100 ГВт. На даний час обсяги відпрацьованих сонячних батарей ще невеликі, оскільки галузь молода, а гарантійний термін служби фотоелектричних модулів зазвичай становить понад 25 років. У той же час, у недалекому майбутньому людство очікує експоненціальне зростання кількості таких відходів і проблема утилізації сонячних панелей встане на повний зріст. Розповсюджені модулі сонячних батарей складаються (по масі) з 76% скла, 10% полімерних матеріалів, 8% алюмінію, 5% кремнієвих напівпровідників, 1% міді, менш 0,1% срібла і інших металів, включаючи олово і свинець (рис.85). До складу сонячних панелей деяких типів, наприклад тонкоплівкових, входять отруйні сполуки - телурид кадмію, диселенід міді та індію. В даний час при утилізації сонячних батарей виділяються тільки їх основні складові матеріали - скло, алюміній і мідь, в той час як інші матеріали, такі як пластмаси, спалюються або відправляються на полігони. Така груба переробка аналогічна існуючій технології повторного використання ламінованого скла в інших галузях промисловості і не забезпечує

відновлення екологічно небезпечних (Pb, Cd, Se) або цінних (Ag, In, Te, Si) матеріалів. Більшість компаній, які виробляють сонячні батареї, працюють над створенням технології ефективної екологічно чистої утилізаційної переробки цієї продукції.



Рисунок 85 - Відходи відпрацьованих сонячних батареї

Найважливішим етапом екологічно чистої утилізації холодильників і кондиціонерів є відкачка з системи фреону - речовини, яке є визнаним руйнівником озонового шару в земній атмосфері. При утилізації цих приладів є недопустимим попадання фреону в навколишнє середовище. Основні етапи заводської утилізації 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, проколуються 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 90⁰С. 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 подрібленої поліуретанової піни (дегазація) здійснюється шляхом нагрівання протягом 6-7 годин. Для забезпечення екологічної безпеки використовуються заповнений активованим вугіллям адсорбер, що дозволяє відібрати до 90% газів, що містяться в піноматеріалі. Ці гази зріджуються при охолодженні і зливаються в бочки.

Цінною сировиною для утилізації є кабельно-провідникова продукція, яка є цінним джерелом вторинних міді і алюмінію. Для всієї кабельно-провідникової продукції характерною є наявність полімерного ізолюючого шару. 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 необхідності 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 - на виході отримують розділені частки полімерів і металу з високим ступенем очищення.

Мідна січка затребувана в металургії, електроенергетиці, електротехнічній галузі. З гранул отримують мідні сплави і фольгу. Вони потрібні для мідьвміщуючої продукції (нових провідників, контактів, теплообмінників тощо). Вартість видобутої і збагаченої первинної міді значно перевищує ціну мідної січки, одержуваної при утилізації дротів.

Відновлений алюміній придатний для виготовлення віконного профілю, оздоблювальних матеріалів, сайдингу.

Таблиця 13 – 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 Токопровідні 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 (тетрагідрофуран, циклогексанон)	Вихід до 99% чистого металу Відновлення полімерної ізоляції Переробка 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

У рециклінгу бере участь і полімерна ізоляція струмопровідних жил (табл.13). Ізоляційну крихту використовують для виготовлення нової кабельно-провідникової ізоляції, віконних ПВХ конструкцій, синтетичних волокон, труб, пакувальних матеріалів.

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.

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. УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

В умовах постійного підвищення цін на викопні енергоносії, а також виснаження запасів нафти і газу все більша кількість країн розвивають альтернативні джерела енергії. Для України біоенергетика є одним із стратегічних напрямків розвитку сектору відновлюваних джерел енергії, враховуючи високу залежність країни від імпортованих енергоносіїв, в першу чергу, природного газу, і великий потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії.

Біомаса - біологічно відновлювана речовина органічного походження, що зазнає біологічного розкладу (відходи сільського господарства, лісового господарства та технологічно пов'язаних з ним галузей промисловості, а також органічна частина промислових та побутових відходів. Біомаса, головним чином у формі деревного палива, є основним джерелом енергії приблизно для 2 млрд. людей на земній кулі. Для більшості жителів сільських районів «третього світу» вона являє собою єдино доступне джерело енергії. У якості джерела енергії біомаса все частіше відіграє важливу роль і в розвинених країнах.

До органічних відходів сільськогосподарського виробництва, які є сировиною для біоенергетики, в першу чергу, є екскременти тварин, а також рослинні матеріали, особливо солома, а також бурякове і картопляне бадилля і інші рослинні залишки, якщо вони не використовуються безпосередньо у якості корму. Компоненти, що містяться в цих органічних матеріалах, у більшості випадків можуть бути знову використані як рослинні добрива, що дозволить замінювати мінеральні добрива. Тварини в повному обсязі не засвоюють енергію рослинних кормів і більше половини її переходить у гній, який є, після того чи іншого виду переробки, цінним органічним добривом. Завдяки відносно високій теплоті згорання ці матеріали також можуть використовуватися як сировина для виробництва біопалива. На сьогоднішній день частка біомаси у валовому кінцевому енергоспоживанні України становить 1,78%.

Підвищену небезпеку для навколишнього середовища становлять масштабні відходи великих тваринницьких комплексів та птахофабрик. Термін «відходи тваринництва» означає наступні різновиди органічної сировини:

- свіжі екскременти, включаючи тверду і рідку фракції;
- тверді залишки після просочування в ґрунт рідини, випаровування води або вилугування розчинних поживних речовин;
- рідка фракція, що виділяється із загальної маси відходів;
- тверді залишки, що утворилися після зберігання гною.

Без відповідної обробки 70% цих відходів можуть використовуватися як малоцінне органічне добриво, а інша частина переходить в поверхневі і підземні води, забруднюючи їх, роблячи не придатними для питного водопостачання.

Біологічне розкладання органічних сполук, а також частини легколетучих і різкопахнучих речовин, що містяться передусім 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 вільно вигульовому утриманні, 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.

Згідно оцінок Всесвітньої організації з продовольства та сільського господарства, тваринництво є причиною утворення 18 % від усіх викидів парникових газів, що є більшим, ніж викиди від транспорту.

Методи, які застосовуються для утилізації відходів сільськогосподарського виробництва, повинні задовільняти наступні вимоги захисту навколишнього середовища:

- усунення розповсюдження неприємних запахів при отриманні і зберіганні відходів;
- відвертання контакту людей і тварин з продуктами, зараженими збудниками хвороб;

- відвертання забруднення ґрунту, води і рослин шкідливими речовинами.

Біоконверсія – це трансформація органічних речовин з однієї форми в іншу під дією біологічних агентів (живих організмів чи ферментів). За допомогою сучасних методів біоконверсії з відходів різного походження одержують різноманітну продукцію – високоякісне органічне добриво, білкові та вітамінні кормові добавки, альтернативні джерела енергії тощо. Розкладання біовідходів може відбуватися без доступу повітря (анаеробні процеси) та з доступом повітря (аеробні процеси).

9.1 Анаеробні процеси утилізації відходів сільськогосподарського виробництва

Успішне майбутнє України неможливе без потужного аграрного сектору з розвинутим тваринництвом. Одним із перспективних напрямів для України є виробництво альтернативних джерел енергії в процесі переробки біомаси відходів тваринництва (гнойового посліду тварин птахів) шляхом анаеробного зброджування. В результаті застосування такої технології метанового зброджування тваринницької біомаси утворюється відновлювальне джерело енергії - біогаз, який може використовуватися у якості доповнення та заміни традиційних паливно-енергетичних ресурсів. У результаті багаторічного досвіду людство прийшло до висновку, що біогаз можна виробляти штучно в спеціальних установках при анаеробному бродінні біомаси, де відбувається його біоконверсія з органічної сировини. У своєму складі біогаз без додаткової очистки містить метан (CH_4) – 65...70%, вуглекислий газ (CO_2) до 30%, незначні домішки водню (H_2) і сірководню (H_2S), азоту, ароматичних вуглеводнів, галогено-ароматичних вуглеводнів. По теплоті згоряння 1 м³ біогазу еквівалентний 0,8 м³ природного газу чи 0,7 кг мазуту. Теплотворна здатність біогазу складає від 5000 до 8000 ккал/м³. Теоретичний потенціал річного виробництва біогазу в Україні складає 3,2 млрд. м³. Біогазом можна користуватися подібно до природного газу: накопичувати, перекачувати,

виробляти з нього електроенергію, використовувати як паливо для двигунів внутрішнього згоряння.

Сировину, що піддається метановому бродінню, 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 відходи, комунальні стоки тощо.

У європейській практиці 75% біогазу виробляється з відходів сільськогосподарства, 17% – з органічних відходів приватних домогосподарств і підприємств, ще 8% – з муніципальних каналізаційних стоків та каналізаційних стоків окремих виробництв.

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.

Біогаз та біодобриво можна ефективно виробляти не тільки з відходів тваринництва, а і з рослинної сировини. Вихід біогазу з такої сировини значно більший, ніж із гною і пташиного посліду. За кордоном чимало фермерських господарств для одержання біогазу засівають окремі поля кукурудзою, силосують її і протягом року ефективно використовують у якості сировини для виробництва біогазу. Таку перспективу не можна виключати і в Україні, особливо на віддалених територіях, до яких постачання природного газу та електроенергії є дороговартісним. В процесі біоконверсії утворюється біогаз у кількості, яка значно перевищує кількість необхідну для підтримання заданого температурного режиму мікробіологічного синтезу. Виробництво енергії з біогазу, у порівнянні з використанням викопних видів палива, не наносить шкоди оточуючому середовищі, оскільки не спричиняє додаткового утворення парникового газу CO₂ та зменшує кількість органічних відходів.

Виробництво біогазу дозволяє скоротити кількість викидів метану в атмосферу. Метан вносить серйозні корективи до стану атмосфери Землі. У

створенні парникового ефекту метан має в 21 раз сильніший негативний вплив, ніж двоокис вуглецю CO_2 . Таким чином, виробництво біогазу і подальше його використання для виробництва тепла і електроенергії є ефективним засобом боротьби з глобальним потеплінням. Субстрат, яка залишається після виробництва біогазу, доцільно використовувати в сільському господарстві у якості добрива. Перевагою анаеробного зброджування є підвищення вмісту азоту в кінцевому субстраті, що важливо для живлення рослин (при аеробному зброджуванні втрати азоту досягають 40%). Такі добрива, на відміну від мінеральних добрив, ефективно впливають на ґрунт та на розвиток рослин, не ведуть до забруднення ґрунтових вод.

Джерелом отримання біогазу також можуть бути осади, які утворюються при очищенні міських і промислових стічних вод, які мають у своєму складі велику кількість органічних речовин. Анаеробна утилізація осадів міських і промислових стічних вод забезпечує вирішення важливих екологічних, енергетичних і соціальних проблем міст, особливо мегаполісів.

Таблиця 14 – Потенціал виробництва біогазу в Україні

Тип підприємства	Основний вид відходів	Кількість компаній, од.	Усього відходів, млн т/рік	Потенціал виробництва біогазу, млн. куб. м/рік
Тваринницькі ферми	Гній	5734	20,5	719
Свиноферми	Гній	6515	4,7	180
Птахофабрики	Послід	861	2,9	326
Пивоварні	Після-спиртова барда	50	1,4	171
Цукрозаводи	Меляса	184	6,5	216
Спиртозаводи	Після-спиртова барда	82	4,5	180
Переробка молока, сироваріння	Молочна сироватка	300	2,5	90
Енергетичні плантації	Силос кукурудзи		842000 га	1610
Разом			43,9	3492

Накопичений світовий і вітчизняний досвід переконливо доводить, що розширення використання біогазових установок допоможе в реалізації державної політики, спрямованої на розвиток інноваційних технологій, утвердження України як високотехнологічної держави. Використання біомаси та біогазу має значний потенціал виробництва тепла та електроенергії завдяки наявним залишкам рослинництва та тваринництва у сільському господарстві, сприятливим кліматичним умовам, наявністю сільськогосподарських угідь, відносно недорогою робочою силою та великою кількістю полігонів твердих побутових відходів (відеододаток 34).

У 2015 р. потенціал біомаси був достатнім для заміщення близько 27 млн т умовного палива на рік. Відповідно до розрахунків Біоенергетичної асоціації України, нові біоенергетичні потужності, встановлені в 2015 р., дозволили замінити близько 500 млн куб. м природного газу, а фактично біоенергетика замістила 3 млрд куб. м газу на рік. Станом на 2017 рік, в Україні працюють близько десяти великих біогазових установок, при цьому в Україні використовується менше 5% потенціалу біогазу від підприємств агропромислового комплексу.

Біогаз утворюється в результаті анаеробного мікробіологічного розкладання органічних речовин, яке відбувається внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів і супроводжується рядом біохімічних реакцій. 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 від +5 до +20° С; мезофільні – їх температурний режим від +30 до +42° С; термофільні – працюють в режимі від +54 до +56° С. Для виробництва біогазу найбільший інтерес представляють мезофільні і термофільні бактерії, що ферментують органіку при більшому виході газу. В цілому, умови анаеробного способу бродіння забезпечуються, якщо сировинний матеріал знаходиться в зрідженому стані при вологості субстрату до 50% при температурі не вище 70 °С. Застосування мезофільного режиму є більш доцільним. В порівнянні із

термофільним режимом він є економічно вигіднішими та дешевшим. Термофільна ферментація (при 50...57°C) відбувається інтенсивніше, ніж мезофільна, але процес є менш стабільним.

Бактерії, що виробляють метан, зустрічаються в природі повсюдно, зокрема в екскрементах тварин. Вважається, що в гної великої рогатої худоби є повний набір мікроорганізмів, необхідних для його зброджування. Додавання до субстрату суміші ензимів, пробіотиків та мікроелементів дозволяє без змін в конструкції біогазової установки додатково збільшити вихід біогазу на 20 - 40%, полегшити зброджування важкорозкладаємих 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.

Переробка сировини відбувається в ході складних взаємодій у змішаних популяціях бактерій, відомих під загальною назвою метаногенів. Процес зброджування органічних відходів сільськогосподарського виробництва на метан складається з 4 фаз (рис.86).

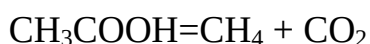
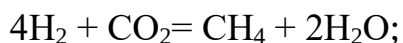
Перша фаза - гідроліз, коли за допомогою різних бактерій переробляють високомолекулярні речовини (білок, жири, вуглеводи, целюлозу) за участі ферментів у низькомолекулярні речовини. Під час гідролісної фази у результаті життєдіяльності бактерій стійкі субстанції (протеїни, жири і вуглеводи) розкладаються на прості складові (амінокислоти, глюкозу, жирні кислоти).

Друга фаза – кислотоутворююча переробка сировини за допомогою ферментних бактерій. Кислотогенез, як правило, найшвидша стадія анаеробного перетворення складних органічних речовин. Утворені під час гідролісної фази прості складові розкладаються на нестійкі органічні кислоти, етанол, альдегіди, водень, вуглекислий газ, а також такі гази, як аміак і сірководень. Цей процес протікає до тих пір, поки розвиток ферментних бактерій не сповільниться під впливом утворених ними кислот. У цьому процесі частково беруть участь аеробні бактерії, що споживають залишки

кисню, створюючи при цьому необхідні для метанових бактерій анаеробні умови.

Третя фаза – сполуки, які утворилися в процесі другої фази, ацетогенні бактерії перетворюють в ацетати, вуглекислий газ і водень. З кислот, утворених під час кислотоутворюючої фази, під впливом ацитогенних 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 цієї реакції утворюється більше 70% метану. Швидкість і масштаби анаеробного бродіння під дією метаногенних бактерій залежать від їх метаболічної активності. 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. Утворення метану відбувається за такими спрощеними реакціями:



Метанове бродіння – процес ендотермічний, який потребує постійного підігріву для підтримки температури ферментації. Для анаеробного утворення біогазу необхідно: відсутність вільного кисню; висока вологість (75...92 %); відсутність освітлення; достатня кількість азоту; відповідна температура.

Біоконверсійна активність і репродуктивна здатність мікроорганізмів знаходяться у функціональній залежності від температури. Температура впливає на об'ємі склад біогазу, який можна отримати з сировини, а також на тривалість процесу бродіння. Мета ноутворюючі бактерії належать до древніх архебактерій. 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 трактах живлення ряду інших тварин. Метанові 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. Більшість установок працюють в мезофільному режимі. Застосування термофільних умов рекомендується, коли завдання знищення патогенних мікроорганізмів є превалюючим. Встановлено, що результат утворення метану при 45°C нижчий ніж у процесі при 40°C, що пов'язано з існуванням як мезофільного (40°C), так і термофільного (60°C) робочого діапазону метаноутворення. Мікробіологічна активність практично припиняється, якщо температура біомаси знижується до 15°C.



Рисунок 86 – Процес утворення біогазу

Гідролізні та кислотоутворюючі бактерії в кислому середовищі з рівнем рН 4,5...6,3 досягають оптимуму своєї активності, тоді як для ацетогенних і метаногенних бактерій оптимальним є нейтральне або слаболужне середовище з рН 6,8...8. До речовин, які перешкоджають життєдіяльності мікроорганізмів, відносяться важкі метали і їх солі, лужні метали, лужноземельні метали, аміак, нітрати, сульфіді, органічні розчинники, антибіотики.

Біогазовий комплекс – це складний інженерний об’єкт, що складається з декількох 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 субстрату).
6. Газгольдер і газове господарство.
7. Система очищення біогазу.
8. Когенератор.
9. Сепаратор для поділу рідкої та твердої фракції відпрацьованого субстрату (отримання рідкого та твердого органічного добрива).
10. Контрольний пункт для операційного управління біогазовою станцією.
11. Лабораторія для контролю характеристик субстрату.
12. Електрощитова.

Різноманітні біогазові установки широко представлені на світовому ринку обладнання. При проектуванні та виборі устаткування беруть до уваги вид сировини та кінцеву мету (виробництво теплової енергії для власних потреб або випуск електроенергії з метою продажу). Вони можуть бути скомплектовані, виходячи з потреб і наявних об’ємів сировини конкретного виробництва (рис.67-68).

Головним елементом біогазової установки є метантенк - бродильний реактор циліндричної форми, у якому відбуваються процеси ферментації і доброджування органічних відходів. У якості сировини для біогазових установок крім тваринного гною і посліду птахів широко використовують залишки продуктів харчування, відходи рослинництва (солома, гичка), спиртового виробництва (барда) тощо.

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. Чим дрібніші частки субстрату, тим більша площа поверхні їх контакту з бактеріями, в результаті чого період бродіння скорочується, а метаноутворення прискорюється. При необхідності проводиться додаткове подрібнення субстратів перед подачею в метантенк. 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.

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 виході установки утворюється два продукти: біогаз і зброджений гній.

До конструкції метантенка пред'являються наступні вимоги:

- абсолютна герметичність стінок, що перешкоджає попаданню повітря в метантенк;
- непроникність для рідин;
- витримування навантажень під дією власної ваги установки і ваги завантажуваного субстрату;
- досконала теплоізоляція;
- висока корозійна стійкість застосовуваних матеріалів;
- надійність герметичності механізмів завантаження і вивантаження;
- доступність внутрішнього простору метантенку для обслуговування.

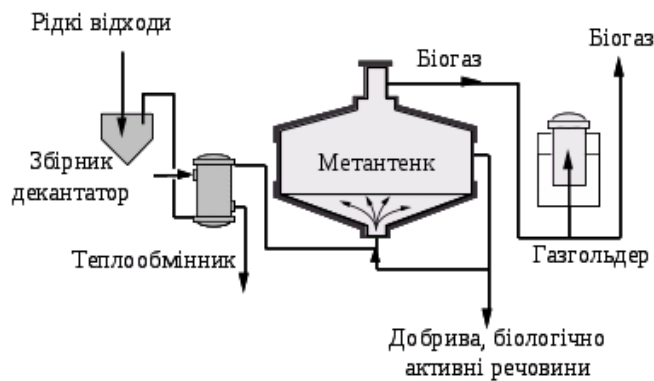
Метантенк є газонепроникним, утепленим, повністю герметичним резервуаром. Матеріалом для виготовлення промислових метантенків найчастіше служить залізобетон, нержавіюча сталь або сталь з антикорозійним емалевим покриттям, склопластик. Реактор повинен мати люк, який

призначений для проведення профілактичних і ремонтних робіт всередині реактора.

Резервуар обладнаний усередині міксерами, що проводять періодичне переміщування субстрату (рис. 87б). Це сприяє певній однорідності ферментаційної суміші, частково стримуючи утворення поверхневої кірки, вирівнювання температури в об'ємі завантаженої біомаси.

Конструкція метантенку передбачає підтримання оптимальної для розвитку мікроорганізмів температури термофільного режиму бродіння. В якості нагріваючих елементів застосовують теплообмінники у вигляді змійовиків, секцій радіаторів або паралельно зварених труб, де теплоносієм служить гаряча вода температурою біля 60°C. Теплообмінники рекомендується розташовувати в зоні дії перемішуючого пристрою. Вища температура підвищує ризик налипання зважених частинок на поверхні теплообмінника. Для підтримки теплового режиму в реакторі витрачається від 20 до 50 % виробленого біогазу в залежності від температури навколишнього середовища.

У найпростіших біореакторах першого покоління всі процеси протікали в одній ємності без поділу на стадії, для інтенсивного протікання яких необхідні різні умови. В біореакторах наступних поколінь втілюються технології, що ґрунтуються на розділенні процесу метанового бродіння на фази: кислотну та метанову. Двофазний процес здійснюється у двох реакторах, що з'єднані послідовно. Швидкість подачі сировини та об'єм реакторів розраховані так, щоб у першому протікала тільки стадія утворення кислот, значення рН середовища не повинно перевищувати 6,5. Цей субстрат подається у другий реактор, в якому з великою швидкістю протікає безпосередньо утворення метану. Двофазний процес дозволяє збільшити загальну швидкість метаногенезу у 2...3 рази. При використанні двофазного процесу, з метою додаткової генерації товарного біогазу процес бродіння в першому ферментері роблять при 35 - 37°C, а у другому – при 55°C.



а)



б)

Рисунок 87 - Схема установки для виробництва біогазу (а); огляд внутрішнього робочого простору метантенку (б)

Виділений у процесі ферментації біогаз накопичується під куполом метантенку, потім проходить систему очищення і подається споживачам (котел або когенераційна установка). Зверху на метантенку герметично кріпиться газгольдер - сховище біогазу. Система газгольдера має двошарову конструкцію. Зовнішній купол-чохол, який має стійкість до ультрафіолетового випромінювання, атмосферних опадів та горіння, 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. Запас об'єму газгольдерів складає від 0,5 до 1 дня роботи метантенку. 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.

Біогаз перед подачею до газотранспортної мережі проходить очищення та збагачування до біометану в установках з біогазовими мембранами. Збагачений біогаз (біометан) може використовуватися як паливе в автомобілях на природному газі, на когенераційних установках або для виробництва тепла у високоефективних газових конденсаційних котлах. З газгольдера біогаз

подається на систему розділення сепаратором на метан і суміжні гази. Очищення від основних домішок (CO_2 , H_2S), які знижують теплотворну здатність біогазу і викликають значну кислотну корозію технологічного обладнання, здійснюють обробкою лужними розчинами. Очищений біогаз зберігається в газгольдерах, які виконані у вигляді мішка з високоміцного полівінілхлориду, стійкого до перепаду температур. Тиск газу всередині газгольдера становить 0,5 МПа, об'ємом до 4000 м³.

Одразу після утворення біогаз може бути спалений для виробництва електроенергії та тепла або поданий напряму до бойлера для виробництва тепла. Когенераційні установки являють собою обладнання для комбінованого виробництва електроенергії й тепла. У складі когенераційних установок застосовуються газопоршневі двигуни внутрішнього згоряння, пристосовані до роботи на біогазі. Тепло можна одержувати як при охолодженні двигуна в когенераційній установці, так і при спалюванні біогазу напряму. Спалювання виробленого біогазу у когенераційних модулях перетворює метан у вуглекислий газ та знижує вплив парникового газу, утвореного з одиниці біомаси, більш ніж у 20 разів.

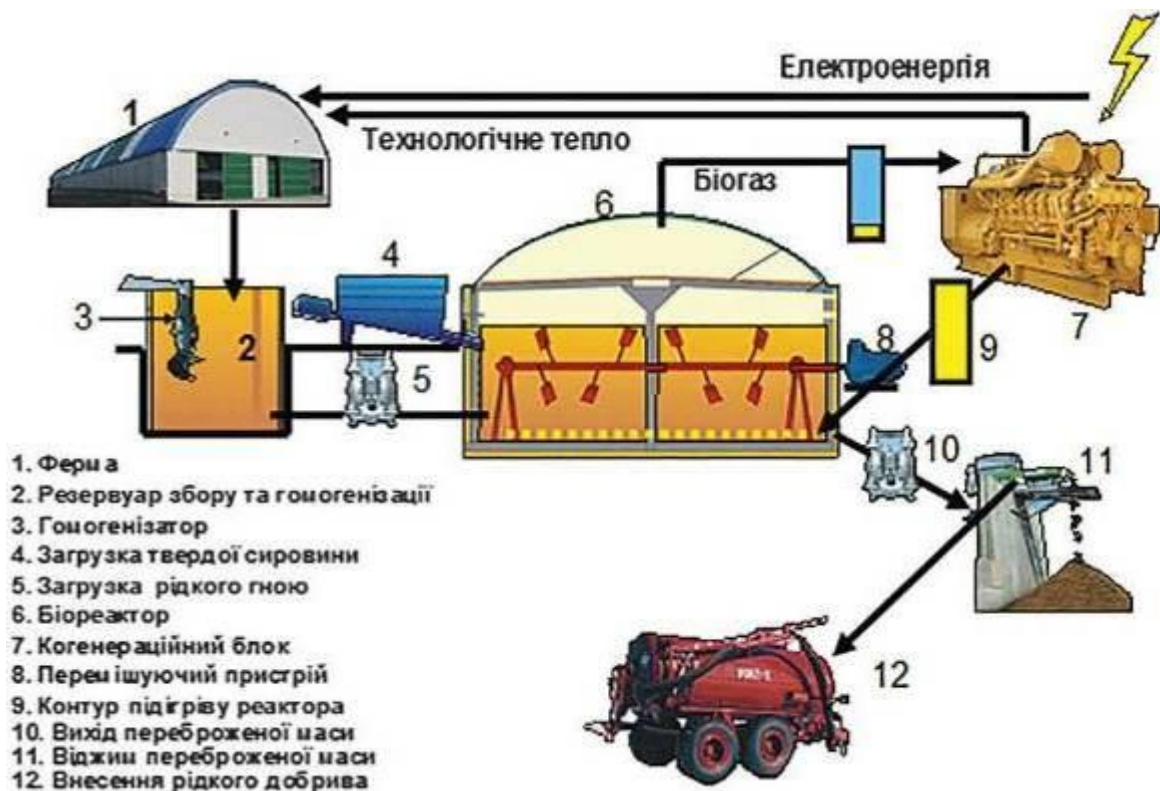


Рисунок 88 - Принципова схема біогазової системи

Переброджена в метантенці біомаса 8-12 разів на добу подається на сепаратор відцентрової дії, який відділяє частину вологи і знижує вологість шламу. Система механічного розділення працює від в програмно-тимчасовому режимі й розділяє залишки бродіння на тверді й рідкі біодобрива. 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 при цьому під час обертання вальців випаровується волога. Висушений продукт має вологість 10...15%. Сушені біодобрива мають більш високу продажну ціну в порівнянні з просто відсепарованою біомасою. У сушеному гранульованому вигляді добрива можуть з низькими витратами транспортуватися на будь-які відстані та мати тривалий термін зберігання.

Утворений продукт (біогумус) є екологічно чистими твердими добривами без неприємного запаху, без патогенної мікрофлори та без насіння бур'янів. Такі добрива готові до безпосереднього внесення у ґрунт для поліпшення його органічної структури. Біогазова технологія дозволяє прискорено одержати за допомогою анаеробного зброджування натуральне біодобриво, що містить біологічно активні речовини й мікроелементи. При анаеробній переробці відбувається мінералізація і зв'язування азоту, кількість засвоюваного азоту, калію і фосфору помітно зростає. При традиційних способах отримання органічних добрив в аеробних умовах (компостуванням) втрати азоту становлять до 30...40%. Основною перевагою біодобрив у порівнянні із традиційними добривами, є форма, доступність і збалансованість всіх елементів живлення, високий рівень гуміфікації органічної речовини. Органічна речовина служить енергетичним матеріалом для ґрунтових мікроорганізмів, тому після внесення в ґрунт відбувається активізація азотофіксуючих і інших мікробіологічних процесів. Це позитивно впливає на ґрунт, поліпшує фізико-механічні властивості ґрунту, і як наслідок при використанні збалансованих біодобрив після біогазової установки, урожайність підвищується на 30...50%. Біодобриво, що виробляється в біогазових установках, підвищує врожайність пшениці, жита, цукрових буряків, картоплі

та інших культур на 35...40% порівняно з урожаєм тих же культур, які одержані на полях, що були удобреними необробленим рідким гноєм. 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.

Рідкі біодобрива відділяються від твердих та зберігаються в ємності для зберігання біодобрив. Цей субстрат - аміачна вода в основному використовується як добриво з високою концентрацією аміаку (NH_4).

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 15 млрд м^3 /рік (20 % річного споживання природного газу). Для стимулювання розвитку цієї сфери в Україні ще у 2015 р. запроваджено «зелений» тариф на електроенергію із біогазу на рівні 12,39 євроцента/кВт·год. В Україні за 2018 рік біогазові потужності зросли на третину: із 34 МВт (21 установка) на кінець 2017 року до 46 МВт (33 установки) на кінець 2018 року. Станом на кінець III кварталу 2019 року в Україні встановлено біогазових установок загальною потужністю 70 МВт, зокрема:

- 47 МВт – працюють на агровідходах;
- 23 МВт – на сміттєзвалищах.

Однією із суттєвих перепон для розвитку виробництва біогазу в агробізнесі є висока вартість устаткування, що потребує суттєвих інвестицій. Європейський досвід реалізації аналогічних проектів 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. Економічні вигоди від використання біогазу в кожному конкретному випадку залежать від типу відходів, доступних для переробки, інвестиційних можливостей, наявності локального енергетичного ринку та державних ініціатив. В країнах Європейського Союзу період окупності біогазових установок для переробки відходів агропромислового комплексу в середньому становить 6...14 років, або

з врахуванням зеленоготарифу при продажу електроенергії в мережу від 4 до 8 років. Наявні бар'єри на шляху до стрімкого розвитку та поширення біогазових технологій допомагають подолати освітні програми, демонстраційні заходи та інвестування в технології біогазового виробництва.

Одним з вітчизняних прикладів підвищення енергоефективності є діяльність агропромхолдинга "Астарта", до складу якого входять Глобинський цукровий завод та Глобинський соєпереробний завод. Так, собівартість виробництва цукру майже на 50% залежить від енергоспоживання. 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%.

Беззаперечним лідером за кількістю біогазових установок є Китай, який має 28 млн. біогазових установок і виробляє 18 млрд. м³ біогазу за рік. Це, як правило, невеликі системи в сільських районах, що використовують у якості сировини гній та відходи домогосподарств. Вони виробляють газ для обігріву та приготування їжі.

У багатьох країнах світу біогаз є рівноправним учасником енергоринку. 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. В Європі зосереджено 44 % світової кількості біогазових установок анаеробного бродіння, ще 14 % – у Північній Америці. Європейський біогазовий лідер – Німеччина, де функціонує понад 17 тис. відповідних підприємств. З погляду масштабів застосування біогазу лідирує Данія: цей вид палива забезпечує майже 20% енергоспоживання країни. 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.

Застосування біогазу у децентралізованому енергопостачанні також сприяє скороченню імпорту енергоносіїв та підвищенню надійності енергопостачання, зокрема у сільській місцевості. Фермерські господарства у Європі будують біогазові установки для власних потреб та забезпечення навколишніх сіл електроенергією і теплом (рис.89). У Німеччині, тільки 7% виробленого біогазу надходить у газопроводи, решта використовується для потреб виробника.

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, 2014 року 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 електроенергію з біогазу у 0,134–0,237 євро за 1 кВт·год плюс технологічний бонус у 0,03 євро за 1 кВт·год у разі, якщо біогаз очищується. Аналогічне стимулювання застосоване в Австрії, де базовий «зелений» тариф на електроенергію з біогазу становить 0,156–0,186 євро за 1 кВт·год, а технологічний бонус — 0,02 євро за 1 кВт·год.



Рисунок 89 - Сучасний біогазовий завод в Угорщині потужністю 4 МВт здатний перероблювати до 90 000 торганічних відходів

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.90). В якості сировини у реактори завантажується гнійова рідина. Річна потреба в сировині становить близько 120 тис. т, яка поставляється 30 фермерськими господарствами з навколишньої місцевості в радіусі 15 кілометрів. Річна продукція становить 15 мільйонів м³ біогазу. Ця кількість достатня для забезпечення 10 000 домашніх господарств теплом і електроенергією або 9.000 легкових автомобілів паливом для пробігу 30 000 км в рік.



Рисунок 90 - Біогазовий парк

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 ValbioMETHACORE® 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.

Біотехнологічні процеси з притаманними їм м'якими умовами технологічних режимів (невисокі температури, малий тиск, нейтральні середовища, висока швидкість реакцій при незначних концентраціях компонентів та ін.) 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 на витратах через виробництво електро- та теплової енергії з власної сировини, зменшення залежності від зовнішніх енергоносіїв, можливість забезпечувати енергією інших споживачів, отриманні дешевих органічних добрив для використання у рослинництві. Глобальні переваги такого виробництва полягають у поліпшенні екологічної ситуації, у зменшенні забруднення довкілля відходами та викидів в атмосферу парникових газів. Енергія біогазу вважається вуглецево-нейтральною, оскільки вуглець, що виділяється за його спалювання, поступає з вуглецю, що утриманий рослинами (природній вуглецевий цикл).

9.2 Утилізація звалищного газу

Тверді побутові відходи, які складуються за міськими межами на звалищах або на спеціально підготовлених майданчиках (полігонах) можуть займати територію у кілька гектарів. Після закриття звалища його територія має покриватися спеціальною плівкою і засипатися глинистим ґрунтом для виключення розповсюдження випаровувань з неприємними запахами. Наявність в товщах сміття на звалищах пористості ділянок і скупчення органічних компонентів створює передумови для саморозігрівання та активного розвитку мікробіологічних процесів. Звалища перетворюються у великі системи з виробництва біогазу. Часті пожежі на полігонах, в основному, є наслідком стихійного, утворення звалищного газу. При концентрації біогазу в

повітрі понад 15% звалище може самозайнятися та стати місцем утворення вибухів. Наслідки вибухів самі різні, але всі вони викликають необхідність проведення відбудовних робіт. Звалищний газ містить велику кількість токсичних і шкідливих речовин, вкрай небезпечних для здоров'я і життя людей. У певних концентраціях він токсичний. Конкретні показники токсичності визначаються наявністю ряду мікродомішок, таких, наприклад як сірководню (H_2S). В той же час, утворений на полігонах твердих побутових відходів звалищний газ, який, аналогічно біогазу складається з метану і вуглекислого газу, може перестати бути джерелом екологічної небезпеки і стати джерелом економічної вигоди.

Товщу звалища умовно можна розділити на кілька зон (аеробну, перехідну і анаеробну), що розрізняються характером протікання мікробіологічних процесів. У верхньому аеробному шарі, на глибину до 1,0...1,5 м, побутове сміття завдяки мікробному окисленню поступово мінералізується до двоокису вуглецю, нітратів, сульфатів і ряду інших простих з'єднань. У перехідній зоні відбувається відновлення нітратів і нітритів до газоподібного азоту і його оксидів. Найбільший обсяг займає нижня анаеробна зона, в якій інтенсивні мікробіологічні процеси протікають при низькому (менше 2%) вмісті кисню. В цій зоні підтримується достатня для розвитку метаноутворюючих бактерій температура (30...40°C), що веде до утворення метану.

В той же час, якщо сортування і переробка відходів - справа витратна, що вимагає значних фінансових вкладень і часу, то видобуток газу на звалищах можна організувати швидко і при відносно невеликих інвестиціях. Для запобігання виділенню парникових газів в атмосферу, уникаючи при цьому неприємних запахів і пожеж, проводять безперервне добування в контрольованому режимі звалищного газу. По площі полігону бурять свердловини на глибину звалища і збирають газ в колектори для використання (рис.91). Для продуктивного відбору звалищного газу придатні полігони з накопиченим шаром відходів не менше 10 м. Бажано також, щоб територія полігону, на якій планується створення системи збору звалищного газу, була

рекультивуваною, тобто перекритою зверху шаром ґрунту товщиною не менше 0,3...0,4 м.

В 1985 році на полігонах твердих побутових відходів в США функціонувало понад 30 установок, що дозволяли збирати і використовувати отриманий на звалищах газ. До 2012 року число таких установок зросла в Америці до 600. Розповсюджується ця технологія і в інших країнах світу, серед яких лідерами є Великобританія і Німеччина, де існує по кілька сотень таких установок.

Система збору та підготовки біогазу включає:

- свердловини;
- газозбірні пункти з трубопроводами біогазу від свердловин;
- проміжний та магістральний газопроводи;
- вакуум-насосну станцію для видалення газу із свердловин;
- систему підготовки біогазу (осушення та очищення);
- газгольдер (ємність для накопичення біогазу);
- пальник для спалювання звалищного газу в аварійних ситуаціях або за наявності надлишку.

На полігонах створюється мережа вертикальних газодренажних свердловин з'єднаних 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.

Інженерне облаштування свердловини включає декілька етапів. На першому - 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. Отвори або пропили на стінках труб розташовуються в шаховому порядку. Верхня частина труби довжиною 1,5...2,0 м є бути суцільною, без перфорації. 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. На останньому етапі споруджується глиняний замок товщиною 3...4 м для

попередження виходу біогазу в атмосферу та притоку повітря у свердловину. Після завершення обладнання свердловини проводять установку оголовка свердловини, що являє собою металевий циліндр з газозапірною арматурою для регулювання дебіту свердловини і контролю складу звалищного газу, а також патрубком для приєднання свердловини до газопроводу.

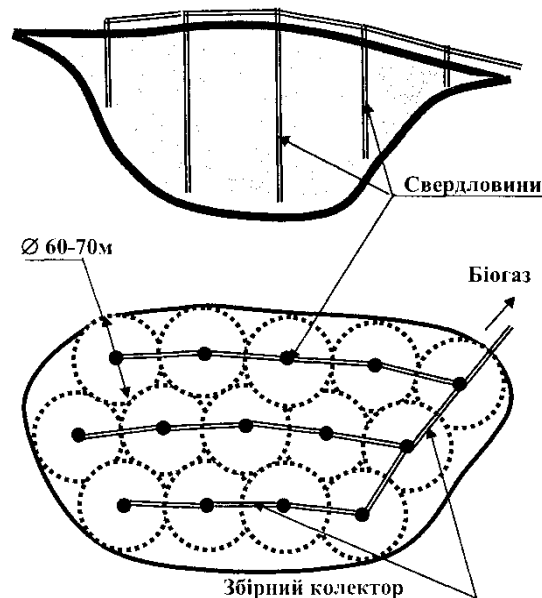


Рисунок 91 - Система відбору біогазу з полігону твердих побутових відходів

Вакуум-насос створює у системі трубопроводів незначне розрідження (близько 10 см водяного стовпа), достатнє для того, щоб газ дифундував 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 зі свердловин, зосереджується в одну лінію колекторами, проходить через сепаратор (рис.92). 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.

Продуктивність звалищ по утворенню біогазу залежить від складу і швидкості біорозкладання компонентів, а також від насиченості бактеріями тіла звалища і дотримання умов, що сприяють біосинтезу. З огляду на те, що 1 т побутових відходів виділяє 120...240 м³ звалищного газу, можна визначити

потенційні можливості звалищ як енергетичного джерела. Середня калорійність звалищного газу становить близько 5500 ккал/м³.

Звалищний газ є непридатним для використання у побуті, оскільки містить компоненти, які шкідливі для здоров'я людини (бензол, метилбензол, ксилол, хлороформ, хлоретан, дихлоретан, тетрахлоретан, сірководень).

Основними способами утилізації звалищного газу є:

- факельне спалювання - процес, що забезпечує зниження пожежонебезпеки на території полігону твердих побутових відходів та усунення неприємних запахів, при цьому виділяється енергія, яка в господарських цілях не використовується;
- використання звалищного газу як палива для газотурбінних чи газопоршневих двигунів когенераційних установок з метою отримання теплової і електричної енергії (рис.93);
- пряме спалювання звалищного газу для виробництва теплової енергії.



Рисунок 92 - Збір звалищного газу в колектор від свердловин

При використанні звалищного газу у якості палива для виробництва електроенергії з допомогою газотурбінних або газопоршневих установок термін окупності такої системи складає близько 2 років.

На сьогодні є приклади цільового захоронення відходів з метою отримання звалищного газу. Наприклад, у Франції біля м. Париж працює найбільший в Європі центр поводження зі сміттям і його переробки. І він виробляє електроенергію з звалищного газу, яка поставляється в національну

електромережу. Центр належить приватній компанії Veolia. Він 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 подальшого 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 якими він подається на установку, де генерується електроенергія. Щорічно на потужностях цього Центру виробляється 130000 МВт·год електроенергії та генерується тепло.



Рисунок 93 – Когенераційна установка потужністю 600 кВт на полігоні твердих побутових відходів в м. Кропивницький

Все ширше звалищний газ використовується як паливо для транспорту. Глобальна утилізація звалищного газу становить приблизно 1,2 млрд. м³ на рік, що еквівалентно 1% від об'ємів його утворення. Тому на даний момент ще рано говорити про звалищний газ, як про нове альтернативне паливо. Однак наявність колосальних покладів сміття і вдосконалення технологій видобутку і очищення звалищного газу дозволяє припустити, що його значення в майбутньому буде зростати. 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. У Швеції, наприклад, для цих цілей використовується 97% виробленого звалищного газу та біометану. Шведські компанії «Volvo» і «Scania» з кінця XX століття виробляють і широко експортують в країни Європи автобуси, що працюють саме на такому паливі. В цілому, в світових масштабах обсяг утилізованого звалищного газу у порівнянні з обсягом його утворення незначний.

9.3 Аеробна ферментація при переробці органічних відходів

Одним з найбільш широко застосовуваних у сільському господарстві способів утилізації 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 (від лат. *compositus* — «складовий») - органічні добрива, що утворилися внаслідок розкладання органічних речовин мікроорганізмами. Компост (перегній) є цінним органічним добривом для удобрення полів у сільському господарстві, в садівництві та в формуванні ландшафтів. Складовими компостних сумішей можуть служити відходи рослинного походження, відсів органічних складових твердих побутових відходів, очисні стоки міст або підприємств, відходи харчової промисловості, побутові харчові відходи. Ідеальною сировиною для компостування є незабруднені органічні відходи аграрного виробництва з високим вмістом вуглецю. Процес протікає в аеробних умовах під впливом різноманітних мікроорганізмів, в основному термофільних. Компостування є біотермічним процесом, в результаті якого відбувається мінералізація і гуміфікація органічних компонентів компостних сумішей. В результаті протікання хімічних реакцій відбувається виділення вуглекислого газу та води, а органічні компоненти сумішей розігріваються до 60-65°C. Це згубно діє на личинки мух, яйця гельмінтів, хвороботворні не спороутворюючі мікроорганізми та насіння бур'янів. Аеробне компостування сприяє зниженню неприємного аміачного запаху гниючих відходів,

збереженню азоту, прискоренню розкладання клітковини і органічних сполук, підвищенню вмісту доступних елементів живлення.

Аеробні умови компостування створюються за допомогою періодичної аерації суміші повітрям. Зазвичай цього досягають додатковим механічним перемішуванням компостної маси. В аеробних біохімічних реакціях взаємодіють органічний матеріал, кисень і бактерії (аеробні мікроорганізми, присутні в органічних відходах). 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 і достатній для поліпшення та підтримання ґрунтової родючості необхідною кількістю агрономічно цінної мікрофлори. У результаті компостування синтезується гумус, вміст якого у ґрунті визначає його родючість. 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 вуглецю / азоту і температура маси відходів. Оптимальна вологість для аеробного процесу 40...60%. У сухому середовищі сповільнюється активність мікроорганізмів. Бактерії і грибки, які знаходяться в компості, використовують вуглець як джерело живлення і синтезують протеїни, використовуючи азот. Недостатня кількість азоту в компостуємій масі уповільнює процес компостування. Оптимальним співвідношенням C / N є 30 : 1. 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 розділюють на 4 фази.

Фаза розігріву маси. На цій стадії відбувається розкладання відходів, під час якого виділяється енергія і сировинна маса саморозігрівается. 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. Схожість насіння бур'янів втрачає 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 момент починають швидко розмножуватися ґрунтові бактерії і грибки, що сприяє розпаду органічних речовин, починає утворюватися вуглекислий газ, а також аміак і метан. 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 окислення, у тому числі вуглекислого газу та розмноженню необхідної мікрофлори.

Фаза структурування. У цій фазі відбувається структурування і стабілізація складу компостуємого матеріалу, утворюється гумус і інші складові компосту. Новостворені 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. Більш тривала витримка компосту не доцільна, оскільки це сприяє частковій мінералізації органічних речовин і компост починає втрачати якість.

Фізична структура та інші властивості матеріалу в процесі компостування зазнають змін. Так, штабель поступово коричневого або коричнево сірого відтінку, компост втрачає свій характерний початковий запах і набуває «запаху чорнозему».

На відміну від виробництва біогазу, який отримують в метантенках, компостування відходів відносно простий метод, який може реалізуватися в польових умовах. Даний метод утилізації вимагає значно менших капітальних затрат у порівнянні з анаеробною обробкою відходів з отриманням біогазу у герметичних реакторах. Однак при компостуванні виникає необхідність використання значних територій та утворення неприємних запахів на початкових стадіях розкладання відходів і їх перемішування.

При польовому компостуванні відходи розвантажують на вирівняний майданчик. Бульдозером формують штабелі, в яких відбуваються процеси аеробного біотермічного компостування (рис. 94).



Рисунок 94 - Механізоване компостування у штабелях відходів тваринництва у польових умовах

Висота трапецієвидного у поперечному перетині штабеля не повинна перевищувати 1,5...2,0 м при його ширині в основі, рівній 2,5...3,0 м. Для запобігання розсіювання легких фракцій сміття, інтенсивного розмноження комах і усунення неприємного запаху, поверхню штабеля вкривають шаром дозрілого компосту товщиною до 0,2 м або полімерною плівкою.

Необхідною технікою для приготування компосту є універсальний трактор з додатковими пристосуваннями для перемішування, аерації і

перевантаження штабелів (рис. 95), а також транспортна техніка для перевезення компостної маси.

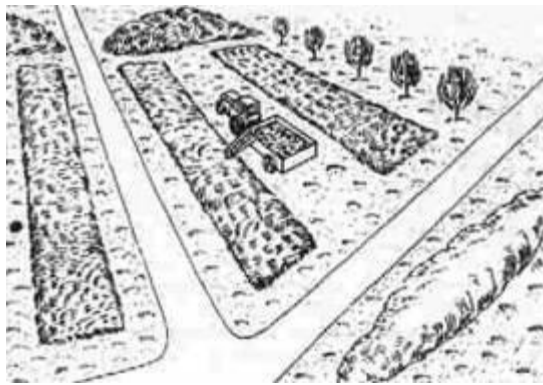


Рисунок 95 - Польове компостування відходів

Ще в XVIII столітті населення з околиць м. Кіль стало добровільно вивозити за межі міста на поля сміття і нечистоти. Було помічено, що їх використання з часом стало сприяти підвищенню врожаїв. З того часу стихійно було розпочато компостування побутових відходів. Компостування виявилось на той час найпростішим способом знешкодження і переробки твердих побутових відходів. Якщо на полігонах знешкодження протікає протягом 50...100 років, то при польовому компостуванні цей процес відбувається за 6...18 місяців залежно від кліматичних умов. Органічні і харчові відходи: гній, тирса, опале листя, піддаючись природним процесам розкладання, перетворюються в компост. Компостування допускає спільну переробку твердих побутових відходів, промислових відходів від виробництва харчових продуктів разом з осадами каналізаційних колекторів.

Технологія польового компостування все ширше застосовується для утилізації органічної складової твердих побутових відходів. При сортуванні відходів на сортувальних лініях дрібні однорідні відходи не сортуються, а просипаються на першому етапі сортування через вібраційне сито і вивантажуються безпосередньо в приймальний бункер преса – компактора та вивозяться на полігони для польового компостування. Для компостування органічних складових твердих побутових відходів обов'язковою є організація системи селективного збору відходів і їх сортування. 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. 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.

Виробництво товарного компосту включає кілька послідовних операцій: сортування, розмелювання до розміру 2,5...5 мм, дозрівання компосту, зберігання. До матеріалів, які необхідно видаляти перед розмелюванням, відносять концервні банки, різні металеві вироби, скло, керамічні вироби, відходи тканин з синтетичних волокон.

Установки для механізованого сортування сировини для отримання компосту містять магнітний сепаратор, віброгуркіт і транспортери. Ганчіря та неметалеві матеріали відсортовуються вручну. Крім того, отриманий компост очищається від більш щільних баластних фракцій: скла, каміння, металу з використанням механізованого сортування.

Для очищення компосту від плівкових баластних фракцій використовують пневматичні сепаратори. Пневмосепаратор являє собою вертикальну робочу шахту, в яку через шлюз зверху подають матеріал 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.

Масу, яка проходить сепарування, розганяють стрічковим транспортером до лінійної швидкості 2...7 м/с. В основі першого методу балістичної сепарації лежить здатність більш шільних складових, які мають більшу інерційність, пролітати більшу відстань перед попаданням у контейнер (рис.96 а). За другим методом сепарації і направляють в сторону відбивної гумової плити, виконаної у вигляді плоского повільно обертаючогося диска, встановленого під кутом 35...50 ° до напрямку потоку. Метод використовує здатність пружних фракцій відбиватися від диска на більшу відстань і потрапляти у воронку для баласту, непружна маса компосту падає у воронку, розташовану ближче до відбивної

плити (рис.96 б). Залежно від вологості сировини, повнота відділення скла в балістичних сепараторах становить 20...60%.

При обмежених площах полігонів для переробки залишків твердих побутових відходів застосовують заводську технологією барабанного компостування. 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.

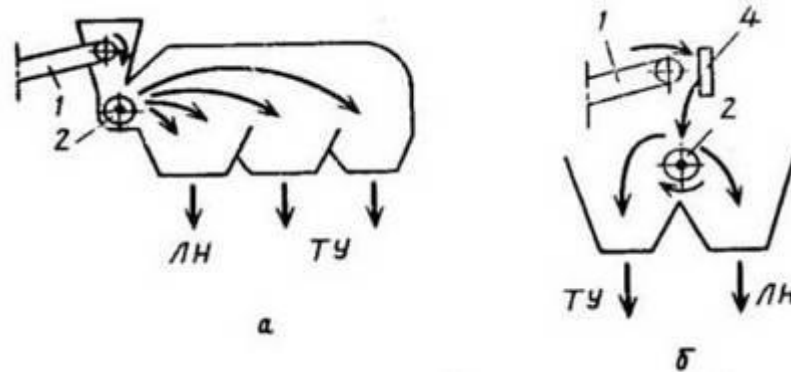


Рисунок 96 – Методи балістичної сепарації компосту: 1-стрічковий транспортер; 2 – ротори; 4- відбивна гумова плита; ЛН – фракція легких непружних матеріалів; ТУ – фракція важких пружних матеріалів

Основним технологічним обладнанням сучасних сміттєпереробних заводів обертові біотермічні барабани (рис. 97).

Біотермічні барабани випускають на базі цементних печей діаметром 4 м двох типорозмірів - завдовжки 36 і 60 м. Біотермічний барабан є зварним сталевим циліндром, який встановлено на кількох роликів опорах з ухилом у бік розвантажувального пристрою. Частота обертання барабану до 3,5 обертів/хв. Зовні біотермічний барабан покривають шаром теплоізоляційного матеріалу для підтримання необхідного температурного режиму.

Відсортовані відходи, призначені для компостування, подають в завантажувальні пристрої біотермічних барабанів, в яких відбувається знешкодження відходів завдяки активному розвитку термофільних

мікроорганізмів в аеробних умовах та утворення не повністю дозрілого компосту. Маса відходів саморозігрівається до температури 60°C.

Кожен біотермічний барабан періодично з однієї сторони завантажується до половини корисного об'єму свіжими відходами, а з іншої сторони одночасно вивантажується утворений компост. Таким чином, свіжі відходи, що завантажуються в барабан, потрапляють в середовище з активним біотермічним процесом, що дозволяє скоротити тривалість циклу їх компостування до двох діб. Прискорення біотермічного процесу на початковій стадії компостування досягається за рахунок перемішування відходів при обертанні барабана (не менше 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 розігріву відходів спочатку до температури 30...35°C мезофільною мікрофлорою, а потім до температури 60...70°C термофільною мікрофлорою. Завершення другої фаз компостування і її третя фаза вже відбуваються на майданчиках компостування.

Розвантажують біобарабани на стрічкові конвеєри, які доставляють компост в сортувальний корпус, в якому встановлені балістичні сепаратори скла і інерційні грохоти (сита).

Найбільш якісний і цінний компост отримують лише 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% P_2O_5 і 0,6% K_2O ;
- відсутні яйця і личинки гельмінтів, патогенних мікроорганізмів у небезпечної концентрації та насіння бур'янів, яке зберегло схожість.

Найбільш інтенсивно компостування твердих побутових відходів в біотермічних барабанах розвивалося з кінця 60-х до початку 80-х років переважно в країнах Західної Європи. У європейській практиці до 2000 р. із застосуванням аеробної ферментації щорічно переробляли близько 4,5 млн. т відходів на більш ніж 100 підприємствах. На сьогодні ряд сміттесортувальних фірм відмовляється від застосування біотермічних барабанів.

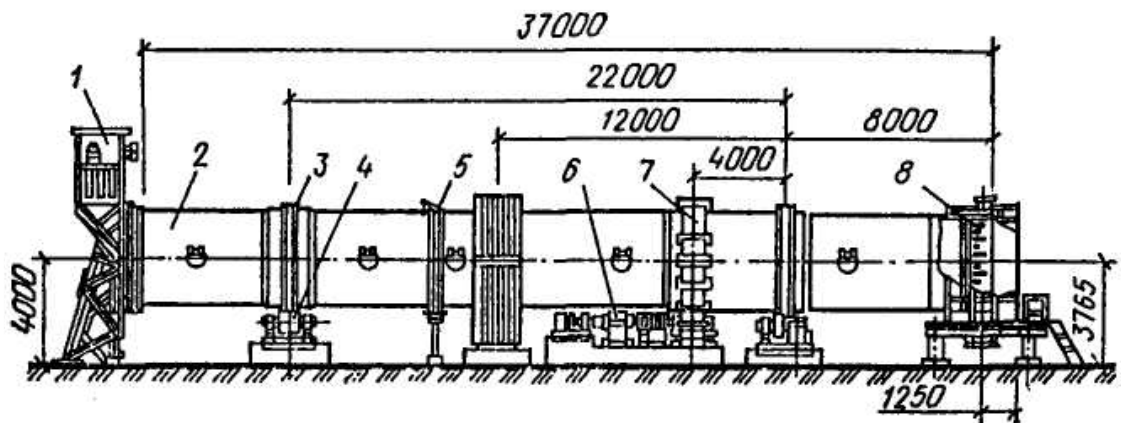


Рисунок 97 - Біотермічний барабан – ферментатор для аеробного компостування: 1 - завантажувальний пристрій, 2 - корпус, 3 - бандаж, 4 - ропокоопора, 5 - контактні кільця термодатчиків, 6 - електропривод, 7 – розвантажувальний пристрій.

Основні недоліки ферментації в біотермічних барабанах:

- 1) складність контролю процесу компостування;
- 2) поганий товарний вигляд кінцевої продукції (складність очищення матеріалу, що виходить з біобарабана, через його підвищену вологість);
- 3) експлуатаційні складності (наприклад, утворення «пробок» з залишків текстилю);
- 5) потреба значних площ для послідуєчого дозрівання компосту (за дві доби процес ферментації не встигає завершитися).

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. 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 накопичення цих елементів у сільгосподарських продуктах. Крім того, в такому компості 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, перевищує 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.

9.4 Вермікомпостування

Для утилізації відходів тваринництва і рослинництва розширюється використання нових безвідходних екологічно чистих та високорентабельних біотехнологій. Однією з них, є технологія вермікомпостування - метод аеробного компостування з використанням для переробки органічних субстратів червоних дощових черв'яків. Поживним субстратом для дощових черв'яків є різні органічні відходи рослинництва, тваринництва, побутові відходи, осади стічних вод.

Предметом вермикультури 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 р. американцем Барретом був отриманий культурний гібрид черв'яка, який відрізнявся від природних форм у 10 разів більшою плодючістю та вчетверо більшою тривалістю життя. В середньому один черв'як дає потомство 200...400 особин в рік. Тривалість життя – до 16 років (дикі форми живуть лише 4 роки). Доросла особина досягає у довжину 8–10 см, у діаметрі 3–5 мм, масу 0,8...1 г (рис.98). За добу такий черв'як споживає кількість корму, що приблизно дорівнює його масі (близько 1 г). Для вирощування черв'яків оптимальною є температура 20...22°C, а критичною - нижча від 0°C та вища від 42°C. При температурі 7°C 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. У закритих приміщеннях черв'яків можна культивувати на бетонній підлозі і на стелажах в дерев'яних, металевих або пластикових ящиках, розташовуючи їх поверхами. У

закритих приміщеннях 1...2 м площі дає в два рази більше товарної біомаси червоних каліфорнійських червків, ніж на відкритому повітрі.

Кормом для черв'яків є різні органічні відходи з високим вмістом целюлози, які пройшли процес ферментації. Черв'яки надзвичайно чутливі до аміаку, який виділяється у відходах, що розкладаються. Допустимий рівень вмісту у відходах аміаку складає 0,5 мг/кг субстрату. Приблизно високому вмісту 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 аерують. 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.



Рисунок 98 - Червоний каліфорнійський черв'як

Внаслідок переробки органічних відходів черв'яки продукують цінне органічне добриво – біогумус, який містить у собі необхідні 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. Метод вермикультивування 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, аналогічний м'ясо-кістковому та рибному борошну, що дозволяє використовувати його як джерело повноцінного білка для збалансування раціонів годування сільськогосподарських тварин.

Нині метод вермикультивування сільськогосподарських відходів набув широкого розповсюдження у багатьох країнах світу — Китаї, Японії, Філіппінах, Австралії, у Франції, Італії, Німеччині, Швейцарії та інших.

На полігоні «Екостайл» (м.Кропивницький) червоні каліфорнійські черв'яки використовуються для утилізації вивезеного з міста і зсипаного у прямокутні бурти опалого листя.

9.5 Виробництво паливних гранул і брикетів

Паливні гранули (пелети) - тверде біопаливо у вигляді подрібнених відходів від деревообробки, а також сільськогосподарського виробництва, які спресовані під високим тиском у циліндричні гранули. Пелети - це екологічно чисте джерело енергії, що виробляється з поновлюваної сировини. Діаметр пелет складає 4...12 мм, довжина - від 20 до 50 мм, щільність - від 1,25 до 1,30 г/см³.

В Європі першовідкривачем пелет вважається Швеція, де в 1984-1988 роках почали виробляти пелети з відходів деревообробки. З початку 90-х років у Швеції почався бум промислового виробництва деревних пелет. Тема біопалива у Швеції зведена в ранг питань національної політики. У Швеції функціонує приблизно 30 заводів, які виробляють близько 900.000 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.

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.

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 (рис.99). 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 пеллет 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).



Рисунок 99 – 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.

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 солома і рослинні відходи, як побічні продукти рослинництва. На кожну тонну зібраного зерна отримується 1,5...2,0 т соломи та рослинних залишків. З них лише 50...60% соломи пшениці, ячменю, жита використовується для утримання худоби та удобрення ґрунтів. Використання решти соломи 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 соломи під час спалювання 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 малопридатними для виготовлення пелет.

За оцінками фахівців, загальне виробництво пелет в Україні у 2016 р. склало близько 3,35млн т. Структура виробництва пелет у 2015 році на 494 підприємствах України була наступною:

- пелет з деревини – до 390 тис. т;
- з лущиння 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.

Збільшення обсягів виробництва пелет - це реальний крок до енергетичної незалежності України. Будівництво нових пелетних заводів - це нові робочі місця та економічний розвиток регіонів.

Перевагами пелет як палива є:

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 енергоконцентрації 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 дотопки.

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 таких етапів як: подрібнення; сушіння; додаткове подрібнення до порошкового стану; водопідготовка; пресування; охолодження; фасування та пакування (відеододатки 35-36).

Таблиця 15 – 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 / м ³).
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 м ³ 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 м ³ 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, соломі, 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.

Деревні відходи привозять навантажувачем або автотранспортом і зсипають на ділянку виробництва пелет. На виробництво однієї тонни гранул йде 3...5 кубометрів деревних відходів природної вологості. Деревні відходи подаються до скребкового транспортеру, який передає сировину в рубальну

машину для попереднього дроблення відходів до розміру не більше 25х25х2 мм.

Обовязковою технологічною операцією є сушіння подрібненої сировини з 60% до 10%. Оптимальна вологість сировини, яка переробляється в пелети, становить 13...15%. Якщо сировина недостатньо просушена, подріблена маса буде прилипати до сортувального сита. Сушарка, яка застосовується для сушіння сировини, складається з двох основних складових: печі і сушильного барабана (рис 100). Теплоносієм при сушінні є топкові газы, які утворюються при спалюванні тирси, бракованих пиломатеріалів або вугілля. З метою збереження тепла сушильний барабан покривається зовні теплоізоляційним шаром. 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. У барабані деревина за допомогою обертових лопатей поєднується до виходу через потік теплоносія.



Рисунок 100 - Барабанна сушарка для подрібненої деревної сировини

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 перетворюють в порошок (борошно) 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. Подрібнення деревини до порошкового стану здійснюється в молоткових дробарках. Подрібнена суха сировина засмоктується в осадовий циклон за рахунок розрядження, створюваного димососом. В циклоні борошно осідає за рахунок відцентрової сили і рухається вниз, а відпрацьований теплоносії викидається в димову трубу.

З циклону деревне борошно подається в бункер гранулятора. З бункера борошно подається 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. Шляхом зміни діаметра отворів, довжини каналу матриці преса, відстані між робочою поверхнею матриць та вальців, а також пресувального тиску, можна регулювати 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 бувають двох різновидів - гранулятори з кільцевими матрицями, які розташовані вертикально, і гранулятори з плоскими матрицями, що встановлюються горизонтально (рис.101). Катки, що рухаються по поверхні матриці, створюють контактні напруження зминання сировини і через отвори у матриці продавлюють подрібнену до порошкоподібного стану сировину у вигляді циліндричних гранул. Пресові апарати в процесі формування пелет витримують значні

механічні навантаження і тому їх конструкція має міцні та жорсткі корпусні деталі. Матриця і катки виготовляються з загартованих зносостійких сталей. Через сил виникаючі сили тертя і протікання адіабатичних процесів, що відбуваються при різкому стисканні сировини, температура в зоні формування пелет сягає 100°C . Видавлені з отворів матриці гранули обламуються нерухомим ножом. Обламані гранули падають на жолоб і відводяться з преса.

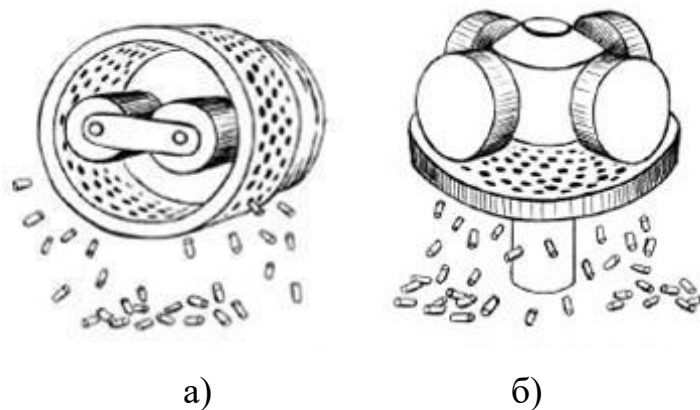


Рисунок 101 - Пресові апарати: а) з кільцевими матрицями, які розташовані вертикально, б) з плоскими матрицями, що встановлюються горизонтально

В Україні при освоєнні виробництва пелет використовували модифіковані пресс - гранулятори моделі ОГМ-1,5 з кільцевою матрицею, які вироблялися для виготовлення комбікормів у сільському господарстві (рис.103). Питоме споживання електроенергії складає від 30 до 50 кВт в годину на тонну. При переході на виробництво пелет проводилось підсилення їх найбільш навантажених елементів, оскільки необхідні зусилля для гранулювання деревини більші, ніж при гранулюванні комбікормів. Продуктивність такого обладнання складає до 1 т пелет на годину. В даний час, на ринку представлена широка гамма високопродуктивних прес – грануляторів різних виробників.

Пелети, в процесі пресування розігріваються до температури 70°C - 90°C і є досить м'якими. Тому перед фасуванням їх охолоджують під дією повітря. В охолоджувальній колонці через шар гранул вентилятором циклону продувається повітря, яке охолоджує гранули і одночасно видуває частини незгранульованого борошна в циклон. В процесі охолодження за рахунок випаровування вологи вологість гранул зменшується. В гранулах відбуваються

фізико-хімічні процеси затвердіння лігніну. в результаті вони набувають необхідну твердість, вологість і температуру. 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.



Рисунок 102 - Формування пелет в прес – грануляторі з плоскою дисковою матрицею



а)



б)

Рисунок 103 - Пресс - гранулятор ОГМ-1,5 з відкритою кришкою блоку грануляції (а); видавлювання пелет з отворів кільцевої матриці (б).



Рисунок 104 - Технологічна лінія виробництва пелет

Приміщення цеху, де встановлена пелетна лінія укомплектовується вогнегасниками і автоматичною системою пожежогасіння. Крім того, проводять відокремлення ділянки, де знаходиться виробництво пелет, якщо вона знаходиться під одним дахом з основним деревообробним виробництвом.

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 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 20мм до 100мм і довжина до 300мм.

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, лущиння соняшника. Витрата сировини становить близько 4 м³ на 1 м³ готового продукту. Завдяки високому тиску при пресуванні, брикети по енергетичним властивостям є схожими на кам'яне 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 в 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.105).

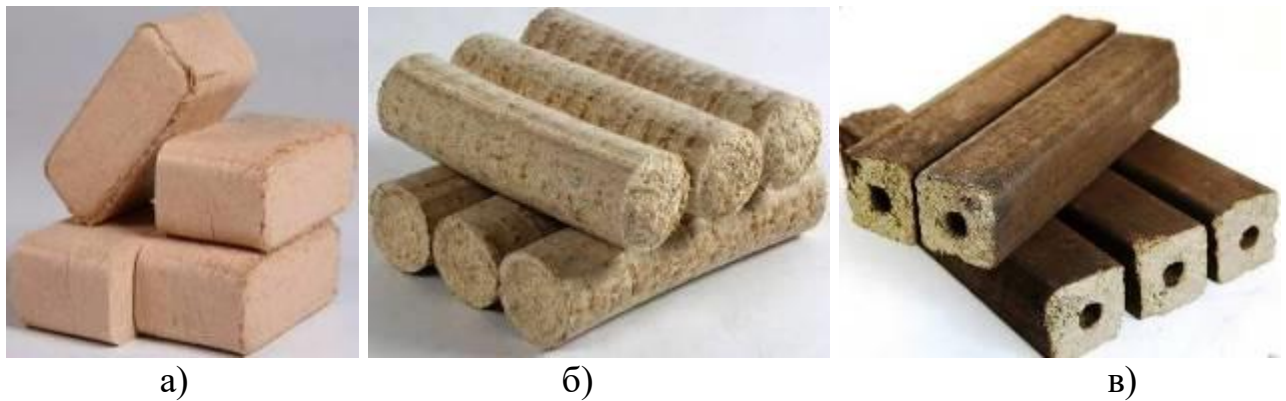


Рисунок 105 – Паливні брикети: а - RUF; б - NESTRO; в - PINI&KAY

Паливні брикети RUF виробляються у формі паралелепіпеда (цеглини) і використовуються переважно для спалювання у твердопаливних котлах та печах. Вони виробляються на гідравлічних пресах низького тиску без додавання сполучних речовин і мають форму паралелепіпеда зі стандартними лінійними розмірами 65 x 95 x 155 мм. Методом виробництва цього виду брикетів є гідравлічний метод, заснований на пресуванні брикетів під високим тиском.

Установка для гідравлічного пресування складається пресуючого гідроциліндру та прес-форми. Борошноподібна сировина засипається в прес-форму. Гідроциліндр тисне поршнем на завантажену масу у прес-формі і, таким чином, при тиску від 30 до 60 МПа формується щільний брикет у вигляді невеликого паралелепіпеда (цеглини). Особливістю такого методу є невисока вартість обладнання та простота його обслуговування, що дає можливість 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: довжиною до 600 мм, діаметром 60...100 мм. Такі паливні брикети виробляють ударно - механічним способом за допомогою кривошипно - шатунних пресів високої продуктивності. Кривошипно-шатунний механізм приводить в рух поршень, який з великою частотою б'є по сировині, що подається у вихідну головку шнековим дозатором. Вихідна головка має таку форму, що дозволяє формувати брикет з потрібною формою перерізу. На виході брикет підпирається або гідравлічним способом, або механічним. Так само як і при способі гідравлічного пресування, собівартість виготовлення даного виду паливних брикетів є невеликою.

Паливні брикети Pini&Kaу є найбільш якісним типом паливних брикетів, що характеризується значною тривалістю горіння та високою теплотою згорання. Вони мають форму шестикутної призми довжиною близько 500 мм і діаметром близько 10 мм з отвором посередині. Щільність брикетів складає 1,0...1,2 т/м³. Технологія виготовлення брикетів Pini&Kaу 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. В процесі екструзії для підвищення щільності брикету крім створення високого тиску проводиться ще й термічна обробка деревної маси при температурі 160...350°C, за рахунок чого відбувається виділення поверхні отриманого брикету з клітин сировини виділяється природна клейка речовина - лігнін. Після виходу з робочого органу екструдера отриманий брикет проштовхується

в подільник брикетів, де відбувається його поділ на частини довжиною 300 (75, 150, 600) мм. Протягом 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.

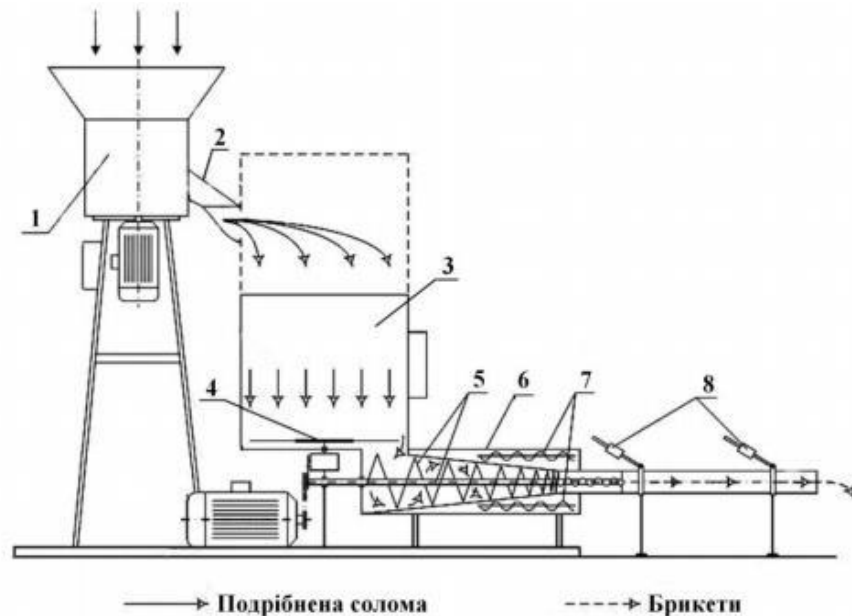
Шнекові преси для виробництва брикетів методом екструзії при тій самій продуктивності на 30...50% дешевші ніжпрес - гранулятори. Вузьким місцем у шнекового преса є інтенсивне зношування шнека, ресурс якого до заміни складає вироблення 5...20 т. брикетів.

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.

Важливим фактором, що гарантує високий комфорт при використанні 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. Деревні пелети успішно використовуються як в малопотужних побутових котлах, так і на великих промислових підприємствах і електростанціях.

Основними споживачами пелет та паливних брикетівна 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.



- 1 - роторна дробарка; 2 - направляючий лоток; 3 – завантажувальний бункер;
 4 - ворушильник; 5 - конічний шнек; 6 - корпус преса-брикетувальника;
 7 - електронагрівачі; 8 - механізм регулювання щільності брикетів

Рисунок 106 - Технологічна схема виробництва паливних брикетів з соломи

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 імпортерами пелет у світі, а виробництво гранул сконцентроване передусім у країнах, багатих лісовими ресурсами, таких як США та Канада, а також країнах північної Європи (Швеція, Фінляндія). Однак, у зв'язку зі збільшенням попиту на пелети, експортери все частіше стикаються з необхідністю пошуку додаткової сировини. Основним шляхом вирішення даної проблеми вбачається вирощування швидкоростучих енергетичних рослин.

Енергетичні культури - це окремі види дерев та рослин, що спеціально вирощуються для виробництва твердого біопалива. 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. Для виробництва пелет найбільш широко використовують високорослу траву міскантус. Міскантус (лат. *Miscanthus*) - рід рослин родини Тонконогові. Це швидкоростуча багаторічна трава, яка вважається однією із енергетичних рослин 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.107). Рослини невибагливі до ґрунту, вологи та температури, а врожайність їх сягає з гектара 30-35 т сирої маси з високим вмістом целюлози.



Рисунок 107 - Ділянка засаджена міскантусом

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 міскантусу вже добре відпрацьована і дає гарантовані результати. Загалом, засаджену міскантусом ділянку можна експлуатувати до 20 років. На відміну від створення плантацій енергетичної верби або павловнії, змінювати цільове призначення земель для вирощування міскантусу не потрібно.

В Україні налічується до 4 млн гектарів малородючих земель. Вони не придатні для землеробства – деградовані, заболочені чи забруднені. Але вони придатні 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.

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. УТИЛІЗАЦІЯ МАКУЛАТУРИ

Папір - 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.108).

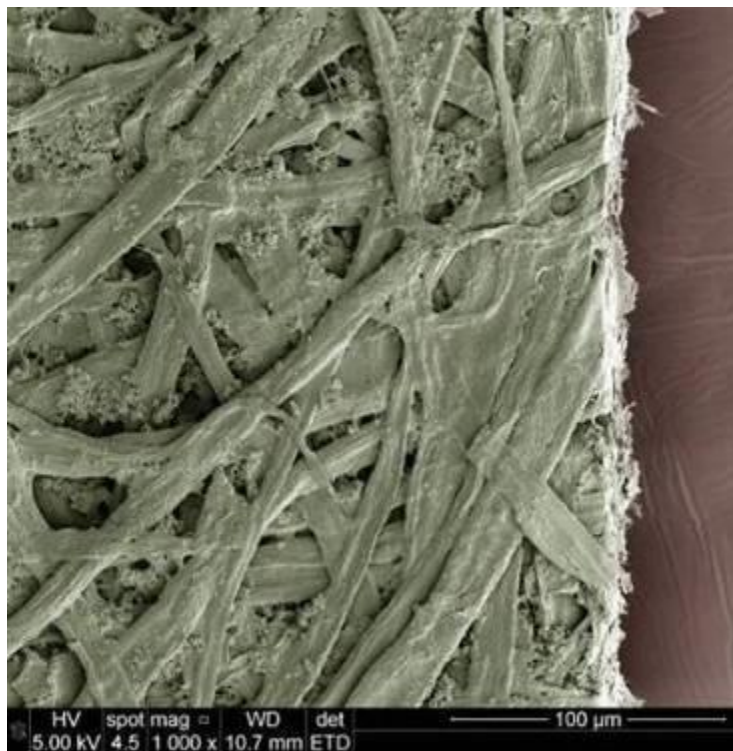


Рисунок 108 - Структура паперу, яка виявлена при дослідженні методом електронної мікроскопії

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 *masulo* — «бруд». Під нею розуміють відходи, що виходять при переробці паперу і картону, різні види використаного паперу і паперових виробів.

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 джерела 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 порівняно зі свіжими напівфабрикатами з деревини, а також значно меншими капіталовкладеннями при будівництві та економією поточних витрат при експлуатації підприємств по виробництву паперу. Це знижує собівартість і підвищує конкурентоспроможність 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. Використання макулатури характеризується значною економічною ефективністю та забезпечує збереження лісових ресурсів. Використання 54 кілограм макулатури з газетного паперу дозволяє зберегти від вирубування одне дерево. 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. В Німеччині 70% газетного паперу виробляється з добавкою до 60% знебарвленої макулатурної маси, в Швейцарії - 50%, в Японії - 55%.



Рисунок 109 – Макулатура

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 %.

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. 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. Відсутність необхідності застосування на підприємствах, що переробляють макулатуру, варильного і розмельного устаткування для деревини дозволяє отримати економію 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 друкованого виробництва. Майже 100% цих відходів придатні для повторного використання, в той час як понад 15% побутової макулатури не придатні для цих цілей. З сортованої макулатури виробляють газетний, друковано-писальний, санітарно-гігієнічний, пакувальний папір, картон. Переробка макулатури на білий папір для письма вимагає великих 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 поділяють на чотири групи:

- група «А» - макулатура з високими паперотворними властивостями (офісний, білий некрейдований і невібілений 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 розпуску 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.

Всі зазначені марки макулатури не повинні містити сторонньої домішки, а також папір і картон, які непридатні для переробки (покріті полімерними плівками, лаком, смолами, тканиною, фольгою; просочені водостійкими складами тощо). Засміченість макулатури не повинна перевищувати 1,5%. До сорності відносять пил, пісок і інші сторонні включення. Вологість макулатури всіх марок не повинна перевищувати 15%.

Збір і транспортування макулатури здійснюють і організовують спеціалізовані пункти. Зібрану макулатуру перед транспортуванням на переробні підприємства на заготівельних пунктах піддають попередньому пресуванню у кіпи. В результаті пресування залежно від виду відходів їх об'єм може зменшуватись до 10 раз. 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.

Макулатурна сировина складається з розмелених волокон. Чим вища була початкова ступінь розмелювання, тим значніше зниження якості продукції, одержуваної з макулатурної маси.

Процес переробки макулатури - це сукупність технологічних операцій для надання вторинним волокнам певних папероутворюючих властивостей при

максимальному видаленні забруднень і домішок (відеододатки 37-39). До основних технологічних операцій, які виконуються на лінії по переробці макулатури є:

- разволокнення макулатури;
- груба очистка і сортування;
- додаткове разволокнення (дороспуск) макулатури;
- тонке очищення і сортування;
- згущення і фракціонування;
- термодиспергування і / або розмелювання;
- акумулювання;
- видалення фарби методом флотації і / або промиванням;
- відбілювання.

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.

Перш за все макулатуру піддають сортуванню – поділяють на картон, 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.

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. Попереднє подрібнення макулатури проводиться на роторних або дискових млинах. Паперова маса додатково розпускається в гідророзбивачах.

3-я стадія обробки маси включає видалення з неї 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 виробничої води і, отже, витрат на її очищення.

10.1 Розволокнення макулатури

Вода, у результаті фізико-хімічних процесів при зволоженні сухої макулатури, проникає в пори листів макулатури, розсовує в ній волокна 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. Зволоження утилізуемого матеріалу не забезпечує реального розволокнення(розпуску) макулатури.

Основним призначенням зволоження є зниження механічної міцності листів та створення сприятливих передумов для розволокнення макулатури за допомогою спеціального технологічного обладнання.

Руйнування цілісності листів макулатури та їх розволокнення у водному середовищі відбувається під дією гідродинамічних і механічних процесів за рахунок енергійного механічного перемішування волокна 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 з'єднував целюлозні волокна, та її очищення від піщаних забруднень.

У якості обладнання для розволокнення макулатури застосовуються гідророзбивачі (рис. 110). При обертанні ротора у ванні гідророзбивача формуються потужні турбулентні потоки води з температурою 35...40°C, котрі зумовлюють дезагрегацію макулатури.

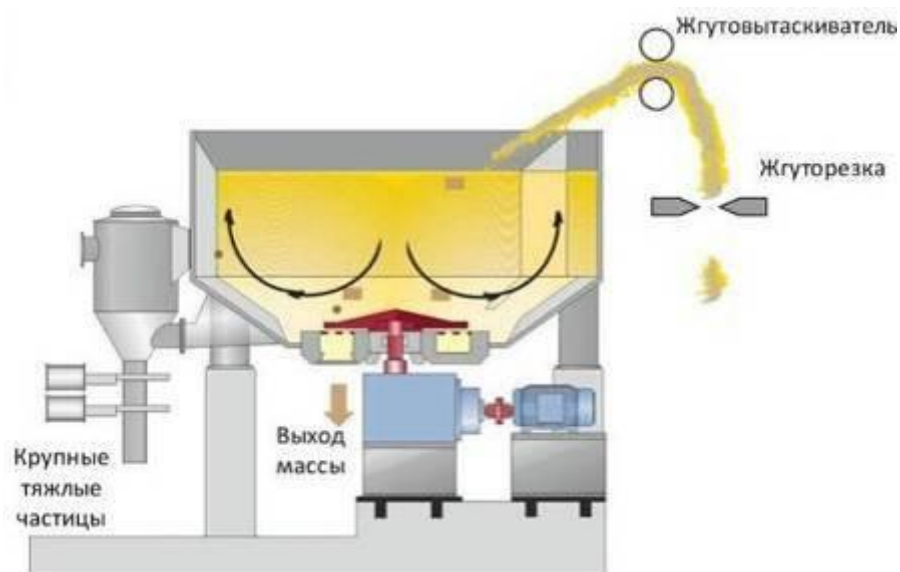


Рисунок 110 – Гідророзбивач для розволокнення макулатури

Гідророзбивач складається з відкритої нерухомої циліндричної ванни з заокругленим дном, у середині 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. Дійшовши до верхньої точки, маса починає рухатися вниз, повертаючись до ротору (низхідний потік). Таким чином, відбувається циркуляція водно -

макулатурної маси у ванні, у результаті цього на вільній поверхні маси утворюється воронка. Водно - макулатурна маса, проходячи попід стінами ванни гідророзбивача, поступово втрачає швидкість і знову засмоктується а центр гідравлічної воронки, що утворюється ротором. Для інтенсифікації процесу розволокнення на внутрішній стінці ванни встановлюють спеціальні планки, об які маса вдаряється, піддається збуренню і додатковим коливанням.

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 сита гідророзбивача з отворами 10...12мм, де відбувається відділення грубих частинок.

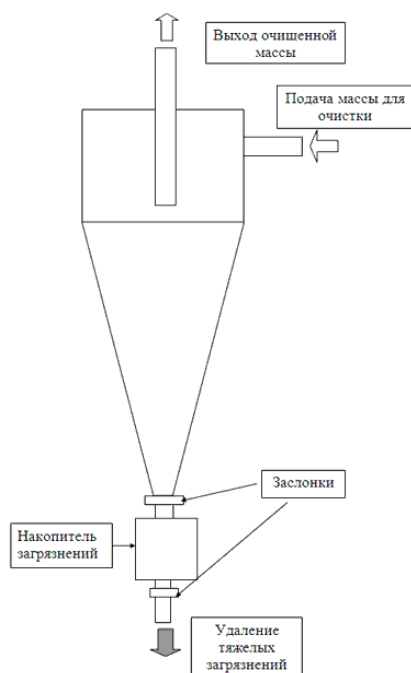
Брудозбірник, який призначений для уловлювання великих і важких включень, розміщують в нижній частині ванни. Зібрані забруднення з брудозбірника періодично видаляють.

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, полімерні плівки великих розмірів тощо). Для утворення джгута на початку роботи у трубопровід, 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.

Гідророзбивачі періодично спорожняються через апарат дороспуску з перфорованим ситом, де залишки грудок у водно - макулатурній масі додатково розволокнюються, а сторонні включення частково відділяються від волокон. Утворена волокниста суспензія (пульпа) накопичується в басейні для набухання волокна. В басейні накопичується запас пульпи, який забезпечує годинний запас сировини на 1 годину роботи технологічного потоку.

10.2 Очистка та сортування макулатурної маси

Після гідророзбивача грубе очищення розволокненої 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. 111). 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.



а)



б)

Рисунок 111 - Гідроциклони для очищення макулатури: а) схема роботи; б) зовнішній вигляд установки

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 розпуску макулатурної маси, яку отримують у результаті переробки макулатури невисокої якості.

Пульсаційний млин складається зі статора і ротора конусоподібної форми та трьох рядів чередуючихся 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 більшою величиною, ніж середня товщина волокна. 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. 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 розволокнення макулатури при проходженні через млин досягає 98%. Волокна макулатури, які проходять через млин, механічно не ушкоджуються.

Турбосепаратори дозволяють, одночасно з остаточним розволокненням макулатурної маси, здійснювати і подальше її очищення від залишків нерозволокненої макулатури, а також невеликих шматочків пластмаси, плівок, фольги та інших сторонніх включень. Застосування турбосепараторів дозволяє застосовувати двоступінчасту систему розволокнення макулатури. Такі системи особливо ефективні для переробки змішаної забрудненої макулатури. В цьому випадку, первинне розволокнення макулатури здійснюється в гідророзбивачі з великими отворами сортуючих сит (до 24 мм). Після первинного розволокнення суспензія направляється на очистники для

відділення дрібних важких частинок, а потім на вторинне розволокнення в турбосепаратори.

Макулатурна маса надходить в турбосепаратор під надлишковим тиском до 0,3 МПа через тангенціально розташований патрубок і, завдяки обертанню ротора з лопатями, набуває інтенсивного турбулентний обертання всередині апарату і циркуляцію до центру ротора (рис.112). Завдяки цьому відбувається подальше розволокнення макулатури, що не здійснене в повній мірі в гідророзбивачі на першій стадії розволокнення. За рахунок надлишкового тиску Остаточно розволокнена 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%.



Рисунок 112 – Турбосепаратор для розволокнення макулатурної маси

Тонке очищення є ключовою операцією, що впливає на стабільну роботу папероворобних машин. Тонке очищення є необхідною стадією для 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). В процесі переробки застосовують два основні типи обладнання для очищення макулатурної маси – вібросита та очищувачі циклонного типу. Для очищення макулатурної маси від домішок, які за щільністю відрізняються від щільності мокрих волокон, найчастіше використовують агрегат циклонного типу (вихрові очищувачі). За конструкцією та принципом дії вони мало відрізняються від звичайних гідроциклонів.

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 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 (рис.113). 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 сита і видаляється через розвантажувальний патрубок, а забруднення і домішки залишаються на поверхні сита і видаляються через патрубок для видалення відходів.

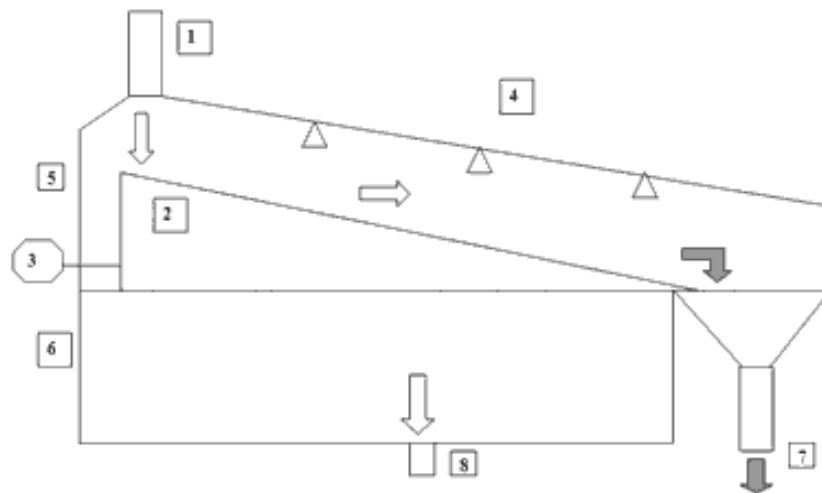


Рисунок 113 – Вібросито: 1 - подача маси; 2-сито з круглими або щілинними отворами; 3 - привід сита; 4 - форсунки для сприскування водою сита; 5 - кожух; 6 - ванна; 7 – виведення легких забруднень; 8 - виведення очищеної маси

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 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.

Для фракціонування макулатурної маси застосовуються сортувальні установки, що працюють при різниці тиску 30..40 кПа між поверхнями сита з отворами діаметром 1,0...2,2 мм та при постійному промиванні поверхонь, оснащених ситами відповідної перфорації. Після фракціонування розділені коротковолокнисті та довговолокнисті фракції обробляють за різними технологіями у залежності від вимог до міцності 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 здійснюють її згущення до концентрації 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.114).

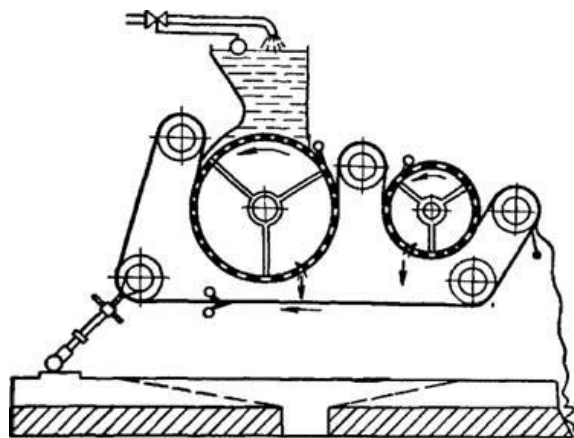


Рисунок 114 – Стрічковий згущувач макулатурної маси

Волоконна маса з концентрацією близько 4% безперервно надходить у проміжок між великим барабаном і прогумованою стрічкою. Вода під дією

тиску стрічки протискується через сітку всередину барабана і видаляється через його торці. Волоконна маса пристає до поверхні прогумованої стрічки і разом з нею надходить на малий барабан, де додатково втрачає вологу. Утворений шар волокон відділяється від стрічки та надходить до розпушувачів, де подрібнюється і далі направляється в технологічний потік.

Якщо макулатурна маса проходить подальше відбілювання або зберігатися в вологому стані, то її згущують до середніх концентрацій 12...17%, використовуючи для цього вакуумні фільтри або шнекові преси.

10.3 Видалення друкарської фарби та відбілювання макулатурної маси

При вибілюванні макулатурної маси вирішуються два завдання. Одне з них - компенсація зниження білизни волокнистого напівфабрикату, внаслідок природного старіння. Другим завданням є знебарвлення волокон макулатурної маси, отриманої з кольорової макулатури. Процес хімічного облагородження макулатурної маси шляхом вилучення з неї частинок друкарської фарби складається з наступних етапів:

- попередньої підготовки волокнистої маси, що полягає у відділенні частинок друкарської фарби та переведення їх в суспензію;
- віддалення частинок фарби з суспензії промиванням або флотацією з метою отримання чистого волокна.

Найбільш істотний вплив на процес відділення частинок фарби від волокон і видалення їх з волокнистої суспензії створює склад фарби.

В результаті механічної дії при розволокненні макулатури і при хімічних реакціях частки фарби диспергують і відокремлюються від волокон, утворюючи водно-волокнисту суспензію, яка містить частинки 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, який потребує ретельно виконаної хіміко-механічної обробки макулатури з метою отримання повністю розволокненої маси, а також застосування для флотації спеціальних хімічних речовин.

Основним принципом процесу флотації є введення в попередньо підготовлену волокнисту суспензію бульбашок повітря, до яких приєднуються частинки фарби. Піна, що утворюється унаслідок результату аерації волокнистої суспензії бульбашками повітря, піднімається у верхню частину флотаційної камери, звідки спеціальними пристосуваннями видаляється з установки. Чим вище гідрофобність плівки фарби, тим легше проходить її з'єднання з бульбашками повітря і тим стійкіша утворюється піна. Для підвищення стійкості піни в волокнисту суспензію додають спеціальні хімічні речовини - флотореагенти, що сприяють ущільненню піни і більш повному видаленню її з флотаційної камери.

В процесі флотації найбільш ефективно видаляються частинки фарби розміром від 10 до 150 мкм. Флотаційне очищення найчастіше здійснюється в два етапи: попереднє і остаточне. 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.

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). Пероксид водню володіє сильними окислювальними властивостями. Він мало токсичний і простий у використанні. Продукти його розпаду, вода і кисень, не є небезпечними. Пероксид водню використовується в паперовому виробництві при відбілюванні целюлози, різних видів механічної деревної і макулатурної маси. Додавання пероксиду водню при диспергуванні макулатурної маси сприяє відділенню частинок друкарської фарби і липких забруднень.

Поєднання процесу видалення фарби при флотації і процесу відбілювання, дає синергетичний ефект, який значно підвищує 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 віджимання і попереднє калібрування. В результаті паперова маса набуває потрібної товщини і вирівнюється по всій площі майбутнього листа (рис.115). Утворений лист з вологої паперової маси втягується у просвіт між нагрітими поверхнями барабана, де він остаточно підсушується, злипається в однорідну масу і перетворюється безпосередньо у папірове полотно.



Рисунок 115 - Папероробна машина

Виробництво паперу безперервний процес. За 8 годин виробляється близько 120 км. Утворений папір намотується на бухту діаметром 2...3 м, вагою 9...10 т. З бухтою таких розмірів незручно працювати і переміщати, тому проводяться заключні операції перенамотки в менші бабіни і нарізки паперу.

Отримана на папероробній машині бухта переставляється на бабінорозмотувальний верстат, де вона перемотується в рулони меншого діаметру (рис 116).



Рисунок 116 – Бабінорозмотувальний верстат

Перемотування на бабінорозмотувальному 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. УТИЛІЗАЦІЯ СКЛЯНИХ ВІДХОДІВ

Скло - аморфний прозорий матеріалодержаний шляхом переохолодження силікатного розплаву. Розплавлене скло не відразу твердне при охолодженні, а поступово збільшує свою в'язкість, аж поки не перетвориться в однорідну тверду речовину. Скло при твердінні не кристалізується, тому воно не має різко вираженої точки плавлення. На відміну від кристалічних матеріалів скло, при нагріванні у відповідному температурному інтервалі розм'якшується поступово, переходячи з твердого крихкого стану у високов'язкий і далі у текучий стан - скломасу.

Скло це матеріал, який має такі властивості, як прозорість, твердість, хімічна стійкість, термостійкість. Сучасна скляна промисловість виготовляє найрізноманітніші вироби - промислове та побутове листове скло, скляні труби і ізолятори, медичне та парфумерне скло, тарне та сортове скло, піноскло, скловолокно, ситали тощо.



Рисунок 117 – 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. Крім того, скляна промисловість достатньо забезпечена якісними сировинними ресурсами. 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 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 ($\text{K}_2\text{O} : \text{PbO} : 6\text{SiO}_2$).

Для виробництва скла використовують шихту - однорідну суміш попередньо підготовлених сировинних матеріалів, складену відповідно до заданого рецепту. Склад шихти розраховується, виходячи із виду отримуюмого скла, з урахуванням хімічного складу окремих сировинних матеріалів (кварцевого піску, соди, вапняку, польового шпату, сульфату натрію).

Базовими компонентами шихти для виробництва скла є кварцовий пісок (70%), сода і вапно (30%). Оксид кальцію CaO знижує температуру розм'ягшення 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). Оксид натрію Na_2O прискорює процес склоутворення, знижує температуру плавлення і в'язкість скла, полегшує освітлення скляної маси, підвищує густину. Оксид натрію Na_2O в шихту вводять у вигляді добавок кальцинованої соди, сульфату натрію або селітри. До допоміжних сировинних матеріалів відносяться прискорювачі варіння скла, освітлювачі, барвники, знебарвлюючі речовини тощо.

Виробництво скла включає такі основні технологічні операції: підготовку сировинних матеріалів (сушка, подрібнення); приготування скляної шихти (дозування і змішування компонентів); варіння скломаси; вироблення (формування) з неї виробів; 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. Утворення скломаси відбувається у певному температурному інтервалі, а не при конкретній температурі.

Варіння скломаси проводиться у ванних печах безперервної дії, які представляють собою басейни, утворені з вогнетривких матеріалів, з газовим або електричним обігрівом. Процес варки скломаси умовно поділяють на п'ять стадій: силікатоутворення, склоутворення, освітлення, гомогенізація та остудження.

Силікатоутворення для звичайного скла починається при температурі 300°C і закінчується при $1100...1150^{\circ}\text{C}$. При нагріванні шихти відбувається утворення силікатів з компонентів шихти 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 і взаєморозчинення розчинів силікатів. Наприкінці процесу склоутворення при температурах $1400...1450^{\circ}\text{C}$, скломаса стає більш прозорою, в ній не залишається непроварених часток. Процес склоутворення протікає повільніше, ніж силікатоутворення і складає $60...70\%$ загального часу проварювання шихти. Швидкість процесу склоутворення залежить від складу скла та температури.

Отримана скломаса залишається насиченою газовими бульбашками і є неоднорідною за складом. Гомогенізація забезпечує хімічну однорідність скломаси. Гомогенізація відбувається при температурах $1500...1600^{\circ}\text{C}$, коли в'язкість розплаву знижується, а бульбашки, що виділяються зі скляної маси, сприяють її перемішуванню.

Заключна стадія процесу варіння - остудження. Вона полягає у самостійному охолодженні у печі скляної маси. На цій стадії скляна маса набуває в'язкість, необхідну для формування скловиробів методами витягування, прокатки, пресування, лиття, видування тощо.

Основними варіантами утилізації використаних скляних виробів є:

1. Промислове повторне (зворотне) використання склотари за прямим призначенням без переплавлення. Цей вид поводження передбачає збирання і здачу склотари прийомними пунктами. Зібрана склотара далі поступає на відповідні підприємства, де в неї, після стерилізації, розливають напої. Сучасні маркетингові технології передбачають наявність у більшості фірм індивідуального оформлення склотари, в торговій мережі все менше присутня продукція в уніфікованих одноманітних пляшках і банках, тому вдається повторно використовувати досить незначну частину оборотної 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.

Вироби зі скла, які не йдуть на повторну переробку, подрібнюють, що суттєво зменшує об'єм відходів, які відправляються на захоронення. 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.

Скло є безвідходним пакувальним матеріалом, тобто 100% склобою може бути утилізовано та використано при виготовленні нових пляшок чи банок. Нескладно досягнути такого рівня утилізації, коли на сміттєзвалища не потраплять жодні відходи від скляної упаковки. Тісна співпраця між споживачами, місцевою владою та склопереробними заводами забезпечує високий рівень утилізації скла.

Склобій має значно нижчий температурний поріг при плавленні, ніж сировина на основі кварцового піску. Це означає, що при переробці склобою при однакових затратах енергії буде вироблено більшу кількість склотари, і, таким чином, зменшено забруднення навколишнього середовища. Переробка скла не тільки запобігає збільшенню відходів, але і зменшує потребу у додатковій сировині та енергії у процесі виробництва нової склотари.

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.

У світовому виробництві скла спостерігається тенденція до збільшення використання склобою у складі сировинних матеріалів. Головними екологічними перевагами при використанні склобою у скловарінні є:

- економія енергії, оскільки склобій переплавляється при значно менших температурах ніж первинна сировина;
- 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;
- зменшення споживання природних ресурсів, оскільки склобій фактично заміняє сировину, з якої виробляють скло;
- брак та бій скла, що утворюється під час виробництва, повністю використовується скловарними заводами повторно;
- якщо скло повторно використовується для виробництва нової тари, створюється практично нескінченний цикл переробки.

Основною складністю при організації вторинного використання склотари є її відділення від інших складових твердих побутових і промислових відходів та проведення сортування за кольором.

За кордоном накопичений значний досвід зі збору та переробки скловідходів. Збір скловідходів у великих містах здійснюється, в основному, спеціалізованими підприємствами. У Німеччині фірми, 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 досладу 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 зеленого скла шихту з 80...85% склобою. При цьому досягається економія палива у розмірі 0,25% на 1% перероблюємого склобою.

Система поводження з відходами скла включає наступні стадії: збір, транспортування, обробку (сортування, сепарацію, очищення від домішок, відмивання), дроблення, помел, отримання кінцевої продукції (відеододаток 40). 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;
- дробарки;
- стрічкові конвеєри;
- пакувальні системи.

На першому етапі відбувається оплачуваний збір відходів скла у населення, підприємств і організацій. Для цього організуються спеціальні пункти прийому і укладаються договори з підприємствами, на яких технологічні процеси супроводжуються утворенням скляних відходів. В подальшому, на переробному підприємстві, зібрані 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. Сортування за кольором є найбільш трудомісткою роботою, оскільки, переважно, виконується вручну на рухомому конвеєрі. Очищений скляний бій піддається подрібненню в дробильних агрегатах і просіюванню з сортуванням по фракціям.

Дроблення сировини переважно виконується на спеціальних автоматичних лініях (рис.118). 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 118 - Подрібнення скла на автоматичній лінії

Для поліпшення якості подрібненої сировини виробники скла все ширше застосовують автоматизовані системи сортування скляного бою за кольором. 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, депроводиться 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 складає 8...10 т/год.



Рисунок 119 – Подріблена скломаса з тарного скла

Число автомобілів, які підлягають утилізації, з кожним роком зростає. Кожний автомобіль середнього класу містить близько 30 кг багатошарового скла. 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 (рис. 120).



Рисунок 120 - Подрібнення триплексу при руйнуванні

Триплексне скло при розбитті не розпадається, а кришаться на безліч дрібних уламків, які залишаються прикріпленими до полімерної плівки, що захищає людину від утворення різаних травм. Наявність у складі триплексу полімерної плівки не дозволяє застосовувати стандартні технології для утилізації автомобільного скла. Переробка багат шарового матеріалу, виробленого за технологією триплекс, є трудомісткою і характеризується меншою продуктивністю, порівняно з утилізацією тарного скла. 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. Подріблений матеріал на конвейерній 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.

Виробництво скляної тари є неєдиним напрямком утилізації склобою. Так, найчастіше склобій від утилізації триплексу не вдається повністю очистити від дрібних залишків плівки, через що його не доцільно використовувати в подальшій переробці шляхом скловаріння. Відходи такого типу доцільно використовувати для переробки у дорожні та теплоізоляційні матеріали.

Бетон є одним з найбільш розповсюджених будівельних матеріалів. В його складі значну частину займає пісок, який потребує обробки, промивання

та просіювання перед тим, як додати його до бетону. Найбільш простим і доступним варіантом утилізації склобою є традиційна технологія виготовлення дрібнозернистого бетону, де склобій виступає як наповнювач. Це тягне за собою додаткові ресурси та витрати. Заміна натурального піску на подрібнене скло дозволяє отримувати бетон з більшими показниками міцності та досягати екологічного ефекту шляхом використання вторинних ресурсів.

Після сортування, подрібнення і розсіювання на фракції склобій є повністю підготовленою будівельною сировиною. Наповнювачі бетону із різнокольорового подрібненого скла, замінюють щебінь у багатьох будівельних та інженерних проектах, підвищуючи декоративність бетонних конструкцій. Матеріали на основі склобою не поступаються за своїми будівельними властивостями сучасним бетонним матеріалам на основі цементних в'язучих речовин, а по ряду показників, таких як біостійкість, теплопровідність, кислотостійкість, навіть перевершують їх. Фракції склобою розміром більше 5 мм використовуються у бетонах як крупний наповнювач, фракції з розміром менше 5 мм - як дрібний наповнювач (пісок), а помолотий пилевидний до пилевидного стану скляний порошок - як в'язуча речовина.

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'яного борошна 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 при змішуванні з водою не проявляє в'язучих властивостей. Для початку реакції гідратації скла використовують активізатори 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 міцного будівельного матеріалу – склобетону.

Важливим напрямком використання склобою є виробництво пористих матеріалів, які можуть ефективно застосовуватися у будівельній галузі (відеододаток 41). 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 вуглецьвміщуючі пороутворювачі (сажу, 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 газів пороутворювачами 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 з розміром часток 2...10 мкм 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, спінюютьв'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.

Виробами з піносла є блоки, плити, фасонні деталі, гранули (будівельний пісок або гравій) і безформних шматках (будівельний щебінь). Піноскло легко піддається механічній обробці. Для надання виробам необхідної форми та розмірів, блоки можливо розпилювати, свердлити тощо.

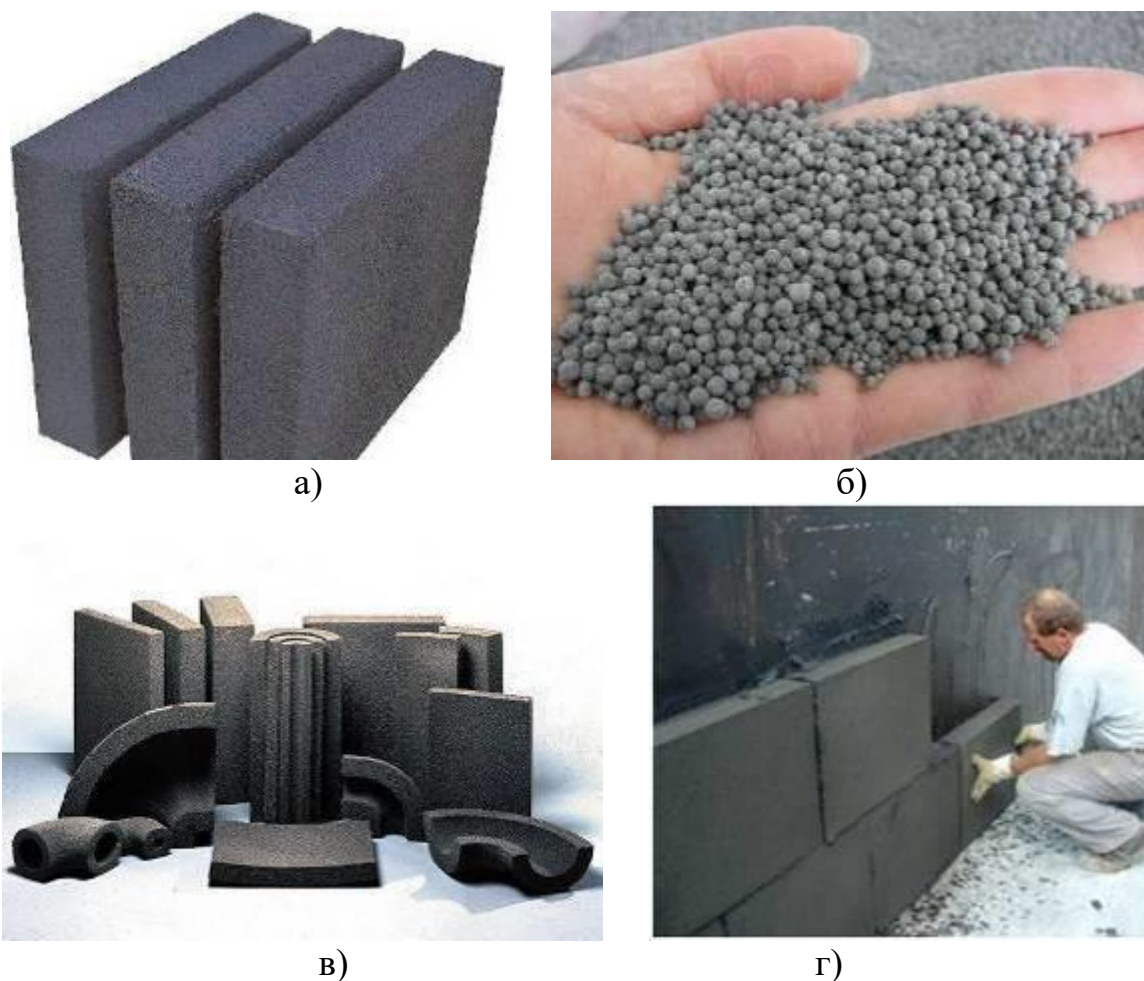


Рисунок 121 – Вироби з піноскла: а - облицьовувальні блоки;
б - гранульоване піноскло; в - фасонні вироби з піноскла;
г - облицьовування стін блоками з піноскла.

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 (мм): довжина - від 200 до 475 мм з інтервалом 25 мм; ширина - від 125 мм до 400 мм з інтервалом 25 мм; товщина - 60, 80, 100 і 120 мм. Застосовують блоки з піноскла для термоізоляції поверхонь при температурах від -200°C до $+400^{\circ}\text{C}$ при відносній вологості до 96 %. За рахунок низького коефіцієнта водопоглинання даний утеплювач також використовується для гідроізоляції цокольної частини будівель і підвалів. Враховуючи високу вогнетривкість, піноскло використовують для ізоляції ізотермічних резервуарів, призначених для зберігання зріджених природних газів (бутану, пропану, метану). Гранульоване піноскло застосовують в якості теплоізолюючого наповнювача у бетонних виробтах в якості засипки у порожнини стін.

Подібно до звичайного скла піноскло є екологічно безпечним матеріалом. Його застосування дозволяє відмовитися від широко розповсюджених 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.

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 від розтріскування при монтажі. Низька ударна міцність приводить до пошкодження матеріалу під час перевезення, розвантаження та встановлення.

3. Більша вага у порівнянні з іншими видами теплоізоляційними матеріалами (наприклад, пінопласт).

Скляний бій також може використовуватися у якості сировини при виробництві скловати - універсального утеплювача з високими звукоізоляційними властивостями. Це один з найдешевших і повсюдно доступних видів утеплювачів, теплопровідність якого знаходиться в межах 0,030...0,052 Вт/м·К. За показником термічного опору шар скловати товщиною 50 мм замінює 1 м товщини стіни з керамічної цегли. Для виробництва скловати скляні відходи переплавляються у спеціальне волокно, яке є основою продукту. 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 ниток. При роздуванні розплавленої скляної маси струменем водяної пари з дрібних отворів центрифуги вилітають скляні нитки. Утворені нитки обробляються полімерними аерозолями на основі фенольних та альдегідних полімерів. Шар просочених аерозолем волокон проходить на конвеєрі операцію вирівнювання вальцями з формуванням однорідного склополімерного шару. При температурі 250 °С проходить етап полімеризації. Попутно в температурній камері випаровується залишок вологи, яку містив аерозоль. Після полімеризації волокна вати стають твердими й набувають бурштиново-жовтого відтінку. 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. Здатність до стискання, м'якість і еластичність дозволяють використовувати скловату для якісної ізоляції нерівних поверхонь та конструкцій складної геометрії. Заключним етапом виробництва скловати є її розкроювання фрезами й поперечними пилами. Основними видами товарної скловати є рулони і м'які мати. кроють стрічку 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.



Рисунок 122 - Зовнішній вигляд матів із скловати

До недоліків скловати відносяться гігроскопічність, що викликає потреба в додатковій пароізоляції; скловата в процесі монтажу створює загрозу потрапляння подріблених скляних ниток на шкіру і в органи дихання; поява усадки (злежування) після 8 - 10 років експлуатації.

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. УТИЛІЗАЦІЯ МЕТАЛОБРУХТУ

Незважаючи на стрімке розширення використання полімерних матеріалів, кераміки та композиційних матеріалів метали продовжують залишатися найважливішими стратегічними конструкційними матеріалами. Вони є основою всіх знарядь праці - машин, інструментів, приладів тощо. В процесі експлуатації металеві вироби приходять в непридатність, не можуть в подальшому використовуватися за прямим призначенням і здаються на утилізацію для використання у якості вторинної металургійної сировини. Металобрухт є важливою стратегічною та енергозберігаючою сировиною для металургійного виробництва. Він використовується переважно як складова частина шихти для сталеплавильного виробництва та ливарних цехів. 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 1 т сталі здешевлюється до 20 разів у порівнянні зі сталлю, отриманою з руди. Серед усієї множини видів відходів металобрухт є сировиною, яка повністю відновлюється в процесі металургійної переробки.

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. Відповідно до цього закону застосовується наступна термінологія:

металобрухт - непридатні для прямого використання вироби 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 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 заготівлю та переробку металобрухту кольорових і чорних металів можуть видаватися лише спеціалізованим підприємствам. Ліцензії на металургійну переробку металобрухту кольорових і чорних металів видаються лише спеціалізованим металургійним переробним підприємствам. Суб'єкти підприємницької діяльності, які здійснюють заготівлю та переробку металобрухту, повинні мати кваліфікованих спеціалістів, відповідне устаткування, засоби екологічної безпеки. Обов'язковою умовою для отримання ліцензії на здійснення операцій з металобрухтом є наявність у заявника облаштованої земельної ділянки для здійснення операцій з брухтом кольорових металів та їх сплавів площею не менш як 500 м², з брухтом чорних металів та їх сплавів - не менш як 1000 м². 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.

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.

В експорті металобрухту несьогоднішній день лідирують Росія, США, Німеччина, Японія, Великобританія, Україна. Серед найбільших імпортерів вторинних чорних металів - Туреччина, Китай, Південна Корея. Основним споживачем брухту і відходів чорних металів є сталеплавильне виробництво, на долю продукції якого припадає більше 78% загального споживання чорних металів. Практично кожна тонна брухту чорних металів, перероблених усталъ, 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, судовим, побутовим і безгоспним.

Промисловий металобрухт складається зі скрапу (зашлакованих відходів чорних металів), та відходів, що утворюються при металообробці. Основна частина металевих відходів у машинобудуванні утворюється в чавуноливарних, сталеплавильних, ковальсько-пресових, механічних, термічних, інструментальних цехах, у вигляді залишків металів, дрібних відходів виробництва (шайби, гайки, болти), кускових відходів труб і рейок, стружки,

сталевому дроту 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, пакування 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.

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 заготовлюють, здають, переробляють та переплавляють металобрухт, а також відвантажують або здійснюють його перевантаження у портах та інших пунктах, повинні перевіряти металобрухт щодо вибухобезпечності. 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.

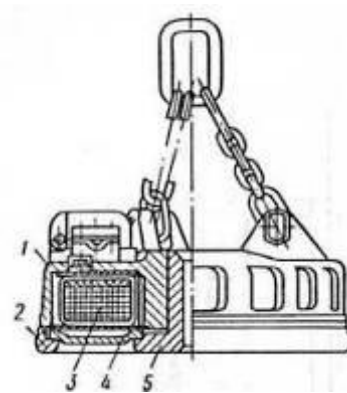
12.3 Способи переробки металобрухту

Для підйому та перевантаження шматків металобрухту з феромагнітних металів застосовують вантажопідйомні електромагнітні шайби, які працюють у періодичному режимі (відеододаток 42). Конструкція вантажопідйомних електромагнітів має високу міцність, яка дозволяє їм працювати у важких умовах і витримувати удари при падінні на вантаж. Електромагнітна шайба складається зі сталюого сердечника та обмотки з мідного дроту (рис. 123). 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, струмопідвід до

катушки вантажопідйомного електромагніту здійснюється 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 123 – 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 (відео додатки 43-44). Переробка металобрухту проводиться для перетворення його, відповідно до вимог стандартів, в шматки певних розмірів і форми, з відділенням неметалевих домішок. У стан придатності для переплавки металобрухт приводиться подрібненням великих металевих предметів на більш дрібні частини або окусковування (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 певної довжини і ширини за допомогою киснево - газових і киснево - газових пальників (рис. 124). Вогневе різання широко застосовують для розділення великогабаритного брухту: автомобілів, суден, вагонів, контейнерів, 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 гасове 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 розігрівається до температури займання в атмосфері кисню, продукти хімічної реакції окислення розплавляються та видуваються газовим потоком.

Найбільшого поширення вогневе різання отримало для розділення сталюого брухту товщиною до 500 мм (відходопродукт 45). 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 124 - Різання металу киснево-газовим пальником

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 до 1600°C . Для розділення крупного металевого брухту з легованих сталей доцільно застосовувати плазмове різання, яке дозволяє подрібнювати заготовки з товщиною стінок до 150 мм. Плазмове різання - вид обробки матеріалів, при якому в якості ріжучого інструменту використовується струмінь плазми з температурою від

5000...6000⁰С і швидкістю від 500 до 1500 м/с. Метод плазменного різання універсальний, він підходить для розрізання сталі, чавуну, алюмінію, міді, титану та інших видів металу. Розділення металобрухту можна виконувати, попередньо не очищаючи деталь від іржі, фарби або забруднень.

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 ножицями є найбільш продуктивним і дешевим способом його переробки. Використання ножиць для розділювання 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.

Алігаторні (важільні) ножиці включають: привід, рухому і нерухому щелепу (на щелепах кріпляться ножі), кривошипно – шатунний механізм, притискний пристрій, запобіжний пристрій (відеододаток 46). Кривошипно – шатунний механізм перетворює обертальний рух колінчатого вала в рух, що переміщує рухомі щелепи (рис. 125). 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 малопродуктивним.

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. Принцип роботи ножиць полягає в наступному.

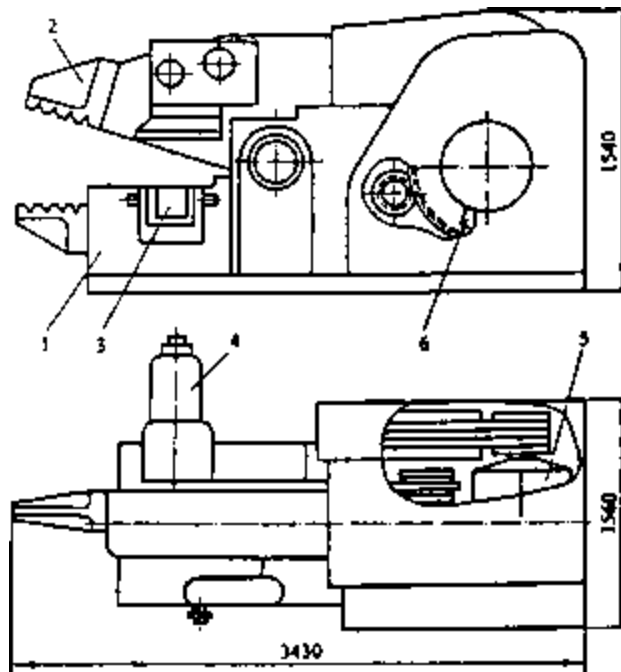


Рисунок 125 – Алігаторні (важільні) ножиці : 1 - станина, 2 - щелепа, 3 - ролик, 4 - опора, 5 - привід; 6-запобіжний пристрій

При пакетування лом за допомогою механізму подачі подається в завантажувальну камеру, де пакет формується по ширині. Потім металобрухт пресується по вертикалі, Після формування пакет за допомогою механізму остаточного пресування виштовхується з камери штемпелем. При цьому досягається продуктивність від 8 до 50 т/год в залежності від моделі обладнання. При деформації металобрухту в приймальній камері прес-ножиць відбувається осипання сміття, іржі, різних покриттів поверхні (до 5% ваги), яке при подальшому проходженні через вібростіл відділяється від готової продукції.

При роботі прес-ножиць в режимі різання поперечна стінка камери, що є ножовою балкою, піднімається, і металобрухт за допомогою механізму подачі переміщається під ніж. Різка здійснюється механізмом різу, що працює від гідроприводу. Перед початком різання металевий брухт ущільнюється за допомогою механізму попереднього притиснення, який утримує лом під час різання. Після завершення різання нарізаний металобрухт падає в приймальний бункер, звідки забирається краном.

Пакетування металобрухту широко використовують для ущільнення легковагового тонколистового брухту, обрізків листів, дроту, тросів та перетворення його в пакети (відеододаток 47). 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. 126,а). 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.

Процес пресування у пакети дрібного та тонколистового металобрухту здійснюється в гідравлічних і електромеханічних пакетувальних пресах. 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.



а)



б)

Рисунок 126 - Пакети листового металобрухту (а) і брикети з пресованої стружки (б)

Додатковим чинником, що підвищує ефективність виробничого процесу в металургії, є брикетування металевої стружки. При цьому 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. Пресування завитої стружки доцільно проводити відпаливши її, оскільки при цьому відпадає необхідність виконання таких підготовчих операцій, як дроблення, знежирення, відбірання обтиральних матеріалів тощо.

Преси для брикетування працюють наступним чином. В процесі роботи віброживильник рівномірно подає подрібнену стружку з бункера в контейнер брикетувального преса, де порції стружки попередньо ущільнюються (рис. 127). 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.



Рисунок 127 - Прес для брикетування стружки

Брикетування зменшує об'єм, який займає стружка, у 10-15 разів. Брикети отримані в ході переробки сталевих стружок 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.

Для переробки великогабаритного масивного сталевго або чавунного лому з товщиною стінки до 200-600 мм застосовується копрове дроблення. Зазвичай за допомогою копра розбивають блоки циліндрів, виливниці, валки прокатних станів тощо. Пристрій для розбивання брухту за рахунок енергії падаючого вантажу називається копром. При цьому дроблення металевго брухту відбувається під дією падаючого вантажу спеціальної форми - сталевго копровго баби. Оптимальною є копова баба грушеподібної форми з плоским дном. Енергія удару на копровій установці, яка витрачається на дроблення, залежить від маси і форми копровго баби, а також висоти її падіння. Копри розрізняються за вагою копровго баби (5...15 т.). Висота підйому копровго баби складає 18...35 м (рис. 128). Робота на копрі вимагає великої уваги і ретельного виконання правил ведення робіт. Копер повинен мати знизу міцне огороження, що попереджує розлітання осколків.

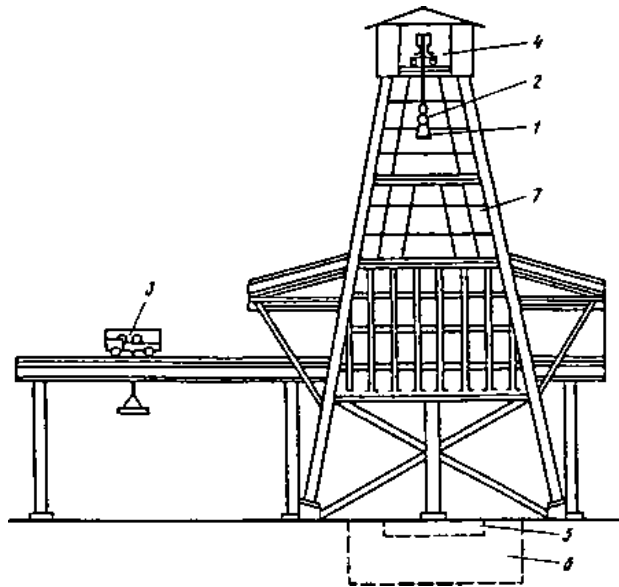


Рисунок 128 - Баштовий копер для подрібнення металевго брухту:

- 1 - копова баба; 2 – захват для копровго баби; 3 - мостовий кран;
- 4 - підйомний механізм; 5 - шабот; 6 - фундамент; 7 – башта копра

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;
- обслуговуючих копер працівників з копровго приміщення виводять;
- бабу піднімають на необхідну висоту.

За сигналом відповідальної особи натягують трос захватного пристосування. Захват, який утримував копрову бабу, розкривається, баба падає на брухт і розбиває його. Після розбивання брукту робочі входять в робочу зону копра для розбирання та сортування шматків брукту.

Особливу цінність, як сировини, мають відходи кольорових металів. У структурі таких відходів найбільші долі складають алюмінієвий, свинцевий, мідний і цинковий брукт. Як правило, процеси переробки відходів кольорових металів складні та вимагають дорогого устаткування. Оскільки кольорові метали знаходяться у металобрукті 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 - брукт свинцевих акумуляторів від легкових автомобілів;

VIII - брукт алюмінієвої консервної тари;

IX - брукт консервної тари із білої жерсті.

Проведення сортування металобрукту дозволяє відділити з загальної маси металобрукту 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 встановлюють над стрічковими конвеєрами, якими транспортують суміші магнітних і немагнітних подрібнених відходів. Принцип роботи підвісних сепараторів полягає в притягуванні магнітних частинок до розвантажувальної стрічки, яка виносить їх у бік 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. Водному з відділень розміщено елеваторне колесо для вивантаження суспензії разом з затонулою важкою фракцією. Легка фракція вивантажується з верхньої частини ванни. Їх змішуванню у зоні вивантаження запобігає розділова перегородка.

В окремих випадках у якості важких середовищ для сепарації використовують водні розчини хлориду кальцію, хлориду цинку, йодиду калію, які дозволяють отримувати середовища зі щільністю до 3000 кг/м³.

Недоліком таких методів сепарації відходів кольорових металів є значні витрати води.

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 вологу, мастила і механічні домішки. Цей процес проводиться в обертових печах-сушарках і центрифугах з наступним вловлюванням та знешкодженням парів мастил. При ведення брухту і відходів кольорових металів до габаритного стану виконують пакетування і брикетування, ножичною та вогневою різкою, застосовуючи відповідне обладнання (пакетувальні преси, брикетуючі преси, гідравлічні і алігаторні ножиці різних типів).

Широкого поширення в останні роки знаходить ефективна утилізація алюмінієвих банок з під напоїв та аерозолів (відеододаток 48). 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 потрапивші 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 змішують з свіжими добавками 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 Утилізація зношених автомобілів

Світова індустрія утилізації зношених автомобілів забезпечує зайнятість понад 1 млн. чоловік. Загальна річна вартість продукції, яка отримується у світі

за рахунок утилізації автомобілів складає понад 175 млрд. доларів США. В усіх розвинених країнах утилізація автомобілів є обов'язковою для їх власників, а її технологія детально відпрацьована (відеододатки 49-50). 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». Головне завдання утилізаційних програм в Європі - це поліпшення екології і тому екологічна складова, виражена в нормах токсичності (викиди CO₂), присутня в програмах практично всіх країн. 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).

Використання металургійних технологій для утилізації старих автомобілів є невід'ємною частиною сучасного сталеплавильного виробництва. 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 потребують утилізації.

Утилізація автомобіля - це процес його 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 і т.д. Так, наприклад, середній європейський автомобіль важить близько 1185 кг і складається з наступних компонентів: 540 кг листової сталі, 130 кг чавуну, 75 кг сталейних поковок, 80 кг легких сплавів, 120 кг пластиків, 90 кг гуми, 50 кг скла, 35 кг фарби і 65 кг інших матеріалів.

Утилізація автомобілів забезпечує наступні аспекти:

- екологічний - зменшення споживання невідновлюємих природних ресурсів і джерел енергії за рахунок вторинного використання автомобільних компонентів (табл.15);
- економічний - зниження собівартості виготовлення автомобільних компонентів за рахунок переробки або вторинного використання утилізованих;
- соціальний - очищення вулиць міст і звалищ від покинутих старих автомобілів.

У США переробляється до 95% зношених автомобілів, які приносять доходи підприємствам (понад 7000 підприємств з числом працюючих близько 46 тис. чол.), зайнятих їх утилізацією, більше 25 млрд. доларів на рік. Крім цього збором і підготовкою зношених автомобілів до утилізації займаються ще 20 тис.чоловік.

Таблиця16 – Матеріали, які використовують при виробництвілегкових автомобілів

Назва матеріалу	Вміст матеріалу у типовому автомобілі, % від маси		
	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

Утилізація автомобілів у Німеччині включає наступні етапи:

1. Приймання підприємством автомобіля на утилізацію і видача сертифіката про утилізацію 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, пластмасові деталі, зливають залишки палива і експлуатаційні рідини. Обов'язково проводиться демонтаж подушок безпеки і інших піротехнічних елементів. Кузов складують в накопичувачі, звідки він передається на подрібнення чи пресування.

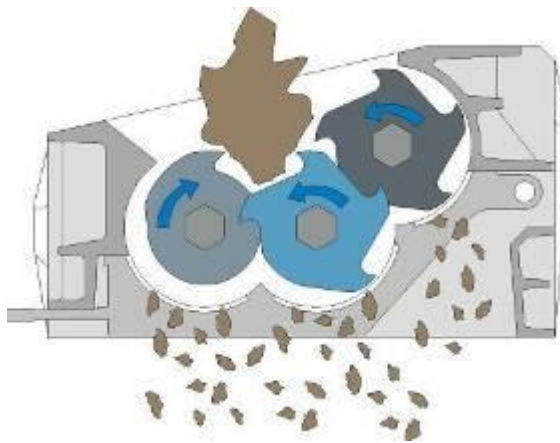
4. Після дроблення автомобіля отримують три фракції: магнітну (чорні метали), повітряну (неметалічні матеріали з низькою щільністю) і фракцію, в яку входять всі кольорові метали – алюміній, цинк, мідь, а також нержавіюча сталь. Подрібнена маса піддається сортуванню. Спочатку повітряним струменем видують 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.

Витрата енергії при дробленні автомобілів та якість отриманого металобрухту залежить від повноти попередньої підготовки до утилізації.

Сьогодні переробники металевого брухту 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 100 шт. 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 (рис. 129).



а)



б)

Рисунок 129 – Шредер для подрібнення великогабаритних відходів: а) схема роботи шредера; б) приклад подрібнення легкового автомобіля у шредерній установці

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 утилізаційному підприємстві. Для подрібнення автомобільних кузовів в Україні в основному застосовують дробарки молоткового типу, що складаються з роз'ємного сталевго корпусу, облицьованого зносостійкими плитами, дискового ротора і дробильної плити.

12.5 Утилізація суднового брухту

Значну долю в постачанні металевго брухту займають продукти переробки суднового брухту. Зазвичай судна мають термін служби в кілька десятиліть, перш ніж їх експлуатація з переобладнанням і ремонтом, стають економічно не вигідними. У 2012 році на утилізацію було відправлено близько 1,2 тисячі океанських суден, із середнім віком в 26 років.

Історично склалося так, що на планеті утворилося 4 основних центру утилізації суден: Індія, Бангладеш, Пакистан і Туреччина. Там утилізується близько 85% всього списаного світового флоту. На виконанні цих робіт задіяно понад 100 тисяч осіб. Така ситуація склалася з наступних причин:

- в цих регіонах стабільно високі ціни на судновий лом, що обумовлено високим попитом на чорний метал в таких країнах, як Японія, Китай, Південна Корея, Індія;
- наявністю дешевої робочої сили;
- великою довжиною берегової лінії, яка виділена для переробки списаних суден, сприятливі кліматичні умови;
- відсутністю жорстких екологічних законів, що попереджують забруднення навколишнього середовища.



Рисунок 130 - Корпус судна в процесі утилізації

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 утилізаційних робіт не виникли загорання і вибухи.

2. Демонтаж складових частин. Під час припливу судно підводять на мілину в заздалегідь визначене місце. В період відпливу майже всесудно виявляється на суші. Далі здійснюють демонтаж агрегатів, вузлів,

трубопроводів, кабелів і інших складових корабля, який триває домоменту, коли від судна залишається лише корпус.

3. Розрізування корпусу. Корпус судна піддають розрізанню на окремі відсіки з використанням газові різальні апарати. 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 (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 утилізації 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. Після цього розрізані складові корпусу виносять на берег і вже там їх піддають подальшому розрізанню на більш дрібні шматки з метою їх подальшого транспортування.

5. Сортивальні роботи. Метали і сплави, що застосовуються в будівництві 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 утилізованих матеріалів. Розсортовані елементи вантажівками або залізничними платформами відправляються на переробні металургійні підприємства.

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. УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОЇ ГАЛУЗІ

13.1 Утилізація 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.

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 того, що після проведення гірничих робіт у надрах Землі залишається до 50% солей, 40% кам'яного вугілля, 25% руди металів. При подальшій переробці лише третина зі складу добутих корисних копалин використовується як корисна сировина, а решта потрапляє у відвали та хвостосховища.

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%.

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 тонажами осадів після виробництва соди, мінеральних добрив та інших хімічних речовин (рис. 131-132). 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 XX ст. оцінювалася у 27 млрд. т (відеододаток 51).

Під час видобутку руд і вугілля щорічно на поверхню з надр піднімають десятки мільйонів тон порожньої породи. Найбільш раціональним є використання цих відходів для заповнення пустот вироблених шахт. Це є актуальним для закритих шахт на Західній Україні, де після тривалого добування солей спостерігається просідання земної поверхні та утворення карстових воронок.



Рисунок 131 – Воронки просідання ґрунту на території залізрудних шахт у Кривбасі



Рисунок 132 - Ставок-накопичувач шахтних вод шахт «Артем-1» і «Гігант-Глибока» у Кривбасі

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). 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 залізорудних родовищ цих районів.

Дослідженнями встановлено, що в промислових відходах окремих гірничих та металургійних підприємств накопичуються у підвищених концентраціях багато цінних компонентів, які представляють практичний інтерес. При застосуванні відповідних технологій збагачення, паралельно з утилізацією залізних, кальцієвих, магнієвих та алюмінієвих складових, ці техногенні родовища здатні забезпечувати сировиною потреби промислового виробництва у таких важливих хімічних елементах, як ванадій, скандій, цинк і свинець. Організація відбору цих компонентів з відвальних порід може мати стратегічне значення, оскільки природні родовища їх видобутку на Україні відсутні.

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.

Так, на гірничо- збагачувальних комбінатах з видобутої руди отримують концентрат, а відходи з пониженим вмістом корисних складових переміщують у хвостосховища (рис. 133). Зазвичай хвостосховища розміщують в кількох кілометрах від гірничозбагачувальної фабрики, переважно у низинах рельєфу (улоговинах, розпадках тощо).



Рисунок 133 – Хвостосховище відходів збагачення залізної руди м. Кривий Ріг

2. Родовища наливні, що утворюються при заповненні рідкими відходами збагачення западин земної поверхні. Представниками цього типу техногенних родовищ 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.

За походженням техногенні родовища поділяють на наступні типи:

- породні техногенні родовища гірничодобувної промисловості;
- техногенні родовища кольорової та чорної металургії (шлами і шлаки);
- техногенні родовища теплоелектростанцій (зола і шлаки);
- техногенні родовища хімічного виробництва (шлами).

13.2 Утилізація техногенних залізорудних родовищ

В Україні значне поширення знаходить відкритий спосіб видобутку корисних копалин, який здійснюється шляхом розробки кар'єрів. Поклади корисних копалин, як правило, розміщуються під шаром розкривних порід. При товщині шару 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 залізорудних 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 залізовмістні мінерали характеризуються високими показниками міцності, морозостійкості і повністю відповідають вимогам до матеріалів підстилаючих шарів дорожніх покриттів.

Основним напрямком утилізації зібраних у відвали розкривних порід є використання їх для утворення дамб, гребель, насипів, обвалувань, основ доріг, а також для виробництва будівельних матеріалів. Скульні породи можуть

використовуватися у якості сировини для виробництва щебеню, який застосовують як заповнювач у бетонах. 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 розкритих порід. Однак, обсяги утворення відходів від розкритих робіт в Україні значно перевищують масштаби можливої переробки, і основним напрямком їх використання є зворотна засипка та рекультивація території відпрацьованих кар'єрів.

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. У багатьох відвалах містяться промислові концентрації чорних, кольорових та рідкісноземельних металів. На сьогодні в Україні відсутні приклади використання відвалів у якості додаткової сировини. Підприємства чорної металургії, видобуваючи залізну руду, 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 завжди є нижчою, ніж їх вилучення із природної сировини, запаси якої в Україні обмежені або взагалі відсутні.

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 та підвищує ефективність природоохоронних технологій у металургійному виробництві.

Методи збагачення базуються на наявності відмінностей у фізичних і фізико-хімічних властивостях розділюємих компонентів руди - 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.134). При проведенні підготовчих операцій для руйнування зростків до повного вивільнення зерен корисного компонента та одержання механічної суміші зерен корисного компонента і пустої породизалізну руду дроблять, проводять гідравлічну класифікацію тощо. Чим дрібніша руда, тим краще залізовмістні складові будуть відділятися від порожньої породи.



Рисунок 134 - Будова шматка залізної руди зі світлими прошарками пустої породи (кварциту)

До основних операцій відносяться процеси безпосереднього збагачення руди. Для збагачення залізних руд застосовуються наступні методи: промивка, гравітаційне збагачення, магнітна сепарація і флотація.

При 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.

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). Частинки заліза залишаються у камері флотаційної машини, а більш легка порожня порода збирається у піні і відділяється. На відміну від подальших процесів переробки, в яких мінеральні компоненти відходів зазнають хімічних та фізичних перетворень, хімічний склад мінеральної частини руди при збагаченні зазвичай не змінюється. Особливістю флотаційного методу є можливість штучного регулювання змочуваності і розділення тонкоподрібнених мінеральних зерен. Завдяки цим особливостям флотаційний метод є одним з найбільш універсальних, він широко застосовується для збагачення різноманітних корисних копалин.

Для зневоднення продуктів збагачення після фільтрації використовують методи дренування (грохоти, елеватори), центрифугування (фільтруючі, відсаджувальні і комбіновані центрифуги), згущення (згущувачі, гідроциклони), фільтрування (вакуум-фільтри, фільтр-преси) і термічного сушіння.

При збагаченні руд чорних і кольорових металів також знаходить поширення гідравлічна класифікація. Цей метод класифікації матеріалів базується на використанні різниці у швидкостях осадження частинок різної крупності у водному середовищі. Крупні частинки руд (піски) осідають швидше і концентруються в нижній частині класифікатора, а дрібні частинки (шлами) не встигають осаджуватися на дно і виносяться з апарата водним потоком. Гідравлічна класифікація дає якісні результати при розділенні дрібних і тонких продуктів з розміром зерна до 1 мм.

У результаті збагачення твердих відходів отримують залізорудні концентрати, які придатні для подальшої переробки у доменних печах, і хвости збагачення. Концентрати – це продукти збагачення, в яких вміст корисних компонентів вищий, а шкідливих домішок нижчий, ніж у первинній рудній сировині. Хвости – це продукти збагачення, в які переходять порожня порода, шкідливі домішки і частина корисних компонентів відходів. Хвости, як відходи збагачення, можуть, у ряді випадків, використані після додаткової обробки у виробництві як вторинна сировина.

У Криворізькому та інших залізорудних басейнах в значній кількості добуваються бідні руди, які підлягають процесу збагачення. Гірничозбагачувальні комбінати щорічно 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%. В цілому на території України у хвостосховищах гірничозбагачувальних комбінатів, шламосховищах та шлакових відвалах металургійних підприємств накопичено понад 650 млн. т техногенного заліза.

У Нікопольському марганцевому басейні у відходах збагачення втрати марганцю складають 27%. Щорічний приріст відходів збагачення марганцевих руд складає 4...5 млн. т, а їх загальна кількість - близько 70 млн. т.

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 намивається 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. У зонах,

близьких до місця випуску пульпи, осідають найбільш крупні і важчі частки, вміст заліза в осадах цієї зони може перевищувати 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 вверх.

Розвиток сучасного гірничогорудного 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. 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.

Тривалий час слабомагнітні 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 може використовуватися у металургійному виробництві замість первинної залізорудної сировини. Ефективне збагачення шламів може здійснюватися шляхом послідовного відбору тонкоподріблених 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 до 11% при виході 55%.

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 отримуєма із кондиційних залізистих кварцитів, але собівартість такого концентрату на 40% нижча. При цьому звільняються площі у хвостосховищах для поточних відходів збагачення, що дозволяє не виводити з обігу сільськогосподарські землі для розміщення нових хвостосховищ.

Утилізація шламів з шламосховищ має велике значення для народного господарства України. 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 у складі будівельних матеріалів - для виготовлення 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.

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. 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. 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 збагачувальної 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 Ради економічної взаємодопомоги: східної Німеччини, Румунії, Радянського Союзу, Угорщини та Чехословаччини. Комбінат активно будувався у 1985 - 1993 роках (рис.135).



Рисунок 135 - Криворізький гірничо-збагачувальний комбінат окиснених руд

Очікувалося, що пуск комбінату дозволить розв'язати проблему залучення до промислової переробки слабкомагнітних окиснених руд, які є

відходами діючих гірничо-збагачувальних комбінатів. 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 підприємства по випуску залізистого концентрату складала 9,8 млн. т сухої маси 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 складає 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 утилізації

Інтенсивність і ефективність процесів збагачення гірничих порід зростає зі зменшенням розмірів частинок матеріалів, що переробляються. У зв'язку з цим першими технологічними операціями переробки залізистих відходів є процеси зменшення розмірів їх шматків. Дроблення здійснюється у щоківних, конусних, валкових і інерційних дробарках. Конусні дробарки, як правило, застосовують на підприємствах з великою виробничою потужністю для руд з найбільш високою міцністю. Щоківні 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 конструктивно. До недоліків щоківних дробарок відноситься сильний шум та пилоутворення при роботі.

Щоківна дробарка - це механізм, в якому матеріал дробиться шляхом роздавлювання між рухомими щокими. Головним параметром щоківних дробарок є розмір (ширина та довжина) приймального отвору камери дроблення, яка утворюється між рухомою та нерухомою щокими.

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.136). Приводить у дію рухома щока через розпірні плити 5 шатун 4, з'єднаний з ексцентриковим валом 3. Обертання ексцентрикового валу забезпечується потужним механізмом приводу. В утворену між плитами щік клиновидну камеру дроблення завантажується 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 абразивному зносу, тому вони футеруються змінними плитами зі зносостійкої сталі (відеододаток 51).

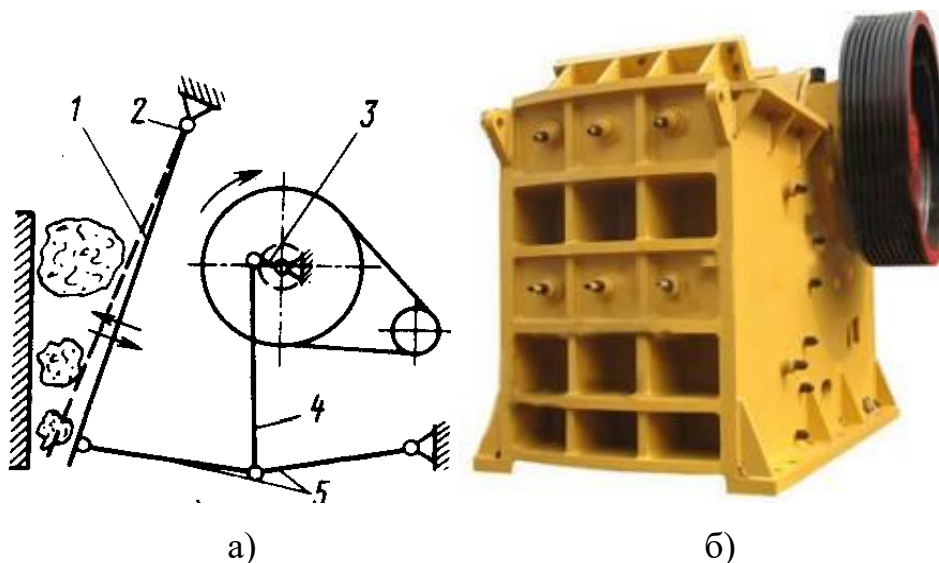
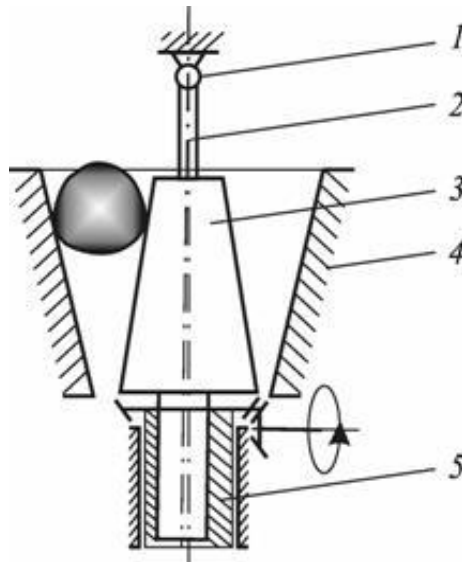


Рисунок 136 - Схема роботи щоккової дробарки (а); зовнішній вигляд щоккової дробарки

У порівнянні зі щокковою дробаркою, конусна дробарка більш складний і ефективний механізм для дроблення рудних матеріалів. Конусні дробарки випускаються для крупного, середнього та дрібного дроблення (рис. 137).



1 - вузол підвісу рухомого конуса; 2 - вал; 3 - рухомий конус;
4 - нерухомий конус; 5 - ексцентриковий стакан

Рисунок 137 - Схема конусної дробарки крупного дроблення

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.138). Рухомий конус при круговому коченні роздавлює матеріал, який потрапляє у робочий простір. На відміну від щоккових дробарок, процес дроблення у конусній дробарці відбувається безперервно, що забезпечує вищу продуктивність (відеододаток 52).



Рисунок 138 - Застосування у кар'єрі мобільної конусної дробарки на гусеничному ході

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. 138). Матеріал, який перебуває у барабані, подрібнюється мелючими робочими тілами шляхом розбивання при падінні, роздавлюванні і розтиранні під час скочування. Подріблюємі 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.

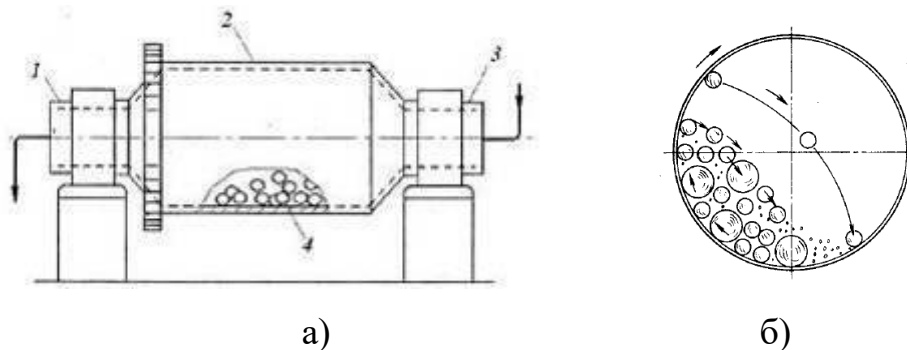


Рисунок 138 – Схема барабанного млина (а): 1 – цапфа; 2 – барабан; 3 – завантажувальний пристрій; 4 – пристрій для вивантаження подрібненого матеріалу; (б): рух мелючих тіл у барабанному млині

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: над решітний 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 (відеододаток 53). Продукт, що пройшов через отвори даного грохоту, але залишився на наступному ситі, називають фракцією.

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, штапованими 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 просіюючими поверхнями, встановленими у коробі (рис. 139). Виникнення вібрації забезпечується дебалансним віброзбудником, який кріпиться на коробі грохоту і приводяться в рух електродвигуном. За рахунок вібрації відбувається переміщення руди уздовж просіюючих поверхонь та її просіювання.



Рисунок 139 - 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 Утилізація відходів металургійного виробництва

Україна займає провідне місце у світі з виробництва продукції чорної металургії. У 2019 році металургійними підприємствами України вироблено 20,05 млн. т чавуну, 20,82 млн. т сталі, 18,16 млн. т прокату.

Металургійна галузь є однією з найбільш екологічно забруднюючих галузей господарства. На підприємства чорної металургії припадає близько 15 % всіх промислових викидів пилу в атмосферу, 8...10 % – викидів діоксиду сірки, 10...15 % – загального обсягу споживання води. До цього слід додати значну кількість твердих відходів (шлаків, шламів тощо), які утворюються при виплавці чавуну і сталі. На підприємствах з повним металургійним циклом переважають тверді відходи у вигляді пилу і шлаків. У тому випадку, коли застосовується мокре газоочищення, замість пилу одержують відходи у вигляді шламів. Відходи металургійного підприємстварозподіляються так: 57...63 % шлаки; 4...6 % мінеральні відходи (лом вогнетривів); 15...17 % металобрухт; 9...13 % пил, шлам, окалина; 2...4 % інші.

Основну частину металургійних відходів складають шлаки, які є багатокомпонентними системами, що складаються 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. Шлаки у фізико-хімічних процесах металургійного виробництва очищають рідкий метал від небажаних домішок, захищають його від шкідливої дії газового середовища печі (окиснення і газонасичення).

У порівнянні з доменними шлаками сталеплавильні шлаки характеризуються більш високим вмістом оксидів заліза (до 20%) і марганцю (до 10%). Ці шлаки являють собою вторинний продукт, який частково може бути використаним у чорній металургії. Сталеплавильний шлак використовують у вигляді флюсових домішок при 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 також можуть застосовуватися при плавці чавуну, що дозволяє економити на добавках феросплавів.

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 у шлаки, утворюють такі мінерали як силікати, алюмосилікати, ферити тощо. Склад доменних шлаків визначається якістю вихідної сировини для виплавки чавуну, а також технологічними параметрами плавки.

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 мають, подібних до цементу, в'язучих властивостей. При швидкому охолодженні шлаків кристалізація стає утрудненою і шлаки набувають переважно

склоподібну (аморфну) структуру. При такій будові складові шлаку знаходяться у нестійкому неурівноважному стані, а їх активність є значно вищою, ніж у кристалізованих шлаків. Тому для підвищення активності шлаків, що застосовуються у якості сировини для виготовлення цементу, рідкі шлаки обов'язково піддають різкому охолодженню.

Доменний шлак, який після зливання з доменної печі повільно охолоджується на відкритому повітрі, є сировиною для виробництва шлакового щебеню. При цьому рідкі шлаки з температурою до 1400°C зливаються з шлаковоза в траншею шарами товщиною 250-500 мм (рис. 140). Через 2 - 3 години шлак повністю кристалізується на відкритому повітрі, потім його прискорено охолоджують при поливанні водою, що призводить до утворення 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. Утворений шлаковий щебінь, після розділення по фракціям, реалізують споживачам. Питома густина застиглого шлаку складає $2700\ldots 3000 \text{ кг/м}^3$, а насипна щільність $1300\ldots 1500 \text{ кг/м}^3$. Доменні шлаки характеризуються великою пористістю, морозостійкістю та стійкістю до стирання.



Рисунок 140 - Зливання рідкого шлаку з шлаковозів у траншею

При зливанні з доменної печі у рідкому шлаку залишаються зважені частки рідкого чавуну, які разом з затверділим шлаком втрачаються у вигляді корольків - дрібних застиглих крапель металу (рис.141). Втрати металу в

корольках у шлакових включеннях складають 0,3...1,2% від маси виплавленого чавуну. Зменшенню цих втрат сприяє зниження в'язкості рідкого шлаку. Для зменшення втрат металу технологічною схемою передбачається відбір корольків шляхом проведення дроблення, просіювання і магнітної сепарації охолодженого шлаку. Відібраний при магнітній сепарації метал утилізується як добавка до шихти при виплавці сталі.

При подрібненні повільно охолодженого доменного шлаку утворюється до 15...20% шлакового піску. Пісок повністю використовується у якості складової при виготовленні бетону. Бетон, виготовлений з шлаковими наповнювачами, не поступається за ступенем міцності класичному бетону на основі гранітних щебеню і піску (відеододаток 54).

Ціни на гранітний щебінь знаходяться у межах від 150 до 250 грн/т. Доменний відвальний шлак при цьому коштує значно дешевше – 50...80 грн/т (залежно від фракції), гранульований доменний шлак – 130...150 грн/т, що визначає економічну ефективність їх використання



Рисунок 141 - Корольки у шлаці



Рисунок 142 - Ділянка переробки доменних шлаків на щебінь

Щебінь з доменних шлаків - розповсюджений будівельний матеріал, що використовується для виконання всіх видів покриттів, основ і підстиляючих шарів дорожніх одягів. Особливо економічно вигідним є застосування щебеню з доменного шлаку, в районах, де розташовані металургійні комбінати. При проведенні ремонту до 3 тис. км доріг на рік, утилізація доменних шлаків в дорожньому будівництві може зрости до 5 млн т. Кабінет Міністрів України у 2019 році видав директивне розпорядження щодо активізації застосування металургійних шлаків у будівництві автомобільних доріг.

Швидке охолодження рідкого шлаку водою дозволяє за рахунок розтріскування одержувати гранульований шлак - дрібнозернистий сипучий матеріал у вигляді склоподібних гранул із середнім розміром 2...8 мм (рис.142). При цьому досягається розв'язання наступних задач:

- виключається стадія механічного подріблення шлаків;
- утворюються шлаки з скловидною (аморфною) будовою.

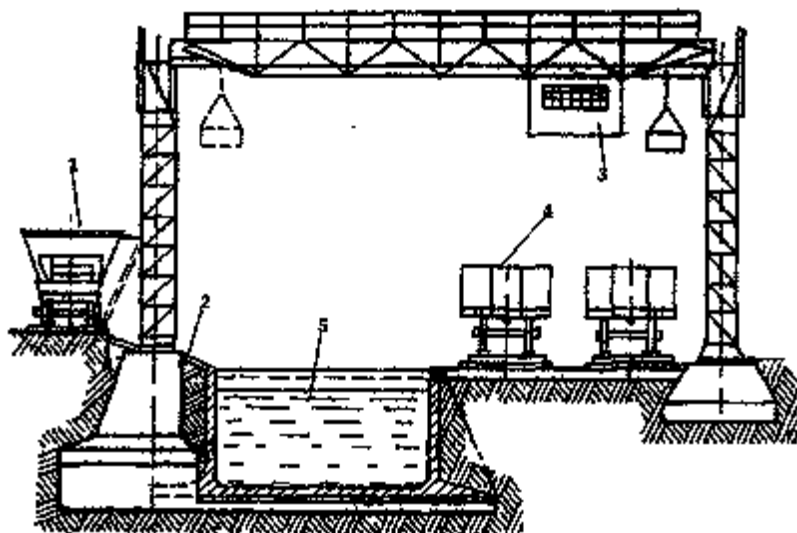


Рисунок 142 - Гранульований доменний шлак

З доменної печі періодично випускається рідкий шлак, який по шлаковому жолобу спрямовується до чаші шлаковозу і транспортується до установки грануляції шлаку. Для виготовлення гранульованих шлаків використовують методи мокрої і напівсухої грануляції. Способи грануляції дозволяють при порівняно невеликих капітальних витратах забезпечити швидку переробку значних кількостей шлаків. Шлаковий розплав різко охолоджується водою і піддається грануляції, внаслідок чого шлак набуває скловидну структуру. Грануляція заснована на властивості розбризкування при зіткненні розплавленого шлаку з водою за рахунок мікрОВибухів та розтріскування гарячих шматків шлаків під дією термічних напружень з утворенням гранул.

Поширеним простим способом є грануляція шлаку в басейнах (рис. 143). При басейновому (мокрому) способі розплавлений шлак з температурою 1300...1400⁰С з чаші шлаковозу зливають по похилому жолобу у заповнений водою басейн об'ємом до 800 м³. З однієї сторони від басейну проходить під'їзна залізнична колія для шлаковозів, а з іншого - колія для залізничних вагонів, в які завантажують утворений гранульований шлак. Вивантаження гранульованого шлаку з басейну спочатку здійснюється грейферним краном на майданчик для вилежування і зневоднення.

Басейновий спосіб грануляції шлаку характеризується високою продуктивністю, незначною капіталоємкістю і обслуговується невеликим числом працівників. При грануляції в басейнах кількість склоподібної фази у шлаку виявляється найбільш високою – 40...95%. В той же час, волога, яка міститься у такому гранульованому шлаці у кількості 25...30%, є баластом, а при зберіганні і транспортуванні у зимовий час ускладнює і здорожує завантаження і вивантаження, оскільки веде до змерзання маси. Витрата води при мокрому способі грануляції становить близько 3 м³/т. Для сушіння шлакового продукту перед розмелюванням необхідні додаткові витрати тепла - до 80 кг умовного палива на 1 т сухого грануляту.



1- чаша шлаковоза; 2-ухил для стікання шлаку; 3-грейферний кран;
4-залізничний вагон; 5-басейн з водою.

Рисунок 143 - Схема басейнової установки для грануляції шлаку:

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.

Технологічна схема грануляції шлаку на гідрожолобних установках (рис.144) включає наступне поєднання вузлів:

- шлакоприймальну ванну;
- буферну ємкість, що примикає до сталевого гідрожолоба довжиною 9-10,5 м, який встановлено з підйомом під кутом 3° ;

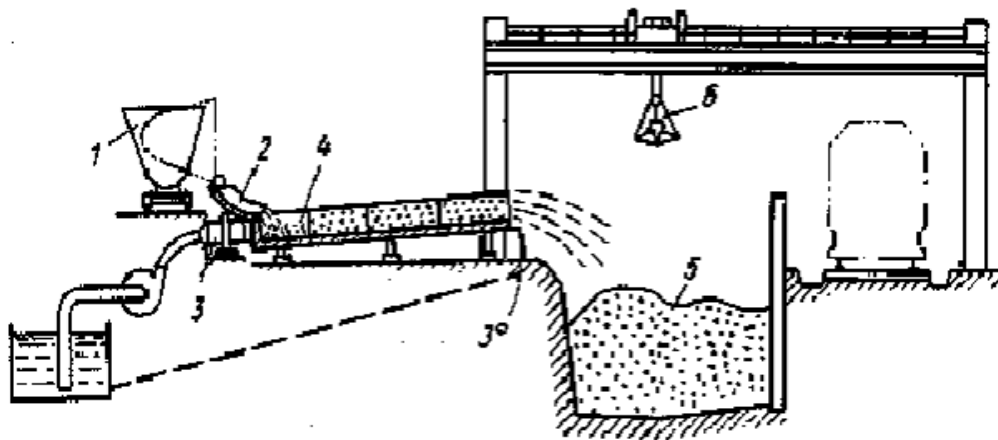


Рисунок 144 - Схема установки гідрожолобної грануляції доменного шлаку:
1 – шлаковозна чаша; 2 - шлакоприймальна ванна; 3 - гідронасадка; 4 - жолоб; 5 - гранульований шлак, 6- грейферний кран

З торця гідрожолобу змонтована гідронасадка, яка має ряд отворів. Вода, що подається в гідронасадку під тиском $0,4 \dots 0,8$ МПа у кількості $0,7 \dots 1,5$ м³ на 1 т шлаку, підхоплює стікаючий по гідрожолобу 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 охолоджуються повітрям і водою. При відборі шлаків грейферним краном відбувається додаткове зневоднення продукції. На виході отримують гранульований шлак з вологістю не більше 10%. Вода стікає по бетонному дну складу і повертається до системи оборотного водопостачання, що складається з відстійників, приймального резервуара і насосної станції.

Гранульовані доменні шлаки - це матеріали з в'язучими властивостями, що проявляються у здатності затвердівати, подібно до цементних розчинів.

Бетонами називають штучні кам'яні матеріали, що отримують в результаті затвердіння ретельно перемішаної і ущільненої суміші з мінеральної в'язучої речовини з водою та наповнювачами (пісок, щебень), взятими у певних пропорціях. Внаслідок протікання реакції між цементом і водою утворюється цементний камінь, що скріплює зерна наповнювачів у єдиний моноліт.

Цементна промисловість використовує гранульований доменний шлак як активну мінеральну добавку при виробництві шлакопортландцементу. Шлаковий порошок, який одержують у результаті тонкого помолу сухого гранульованого шлаку, є основним компонентом при виробництві шлакових цементів.

Молоті гранульовані доменні шлаки характеризуються гідравлічною активністю - здатністю взаємодіяти у розмеленому стані з водою і затвердівати, перетворюючись в міцний камінь. 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 шлаці 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.

Шлакопортландцемент отримують шляхом спільного тонкого помолу клінкеру (спеченої суміші вапняку і глини), доменного гранульованого шлаку і гіпсу ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Активні речовини, що містяться в шлаку, покращують технічні властивості цементу, підвищують міцність виготовлених будівельних конструкцій. Європейські нормативи допускають вводити до складу портландцементу до 35% доменного гранульованого шлаку, а до складу шлакопортландцементу - 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. Для портландцементу вміст клінкеру в середньому становить 84%, виготовлення однієї тони цього матеріалу супроводжується викидом близько 0,9 т вуглекислого газу в атмосферу, що посилює парниковий ефект. Значне зменшення негативного екологічного впливу цементного виробництва на навколишнє середовище може досягатися шляхом зниження вмісту клінкеру в портландцементі шляхом часткової заміни його активними мінеральними добавками. За рахунок використання 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 у виробництві в'язучих речовин з'являються додаткові енерговитратні операції від 25 до 90 кВт×год на 1т, які пов'язані з операціями розмелювання шлаків.

Шлаколузні 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. Шлаколузні в'язучі речовини мають високу міцність, водостійкість, водонепроникність, корозійну стійкість, біостійкість і термостійкість. Вони здатні тверднути при низьких температурах. Шлаколузні 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).

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 щебеню і піску. Експериментальна ділянка дороги була облаштована за принципом шаруватого пирога. Підстилаючий нижній шар - з доменного шлаку крупної фракції, верхній – дрібної (рис.145). Всі шари були утрамбовані і покриті гідроізоляцією - спеціальною плівкою. Над подушкою встановили каркас зі сталльної арматури, який залили бетоном. Бетон для цього експерименту використовувався трьох видів - класичний на основі гранітного щебеню і піску і спеціальні, виготовлені на основі відвального доменного і сталеплавильного шлаків. Ділянки дороги було розділено на три зони, кожну з яких заливали певним видом бетону, щоб об'єктивно оцінити ступінь впливу перепадів температур і навантаження великовагового автотранспорту (рис.146). 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.

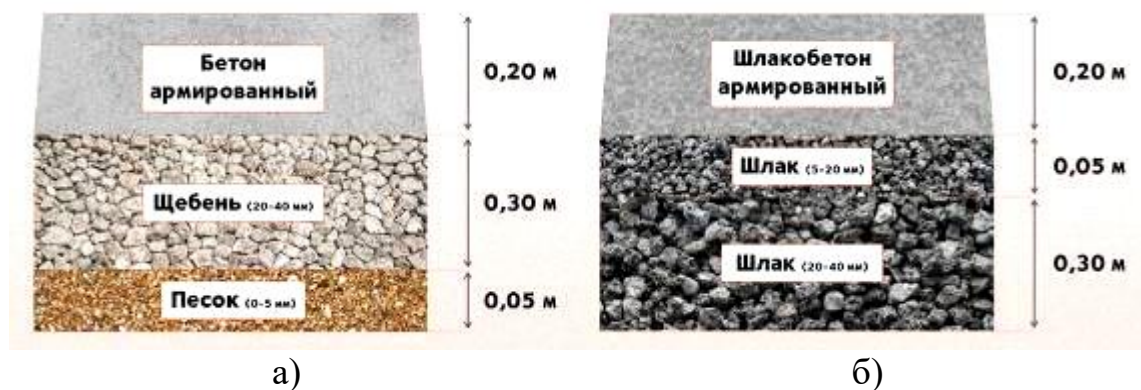


Рисунок 145 - Використання відвальних шлаків замість кам'яного щебня в основі дорожнього покриття: а) класичний варіант; б) покриття на основі металургійних шлаків.

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 високоякісного шлакопортландцементу, а також безпосередньо металургійних шлаків. Використання металургійних відходів у дорожньому будівництві дозволяє суттєво зменшити забруднення навколишнього середовища та отримувати значний соціальний ефект (відеододаток 55).

У будівництві застосовуються різні типи бетонів з в'язучими і 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 водою. Так, при контакті шлакового розплаву з водою відбувається інтенсивне кипіння води з утворенням пари. Бульбашки пари, проникаючи в розплавлений шлак, охолоджують його та втрачають можливість виділитися назовні. В результаті вязка шлакова маса спучується і застигає у вигляді матеріалу з пористою структурою. Основний вплив на рівень пористості при цьому мають хімічний склад шлаків і наявність в них розчинених газів, в'язкість і поверхневий натяг шлакових розплавів.

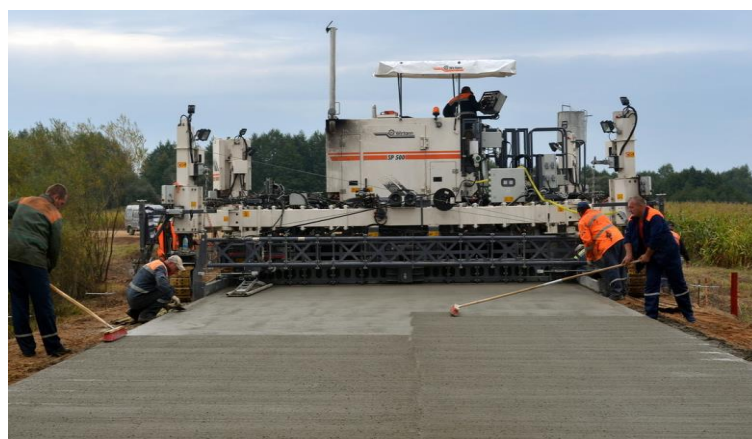


Рисунок 146 - Будівництво бетонної автомобільної дороги з використанням металургійних шлаків.

Басейновий спосіб виробництва шлакової пемзи полягає в наступному. 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 ковша (до 16 м^3). В'язкий шлак спучується протягом 1,5...2 хв і твердне, після чого вивантажується, остигає в вигляді брил, піддається дробленню і розсіву на фракції. Отримана шлакова пемза має однорідну дрібнопористу структуру (рис.147). Технологічний цикл виробництва шлакової пемзи становить 15...20 хв.

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.

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 в ливарний цех і розливають в металеві абоцементні ливарні форми.



Рисунок 147 - Пористий доменний шлак

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 товщиною часток 0,05...0,3 мм з вмістом 60...72% заліза. На 1 т прокату утворюється 11,6...19,4 кг окалини матеріалу. 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. *Agglomer* - нагромаджую) - метод термічного окусковування 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.

Річне утворення металургійних шлаків на Україні становить: 4,4 млн. т доменних шлаків, 2,6 млн. т сталеплавильних, 0,829 млн. т феросплавних. На металургійних підприємствах України накопичено 240 млн. т шлаків, 128 млн. т з яких є сталеплавильні. Україна використовує в два рази менше утворюємих металургійних шлаків, ніж інші європейські країни. 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.

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.

У 2018 року металургійні підприємства України здійснили утилізацію 45,9% шлаків - 4,9 млн т. В Україні ці шлаки в основному використовуються в

будівельній індустрії, але значна частина їх вивозиться у відвали. Особливо це характерно для сталеплавильних шлаків. 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.

Є позитивний досвід застосування шлаків металургійного комбінату «Азовсталь», які вміщують 10...12% P_2O_5 , у якості фосфорного добрива типу суперфосфату.

Для реалізації підприємства чорної металургії пропонують наступні вторинні матеріали: гранульований шлак - 55%, шлаковий щебінь - 35%, шлакову пемзу - 6%, оборотні продукти металургійного виробництва - 4%. 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.

На сьогодні на світових ринках існує дефіцит металургійних шлаків. У 2018 році Україна зайняла 25-е місце у світі з експорту шлаків. Зовнішня торгівля України шлаками зосереджена на азіатському ринку.

Ряд відходів хімічної промисловості, відпрацьовані або заборонені до використання матеріали медицини, засоби хімічного захисту рослин мають високу токсичність. Для їх знищення зазвичай пропонуються складні спеціалізовані технологічні процеси і агрегати, що пов'язано з великими витратами. Крім того, знищення не повинно призводити до утворення вторинних продуктів, часом ще більш токсичних. Металургійні агрегати, робота яких поєднує високі температури і широкий діапазон 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 фурмену 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.

13.5 Утилізація відходів вугледобування

Економіка України щорічно споживає до 100 млн. т вугілля, з яких майже 80 млн. т видобувається підприємствами Донецького, Дніпровського і Львівсько-Волинського вугільних басейнів. Внаслідок вироблення найбільш якісних родовищ, погіршення гірничо-геологічних умов видобутку та застосування застарілих технологій, якісні характеристики добуваного вугілля за зольністю, гранулометричним складом, вологістю і вмістом сірки мають тенденції до погіршення.

Значна частина видобутого вугілля проходить збагачення та сортування. Вимоги щодо підвищення якості палива визначають економічну ефективність використання вугілля, обумовлюють ріст обсягів збагачення. 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 спікаючого вугілля, 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

здійснюється з використанням гравітаційних процесів, крупністю менше 0,5 мм – методом флотації.

Відповідно до типових технологічних схем збагачення добуте 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 підрозділяються 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 потребує додаткового подрібнення. Дроблення застосовується для підготовки вугілля перед збагаченням (розкриття зростків, зниження крупності), а також при приготуванні шихти заданої фракції для виробництва коксу. Збільшення вмісту дрібних і тонких класів в рядовому вугіллі спричиняє значне утворення шламових продуктів. Це обумовлює необхідність проведення знешламлення вугілля перед гравітаційними процесами 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 ($2,4 \dots 2,5 \text{ т/м}^3$) у порівнянні з густиною шматків збагаченого вугілля ($1,35 \dots 1,5 \text{ т/м}^3$).

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 протитечійну 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).

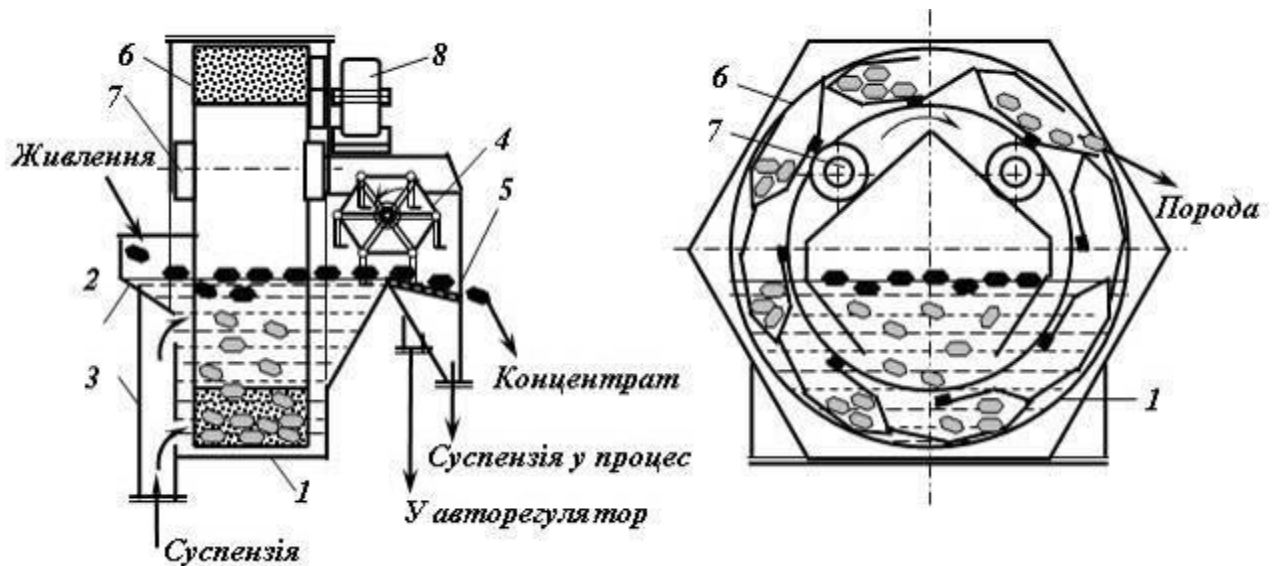
3) допоміжні (заклучні) процеси, які застосовують для згущення, зневоднення, знешламлювання, знепилення вугілля, а також для регенерації оборотних вод. Зневоднення продуктів мокрого збагачення вугілля крупністю більше 13 мм проводиться на грохотах, елеваторах з перфорованими ковшами, а також у дренажних бункерах. Для зневоднення дрібних класів вугілля застосовують центрифугування, а у зимовий період додатково проводять термічну сушку.

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 порошоків-обважнювачів високої густини (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/м³, 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.148). 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 уковші елеваторного колеса. При обертанні елеваторного колеса відбувається розвантаження порожньої породи із сепаратора.



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

Рисунок 148 - Схема двохпродуктового сепаратора з вертикальним елеваторним колесом

Флотація базується на використанні різниці у фізико-хімічних властивостях часток вугілля і порожньої породи (частки вугілля – гідрофобні, частки породи – гідрофільні). Флотація використовується для збагачення подрібнених класів вугілля (шламу) крупністю до 0,5 мм. 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, 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.

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. Висота териконів може складати понад 100 метрів. 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 (рис.149). Терикони Донбасу містять: 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 149 - Терикон пустої породи біля вугільної шахти

Терикони є техногенними зонами підвищеної екологічної небезпеки. Це пов'язано з окисленням сульфідів, які входять до складу вугільних відвальних

порід. Самозаймання відвальної маси, яка складається з суміші мінеральних і вуглефікованих складових, є наслідком хімічних реакцій окиснення вугілля і вуглевмісних 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. 150). 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 териконах вугільних шахт на Донбасі, Львівсько-Волинському басейні накопичено понад 2,1 млрд. м³ горілих гірських порід, представлених аргилітами, алевролітами, пісковиками, вапняками, залишками горючих компонентів. Щорічно з кожного терикону вимивається і здувається понад 400 т породи і вилуговується приблизно 8 т солей. 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.

Найбільше схильні до самозаймання терикони, що були утворені транспортуванням 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.



Рисунок 150 - Горіння терикону Центральної збагачувальної фабрики «Червоноградська» біля міста Червоноград (Львівська обл).

З метою дотримання норм викиду шкідливих речовин у атмосферу проводяться заходи по ліквідації або зведенню до мінімуму шкідливого впливу териконів. Іноді виникає необхідність повного розбирання відвалів і віддалення породи з даного району. Але в усіх випадках терикони, що горять, потребують попереднього гасіння. Найбільше розповсюдження отримав спосіб гасіння конічних відвалів водою з одночасним змивом вершини і надання відвалу плоскої форми, який легше захищати від самозаймання.

Останніми роками 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.

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 вуглевидобувних підприємств, 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.

Підземні виробки на Україні заповнюються порожньою породою в обмежених обсягах, внаслідок відсутності досвіду цих робіт, технічних і економічних труднощів. На шахтах України для комплексної механізованої закладки використовуються дробильно-закладні установки «Титан». Доскладу пересувного комплексу «Титан» входить навантажувальна машина, дробильно-закладувальна машина, зрошувальна насосна установка. 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.

Також знаходять застосування технологічні схеми використання шахтних порід для механічної закладки їх у вироблений простір з вагонеток, які при розвантаженні перекидаються, конвеєри, металеві машини або скреперні установки. Дані схеми дозволяють здійснювати закладку виробок шахтними породами без їх попереднього дроблення. Суттєвим недоліком при цьому є велика усадка закладного масиву.

Відходи вуглезбагачення, з яких утворені терикони, можуть використовуватися якості:

- енергетичної сировини для спалювання чи газифікації;
- сировини для одержують сірки;
- для влаштування насипів, рекультивації територій;
- виробництво будівельних матеріалів;
- матеріалів для будівництва доріг, засипання провалів.

Терикони, містять до 20% вугілля, яке в попередні роки, коли ціни на вугілля були дуже низькими, видалялись разом із породою у відвали. На

поверхні териконів, завжди знаходиться шар якісного дрібного вугілля, який атмосферними опадами поступово було відмито від пустої породи. Відходи вуглезабагачення, що містять значну кількість горючої маси, можуть додатково збагачуватися з отриманням кондиційного палива. Для спалювання відходів вуглезабагачення зі значною кількістю горючої маси використовують спеціальні топкові пристрої з киплячим шаром, печі для пилоподібного спалювання тощо. На сьогодні створено 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 вуглезабагачувальних підприємств є використання їх як сировини для виробництва керамічних виробів. Горілі породи териконів придатні для виготовлення керамзиту і цегли. 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.

Залишки вугілля з відходів вуглезабагачення придатні для використання у складі шихти для виготовлення цегли, кераміки та інших будівельних матеріалів. Для зменшення усадки, деформації і тріщин при сушінні і випалі при виробництві керамічних виробів до жирних пластичних глин вводять отощуючі матеріали на основі відходів вугледобутку. Основними компонентами шихти в цьому випадку є оксиди кремнію і алюмінію, які в результаті дроблення і помелу відходів набувають глинистої консистенції. Цегла-сирець, утворена з таких відходів, перевершує за рядом властивостей цеглу, яка виготовлена з традиційної глинистої маси.

Випал виробів з відходів вуглезабагачення зазвичай проводять в умовах, що поєднують процеси вигорання вугільних часток та спікання черепка. Використання відходів вуглезабагачення як паливної та отощуючої добавки при виготовленні керамічних виробів дозволяє скоротити витрат умовного палива на 50...70 кг на 1000 шт. цегли і підвищити показники їх міцності.

З відходів вуглезабагачення виробляють аглопорит - штучний легкий і

пористий наповнювач для бетонів. Технологія виробництва аглопорита полягає в термічній обробці 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 аглопоритових матеріалів з відходів вуглезбагачення можна виробляти легкі бетони питомою густиною 1080...1470 кг/м³. Такі бетони придатні для виготовлення усієї номенклатури будівельних виробів. Аглопорит також доцільно застосовувати у якості теплоізоляційної засипки покрівельних перекриттів будівель, теплокомунікацій тощо.

Існують технічні можливості широкого використання мінеральної складової вугілля в глиноземному виробництві сировини для виробництва алюмінію.

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 1000⁰С) 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.

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.

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. УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

На Україні значна частина електроенергії виробляється 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.

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.151). Цей побічний продукт уловлюють з димових газів за допомогою золоуловлювальних електрофільтрів. Наявність незгорілих органічних частинок у золі становить від 0,5 до 20%. Вони є шкідливими домішками і погіршують технічні властивості золошлаків.

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.

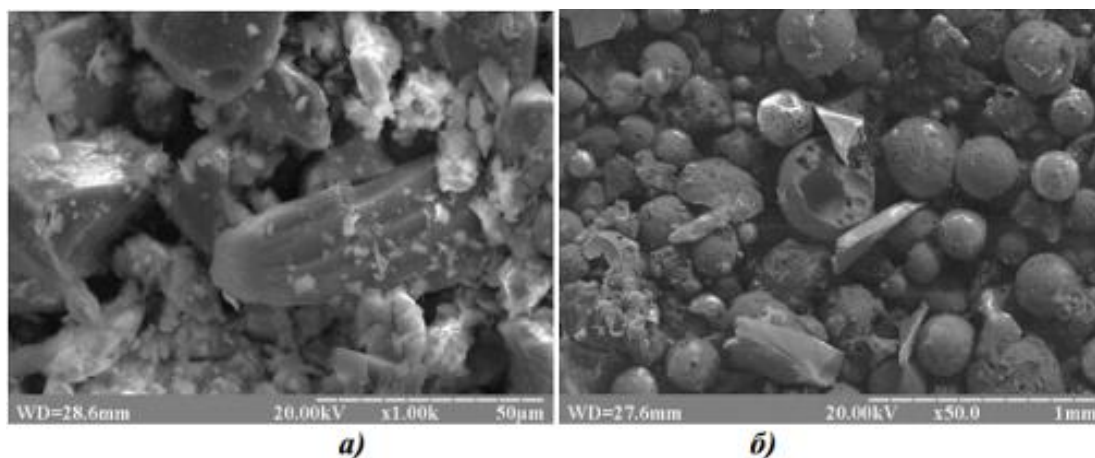


Рисунок 151 - Мікрофотографії подрібненого вугілля і золошлакових відходів в умовах ДТЕК «Криворізьська ТЕС»: а - вугілля; б - золошлакові відходи

Шлаки з топки теплових електростанцій видаляють гідравлічним або сухим способом. Практично всі теплові електростанції, побудовані у СРСР, були спроектовані за системою гідровидалення шлаків. Електрофільтри для сухого золоуловлювання почали впроваджувати вже в новітній час.

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.152 - 153).

Відвали є джерелом підвищеної екологічної небезпеки і чинять негативний вплив на здоров'я людини, підземні і поверхневі води, атмосферу, рослинний і тваринний світ. Пилевиділення відвалів та забруднення приповерхневих горизонтів води наносить значну шкоду здоров'ю людей, які проживають поблизу. Пилевидні відходи швидко піддаються вивітрюванню і при осушенні при швидкості вітру 3 м/сек починають порохити.



Рисунок 152 - Золошлаковидалення гідротранспортом на тепловій електростанції

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.

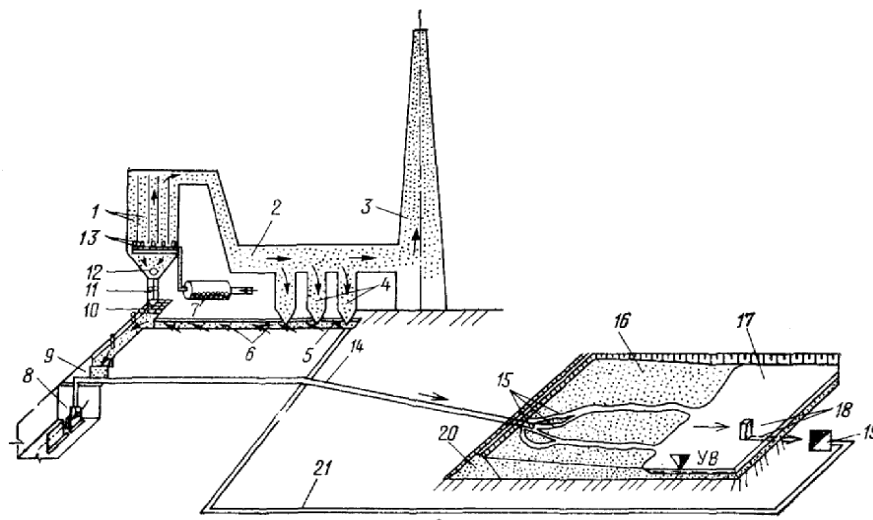


Рисунок 153 - Принципова схема гідрозолошлаковидалення на тепловій електростанції: 1 - котел; 2 - димовий(зольний) канал; 3 - димова труба; 4 - зололовлювачі; 5 - змивний канал гідрозоловидалення; 6 - спонукальні сопла; 7 – пиловугільний млин; 8 – багерний насос; 9 -приймальний зумпф; 10 - решітка затримки великих шлакових включень; 11 - дробарка шлаку; 12 - шлакова шахта; 13 – форсунки подачі пиловугільного палива; 14 - напірний пульпопровід; 15 - потоки пульпи; 16 - надводний укiс наживу; 17 - ставок-відстійник; 18 - водозбірний колодязь

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.

На сьогодні близько 500 млн. т золошлакових відходів знаходиться під відкритим небом у відвалах теплових електростанцій України. Додатково щороку на теплових електростанціях утворюється до 7 млн. т відходів. При цьому утилізується лише до 10% відходів теплоелектростанцій. Для зменшення антропогенного навантаження на навколишнє середовище накопичені роками золошлакові відходи вимагають утилізації. У Західній Європі і Японії при теплових електростанціях практично ліквідовані усі золовідвали. Суха зола надходить на зберігання у силоси, які розміщуються поруч з корпусами теплової електростанції, і в подальшому повністю використовується у якості вторинного матеріалу.

При високих температурах мінеральні речовини, що входять до складу вугілля, плавляться і в газовому потоці розпадаються на 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.154). Зола виносу теплових електростанцій містить до 5 % мікросфер - алюмосилікатних порожнистих сипких сферичних частинок розміром до 100 мкм. Алюмосилікатні мікросфери надають золошлаковим відходам темносірий колір. Мікросфери мають густину меншу за густину води (580-690 кг/м³). 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.

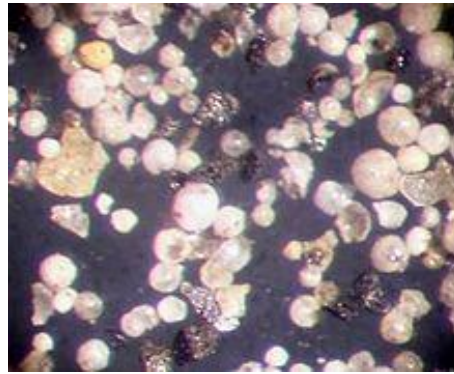


Рисунок 154 - Алюмосілікатні мікросфери

Незважаючи на те, що вміст алюмосілікатних 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 попоступають в озеро золовідвалу, де у вигляді шару піни товщиною у кілька сантиметрів дрейфують по водній поверхні (рис.155). З поверхні води мікросфери збираються дренажними насосами і відфільтровуються.



а)



б)

Рисунок 155 - Формування обмеженої ділянки збору мікросфер на поверхні озера золовідвалу (а), збір мікросфер з поверхні озера золовідвалу (б)

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. Дані матеріали здатні функціонувати в умовах дії агресивного середовища та високої температури. Використання мікросфер

сповільнює горіння матеріалу, оскільки даний наповнювач має високі вогнетривкі властивості.

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 своїх 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 розтікаємостю, 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 не 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. В той же час, рівень використання золошлакових відходів на Україні, незважаючи на доцільність, не перевищує 10 %.

До основних напрямків утилізації золошлакових відходів відноситься:

- у будівництві як альтернатива гравію, щебеню 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 глинистозольного 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.

Найпоширенішою мінеральною добавкою для портландцементів сьогодні в Україні є доменний гранульований шлак. У якості замінича частини 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 і/або гідралічною активністю. В активних золах присутні силікати, алюмінати і фєроалюмінати кальцію з різним ступенем основності, які можуть піддаватися гідратації з різною швидкістю. 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 вищою, ніж у матеріалу 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 добавок цементу. Найчастіше золошлаки використовують для повноцінної або часткової заміни собою пісок. Важливо, що добавка золошлакових відходів підвищує міцність бетонних конструкцій, які перебувають в певному агресивному середовищі.

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 аглопориту та керамзиту у будівельній галузі дозволяє замінювати важкі бетони на легкі. При їх використанні знижується тепловіддача будівель, підвищується їх рівень теплозахисту, паропроникності.

Однак утилізація золошлаків у будівництві має проблеми технічного і організаційного характеру. Зола неоднорідна за своїм складом і розміром, а будівельна промисловість визначає чіткі вимоги до даних параметрами. Також, у складі золошлакових відходів можуть перебувати небажані для різних виробництв компоненти. Наприклад, використання золошлакових відходів у 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.

Відходи теплових електростанцій доцільно використовувати для вертикального планування непридатних земель (осушення боліт, ярів та засипка гірничорудних виробок, рекультивація кар'єрів). Таким чином можна вирівнювати занедбані території, які після засипки зверху ґрунтом з компостом можливо використовувати для забудови або створення зелених зон.

Зола багата оксидом алюмінію, тому її можна розглядати як потенційний заміник бокситів. Сьогодні цей спосіб отримання алюмінію з золи активно використовують в Китаї. У 2012 році був запущений масштабний проект у місті Тогто (Китай), де знаходиться найбільша електростанція світу. Згідно проекту завод повинен щорічно виробляти 240 млн. т оксиду алюмінію, який є сировиною для отримання алюмінію.

Є приклади застосування золошлаків у сільському господарстві. Після їх внесення знижується кислотність ґрунтів, підвищується їх пористість. 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 в сільському господарстві золошлаки повинні бути безпечними.

Шлаки, 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 УТИЛІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ

Будівельні відходи утворюються при новому будівництві, знесення і реконструкції будівель і споруд, при виробництві будівельних матеріалів, деталей і конструкцій, ремонті і модернізації. Проблема утилізації відходів бетонних і залізобетонних конструкцій, старого асфальтобетону є актуальною, у зв'язку з необхідністю промислового, цивільного і дорожнього будівництва, з ростом обсягів транспортного руху і зниження забруднень територій будівельними відходами.

Під час зведення 100-квартирного будинку утворюється до 15...20 т будівельних відходів. 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 також 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 чотири під'їзного будинку становить до 5 тис. т.

У проектах містобудування, реконструкції автомобільних доріг, подолання наслідків стихійних лих значну долю у вартості виконуємих робіт складають транспортні витрати. При використанні перероблених будівельних матеріалів досягається економія у транспортуванні будівельних відходів та сировини. Ці транспортні витрати включають вивезення продуктів знесення і постачання нових будівельних матеріалів. У великих містах і промислових районах країни після переходу на будівництво нових серій будинків і будівлі зібралися десятки мільйонів кубічних метрів невикористаних залізобетонних виробів і конструкцій. Під час сортування будівельних відходів і подальшої

переробки їх у вторинну сировину значно скорочується кількість відходів, що підлягають вивезенню на полігони для захоронення. Такі рециклінгові технології є економічно вигідними.

При знесенні, реконструкції та новому будівництві будівель і споруд за вмістом утворюються такі види основні види будівельних відходів (рис.156):

- 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 156 - Будівельні відходи, які утворені при знесенні будівель

Схема очищення міст від будівельних відходів передбачає переробку частини відходів у вторинну сировину та вивезення на полігони твердих побутових відходів для захоронення тієї частини будівельних відходів, яка не може бути використана як вторинний будівельний матеріал. Відходи будівельної індустрії у загальній масі є малонебезпечними, вони багатотоннажні і займають великі площі під складування. Утилізація будівельних відходів дозволяє знизити виплати за розміщення на полігоні будівельних відходів.

Значний обсяг відходів, які можуть служити вторинними сировинними ресурсами, утворюється на самих підприємствах будівельних матеріалів. Це,

поряд з відходами виробництва залізобетону, скляний і керамічний бій, цементний пил, відходи виробництва мінеральної вати тощо. Комплексне використання сировини на більшості підприємств дозволяє створювати безвідходні технології, при яких вторинні сировинні ресурси переробляють на будівельні матеріали.

У світовій практиці близько 90 % відходів будівельного виробництва піддаються переробці і повторному використанню.

Утилізація відходів будівництва може здійснюватися в двох напрямках.

1) 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.

2) Переробка будівельних відходів (рециклювання) для їх використання в якості вторинних сировинних матеріалів. За допомогою переробки будівельних відходів нове життя знаходять багато матеріалів - залізобетонний лом, цегельний бій, склобій, пластик, деревина, також і багато інших матеріалів. Так, отриманий щебінь придатний для вторинного використання в будівництві, дорожньому господарстві, благоустрій та рекультивації міських територій.

При демонтажі будівель за допомогою екскаваторів проводиться розділювання великих шматків будівельних відходів на окремі сегменти. Великі шматки залізобетонних попередньо розбивають за допомогою екскаватора або розрізають на менші шматки, використовуючи спеціальне навісне обладнання - гідромолот або гідроножиці (рис.157 – 158).



Рисунок 157 - Гідравлічний екскаватор, оснащений гнучким багатоцільовим інструментом



Рисунок 158 - Гідравлічні ножиці, які здатні різати арматуру і бетон, захоплювати і переносити відрізані частини будівлі.

Чим менші за розмірами подріблені шматки, тим легше подальше сортування, вторинне використання і переробка відходів. Тому часто поблизу зруйнованих будівель розташовують дробильну установку, за допомогою якої бетон переробляють на щебінь. Дроблення залізобетону, що готують його до подальшої переробки, економить час, ресурси і фінансові витрати на процес переробки бетону у вторинний щебінь. Також це

полегшує транспортування крупногабаритних відходів. Потім залишки не перероблених матеріалів перевозяться на відповідні підприємства для подальшої утилізації.

15.1 Утилізація залізобетонних виробів

Найбільш популярним будівельним матеріалом, який підлягає утилізації є залізобетон. Демонтаж залізобетону йде під час знесення майже будь-якої споруди, тому переробка бетону набула найбільшого поширення. Вторинний щебінь різних фракцій, який одержують з бетону зносених будівель, має всі підстави для повноцінного використання в будівельному процесі. Під час видобування сировини та виробництва природного щебеню витрачається енергії у 8 разів більше, ніж під час отримання його при подрібленні бетонних відходів. Вторинний щебінь може повноцінно замінити від 20 до 60 % від загального обсягу гранітного щебеню. Це значно скорочує витрати на придбання свіжих будівельних матеріалів (до 40 %), оскільки за високотехнологічних методів переробки якість вторинного щебеню мало поступається природному. Вартість такого заповнювача у два рази дешевша, ніж щебенів, крім того, під час готування бетону на такому заповнювачі потрібно на 25 % менше в'язучих речовин.

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 на ділянку складування або на подальше просіювання, вилучення сталюї арматури методом магнітної сепарації. Переробка цих відходів полягає в руйнуванні конструкцій за допомогою спеціального устаткування, видаленні сталюї арматури, дробленні, фракціонуванні (відеододатки 56-57).

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, фракційний склад і ступінь забрудненості відходів впливають на вибір типорозміру дробарок і обумовлюють необхідність введення етапу попереднього сортування на колосниковому гуркоті.

Дробильно-сортувальні комплекси для переробки будівельних відходів можуть бути виконані як у вигляді стаціонарних технологічних ліній, так і у вигляді мобільних або транспортуються агрегатів на єдиному шасі.

Перевага постійних майданчиків переробки зі стаціонарним обладнанням полягає у їхній можливості організувати весь процес переробки матеріалів на високому рівні якості. Постійні майданчики також надають можливість кращого контролю якості перероблених матеріалів та подібні до об'єктів, що виробляють щебінь у кар'єрах. Це дозволяє зменшити або пом'якшити вплив процесу переробки на навколишнє природне середовище. Зберігаючи на складських майданчиках запас різних перероблених матеріалів (різноманітний подрібнений бетон, плитка, кераміка, асфальт) 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 необхідність вкладання інвестицій у їх створення, потреба у великих земельних ділянках та необхідність постійних поставок будівельних відходів, щоб гарантувати прибутковість утилізаційної діяльності. Це також може призвести до вищих затрат на транспортування через більші відстані від майданчика 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.159). Однак в останні десятиліття спеціально під завдання переробників будівельних відходів було розроблено спеціалізоване обладнання, що дозволило підвищити ефективність переробки різноманітних матеріалів, які входять до складу будівельного брухту. На світовому ринку обладнання для переробки твердих будівельних відходів

виробляють більше двох десятків компаній. Створено і випробувано на практиці обладнання для дроблення і сортування практично всіх видів будівельних відходів (бетону, залізобетону, цегли, залізобетонних опор контактної мережі, залізничних шпал тощо) різної продуктивності.

До складу стаціонарної лінії подрібнення будівельних відходів входять: агрегат завантаження, агрегат крупного дроблення з щоквою дробаркою, залізовідділювачі, 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 159 - Стаціонарний дробильно-сортувальний комплекс для переробки будівельних відходів

Переробку бетону на будмайданчику здійснюють відразу після демонтажу об'єкта на мобільних комплексах на єдиному колесному або гусеничному шасі (рис.160). Вага таких машин від 30 до 100 т, продуктивність - від 100 до 450 т вторинної продукції за годину. Важливість переробки бетону

на об'єкті в тому, що габаритні уламки демонтованих конструкцій далеко не завжди можна завантажити в кузов вантажівки для транспортування за межі майданчика.

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.

Мобільні дробильно-сортувальні комплекси здатні переробляти великі обсяги будівельних відходів (до 120 т за годину роботи).

Перевагами мобільного обладнання є відсутність витрат на перевезення та потенційна можливість використовувати деякі складові відходів на будівельному майданчику. До недоліків можна віднести їх обмежену потужність та потенціальний шкідливий вплив при роботі на навколишнє середовище.



Рисунок 160 - Мобільний дробильно-сортувальний комплекс для переробки будівельних відходів

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.

Із залишків цегляних і залізобетонних конструкцій отримують вторинний щебінь різних фракцій, який застосовується у спорудженні будинків, доріг, створенні інженерної інфраструктури, під час виготовлення бетону, спорудження і ремонту залізничних шляхів, при роботах з благоустрою територій, рекультивації земель.

У Європі використання бетону на перероблених заповнювачах має не дуже велике поширення. Бетон на вторинному заповнювачі ефективно застосовувати при загальному малоповерховому будівництві, заливці фундаментів складських і виробничих приміщень, при будівництві гаражів, підсобних приміщень і фундаментів.

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. Це дозволяє зменшити товщину поверхневого шару, зменшуючи тим самим вартість дорожнього покриття у порівнянні з традиційним будівництвом. У Данії звичайною практикою є використання суміші з 50% подрібненого асфальту і 50% дробленого бетону замість чистого дробленого бетону як незв'язаного матеріалу нижнього шару в дорожньому будівництві. Дроблений бетон і стінові вироби 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.

Подрібнена глиняна цегла, покрівельна плитка та стінові вироби можуть використовуватись у дорожньо-будівельних проектах, особливо як незв'язаний основний матеріал. Цей матеріал замінює натуральні матеріали, такі як пісок і гравій. У Німеччині, максимальний вміст цегли для такого використання становить 30% у зв'язку з вимогами до рівня якості для витримування морозу та удароміцності.

Пісок для тенісних кортів виробляється шляхом дроблення червоної цегли і покрівельної черепиці. Тонкий поверхневий шар укладають поверх більш грубо подрібнених шарів, які можуть містити часточки подрібненої глиняної цегли. Цей процес є найбільш ефективним, коли він здійснюється на цегельних або черепичних заводах, де є велика кількість відбракованого матеріалу.

15.2 Утилізація асфальтобетонних покриттів

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. У складі асфальтобетонного покриття вміст бітуму становить 4,5-6,0%, решта - щебінь, гравій і пісок. Асфальтобетон - результат технологічного перемішування бітумів з інертними матеріалами - щебенем, гравієм і піском, які істотно підвищують міцності асфальтобетонної суміші.

Для ремонту дорожнього полотна дорожньо-будівельними організаціями проводяться роботи з видалення зношених і пошкоджених шарів асфальтобетонного покриття і заміни їх новими шарами. Після закінчення ресурсного терміну експлуатації дорожнього покриття в його складі зберігається до 90% корисної маси асфальтобетонного матеріалу, придатного для використання у якості вторинного матеріалу. Сучасні технології утилізації старого асфальтобетону носять ресурсозберігаючий характер, оскільки регенований матеріал покриття з успіхом використовується в процесі створення нового асфальтобетонного покриття. Наприклад, в США не менше 90% всього знятого з доріг асфальту використовується повторно.

Регенерація демонтованого асфальтобетонного покриття спрямована на відновлення і підвищення техніко-експлуатаційних характеристик асфальтобетонного матеріалу з метою його повторного використання для

асфальтування автомобільних доріг чи інших дорожньо-ремонтних робіт. При цьому істотно знижуються витрати на придбання бітуму, економляться енергоресурси і матеріали. До основних переваг утилізації відпрацьованого асфальту відносяться:

- зниження вартості робіт по реставрації дорожнього покриття, оскільки для цього використовуються асфальтні відходи, перероблені в асфальтогранулят.

- розв'язання екологічних проблем, оскільки використаний асфальт не потрібно вивозити на звалища, де він буде накопичуватися і захаращувати великі території.

Демонтаж старого асфальтобетонного покриття шляхом розлому автогрейдерами та бульдозерами призводить до утворення шматків асфальтобетону різних розмірів, які називаються асфальтобетонним брухтом. Товщина знятих пластів становить від 5 до 15 см. У складі таких відходів залишаються основні компоненти асфальтобетонного покриття - щебінь, пісок і залишки бітуму.

Серйозну конкуренцію традиційним способам зняття дорожнього полотна представляють сучасні дорожні фрезерні установки, які оснащені обертовими фрезерними барабанами для зрізання старого асфальтобетону на необхідну глибину (рис.161). Ширина прорізуваної смуги на дорозі при видаленні покриття залежить від ширини фрезерного барабана і варіюється в межах від 350 мм до 2200 мм. Сталеві зуби барабанів зрізують 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.

Фрезерування шарів дорожнього полотна може виконуватися за двома різними технологіями:

- гарячим фрезеруванням, що проводиться в умовах попереднього розігріву асфальтобетонного покриття;

- холодним фрезеруванням, при якому зрізання верхнього шару покриття проводиться без розігріву.



Рисунок 161 - Дорожня фреза для зняття верхнього шару асфальтобетонного покриття

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 руйнування зрізуемого шару асфальту. Головними перевагами гарячого фрезерування вважається швидкість проведення ремонтних робіт, оскільки нагріте асфальтобетонне покриття зрізується легко з мінімальними енергетичними затратами (відеододаток 58).

Недоліками гарячого фрезерування є наступні обставини:

- значні затрати на паливо для розігріву асфальтобетонного покриття;
- висока пожежна небезпека при експлуатації нагрівальних установок та небезпека отримання опіків персоналом;
- зруйнований 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.

За місцем проведення технологічних заходів утилізації розрізняють два способи переробки знятого дорожнього покриття:

- регенерацію старого асфальтобетону в стаціонарних умовах на асфальтобетонному заводі, яка передбачає попередній демонтаж дорожнього покриття і відправку асфальтобетонного брухту 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 брухту на асфальтобетонному заводі.

2.Складування асфальтобетонного брухту в штабелях на складській території.

3.Дроблення кускового брухту (до 60 см) в дробильно-сортувальних установках до розмірів, що не перевищують 40 мм (рис.162). 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.



Рисунок 162 - Подрібнення асфальтобетонного брухту на асфальтобетонному заводі

Гаряча переробка асфальтобетонного брухту на асфальтобетонному заводі має такі переваги:

- можливість постійного контролю якості компонентів старого асфальтобетонного покриття;
- регулювання рецептури суміші з урахуванням складу використовуваних відходів;
- можливість використання до 80% старого матеріалу без зниження властивостей асфальтобетонної суміші.

З недоліків гарячої переробки в стаціонарних умовах відзначаються наступні чинники:

- 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 використовується холодна переробка асфальтобетонного брухту (відеододаток 59). Замість розігріву в умішувачах подріблені 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 прогріву. Крім того, рівень викидів шкідливих речовин в атмосферу є значно нижчим, у порівнянні з застосуванням гарячих бітумів.

Гаряча переробка зрізаного асфальтобетону в попередні роки ототожнювалася з роботами в стаціонарних заводських умовах на території з розвинутою виробничою інфраструктурою (склади, транспортні шляхи для завезення асфальтового брухту 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.

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.

Установки рециклінгу асфальтобетонних покриттів - це високорентабельні комплекси, виробництво яких успішно освоєно багатьма світовими брендами, що спеціалізуються на складанні промислового обладнання (рис.163). 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.



Рисунок 163 - Установка горячего рециклінгу асфальтобетонных покрытий

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 дизельного пальника. 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.

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;
- 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.
9. Дайте характеристику холодному фрезеруванню асфальтобетонних покриттів.
10. Яким чином проводиться гаряча переробка асфальтобетонних покриттів?
11. Опишіть технологію холодного рециклінгу асфальтобетонних покриттів.

Список використаних джерел

1. Бернадинер М.И., Шурыгин А.П. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. М.: Химия, 1990. 304 с.
2. Білецький В.С., Смирнов В.О. Технологія збагачення корисних копалин (видання друге). Донецьк: Східний видавничий дім, 2009. 272 с.
3. Переработка промышленных отходов/ Бобович Б.Б. Учебник для вузов. М.: "СП Интернет Инжиниринг", 1999. 445 с.
4. Бобович В.Б., Девяткин В.В. Переработка отходов производства и потребления. М.: Колос, 2000. 280 с.
5. Вайсман Я.И., Коротаев В.Н., Петров В.Ю. Управление отходами, захоронение твердых бытовых отходов. Пермь: Пермский гос. техн. ун-тет, 2001. 133 с.
6. Ванчаков М.В. Технология и оборудование для переработки макулатуры. Ч.1 / М.В. Ванчаков, А.В. Кулешов, Г.Н. Коновалова. СПб: ГТУРП. СПб., 2011. 99 с.
7. Вторичная переработка пластмасс / Ф. Ла Мантия (ред.); пер. с англ. под.ред.Г. Е. Заикова.СПб.: Профессия, 2006. 400 с.
8. Гарин В.М. Утилизация твердых отходов в населенных пунктах и на производстве: учеб. пособие / В.М. Гарин, А.Г. Хвостиков. Ростов н/Д: Рост.гос. ун-т путей сообщения, 2010. 118 с.
9. Гринин А.С. Промышленные и бытовые отходы: Хранение, утилизация, переработка /А.С. Гринин, В.Н. Новиков.М.: ФАИР-ПРЕСС, 2002. 336 с.
10. Демьянова В.С. Процессы и аппараты переработки твердых бытовых отходов: Учебное пособие по выполнению курсового и дипломного проектирования / В.С. Демьянова, Э.А. Овчаренков. Пенза: ПГУАС, 2007. с. 80.
11. Довгопол В.И. Использование шлаков черной металлургии. М.: Металлургия, 1978. 167 с.
12. Душкін С. С. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія утилізації твердих побутових відходів» (для студентів 2, 5 курсів денної і заочної форм

навчання за напрямом підготовки 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)» та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.092601 (7.06010808) «Водопостачання та водовідведення») / С. С. Душкін, М. В. Дегтяр; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. Х.:ХНАМГ, 2011. 86 с.

13. Знешкодження та утилізація відходів в агросфері: навч. посібник/ В.К. Пузік, Р.В. Рожков, Т.А. Долгова та ін. Х: ХНАУ, 2014. 220 с.

14. 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.

15. Клинков А.С. Рециклинг и утилизация тары и упаковки : учеб.пособие / А.С. Клинков, П.С. Беляев, В.К. Скуратов, М.В. Соколов, О.В. Ефремов, В.Г. Однолько. Тамбов : Изд-во Тамб.гос. техн. ун-та, 2010. 112 с.

16. Клинков А.С. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов: Учеб. Пособие / А.С.Клинков, П.С.Беляев, М.В.Соколов. Тамбов: Изд-во Тамб.гос. техн. ун-та, 2005. 80 с.

39. Клинова А. С. Утилизация и переработка твёрдых бытовых отходов: Учебное пособие / А. С. Клинков, П. С. Беляев, В. Г. Однолько, М. В. Соколов, П. В. Макеев, И. В. Шашков. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. 87 с.

17. Кокорин В.Н. Промышленный рециклинг техногенных отходов: Учебное пособие / В.Н.Кокорин, А.А. Григорьев, М.В. Кокорин, О.В. Чемаева. Ульяновск: УлГТУ, 2005. 42с.

18. Кобзарь И. Г. Процессы и аппараты защиты окружающей среды.: текст лекций по дисциплине «Процессы и аппараты защиты окружающей среды» / И. Г. Кобзарь, В. В. Козлова. Ульяновск: УлГТУ, 2008. 100 с.

19. 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.

20. Коржавін Ю.А. Ресурсозберігаючі технології технічного обслуговування та ремонту автомобілів.: Навч. Посібник / Ю.А. Коржавін, О.М. Коробочка. Дніпродзержинськ: вид-во ДДТУ, 2007. 182 с.

21. Краснянский М. Е. Утилизация и рекуперация отходов: Учебное

пособие. Харків: Бурун Книга, 2007. 265 с.

22. Краці європейські практики управління відходами (посібник) / А. Войціховська, О. Кравченко, О. Мелень-Забрамна, М. Панькевич// Львів: Видавництво «Компанія “Манускрипт”», 2019. 64 с.

23. Кузнецов В.Л. Экологические проблемы твердых бытовых отходов. Сбор. Ликвидация. Утилизация: Учебное пособие / В.Л.Кузнецов, Н.М.Крапильская, Л.Ф. Юдина. М.: ИПЦ МИКХиС, 2005. 53 с.

24. Митрохин, Н.Н. Утилизация и рециклинг автомобилей: учеб. пособие /Н.Н. Митрохин, А.П. Павлов. М.: МАДИ, 2015. 120 с.

25. Наркевич И.П. Утилизация и ликвидация отходов в технологии неорганических веществ / И.П.Наркевич, В.В.Печковский. М.: Химия, 1984. 240 с.

26. Никуличев Ю.В.Управление отходами. Опыт Европейского союза. Аналит. Обзор. М.: РАН. ИНИОН. Центр науч.-информ.исслед. глобальной безоп. и регионал. пробл. Отд. проб. европ. безопасности., 2017. 55 с.

27. Пальгунов П.П. Утилизация промышленных отходов / П.П.Пальгунов, М.В. Сумароков. М.: Стройиздат, 1990. 352с.

28.Перов В.Н.Технология утилизации судов: Учебное пособие. Николаев: УГМТУ, 2002. 24 с.

29. Поташников Ю.М. Утилизация отходов производства и потребления Учебное пособие. Тверь.: Издательство ТГТУ, 2004. 107 с.

30. Пузырев С.С. Переработка макулатуры: Учебное пособие / С.С. Пузырев, О.П.Ковалева, Г.Н.Цветков СПб.: СПбГЛТА, 2003. 44 с.

31. Разнощик В.В, Проектирование и эксплуатация полигонов для твердых бытовых отходов. М.: Стройиздат, 1981.104 с.

32. Севостьянов В. В. Утилизация отходов добычи и переработки угля: Учебное псуюбие. Новокузнецк: СибГИУ, 2000. 55 с.

33. Сметанин В.И. Защита окружающей среды от отходов производства и потребления. М.: Колос, 2003. 230 с.

34.Смирнов В.О. Технологія збагачення вугілля : навчальний посібник/ В.О. Смирнов, П.В.Сергєєв, В.С.Білецький. Донецьк: Східний видавничий дім, 2011. 476 с.

35. Касимов А.М.Современные проблемы и решения в системе управления опаснымиотходами/ А.М.Касимов, В.Т.Семенов, Н.Г.Щербань, В.В.Мясоедов.Харьков: ХНАГХ, 2008. 510 с.

36. Сперанский Б.С.Охрана окружающей среды в литейном производстве / Б.С.Сперанский, Б.Ф. Туманский . К.:Вища школа, 1985. 274 с.

37. Хорошавин Л. Б.Основные технологии переработки промышленных и твердых коммунальных отходов: учеб.пособие / Л. Б. Хорошавин,В. А. Беляков, Е. А. Свалов. Екатеринбург: Изд-во Урал. федер.ун-та, 2016. 220 с

38. Петрук В. Г.Управліннята поводження з відходами. Частина 2. Твердіпобутові 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.

39. Петрук В. Г.Управліннята поводження з відходами. Частина 3. Полігонитвердих побутових відходів: навчальний посібник / В. Г.Петрук, І.В.Васильківський, В.А. Іщенко, Р.В. Петрук. Вінниця : ВНТУ, 2016. 137 с.

40.Ратушняк, Г. С. Біогазові установки з відновлюваними джерелами енергії термостабілізації процесу ферментації біомаси / Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк, І. А. Кощєєв. Вінниця: ВНТУ, 2017. 110 с.

41. Чобан А.Ф. Утилізація та рекуперація відходів. Методичний посібник. Чернівці: Рута, 2008, 98 с.

42. Шаніна Т.П. Управління та поводження з відходами: Конспект лекцій. Дніпропетровськ: ПБП «Економіка», 2005. 144 с.

43. Шаніна Т.П., Управління та поводження з відходами: Підручник/ Т.П.Шаніна, О.Р. Губанова, М.О.Клименко, Т.А. Сафранов, В.Ю. Коріневська, О.О. Бєдункова, А.І Волков. Одеса: Одеськ. держ. екологічний університет, 2012. 272 с.

44. Щербаков А.О. Технології переробки та використання вторинних матеріальних ресурсів. Тернопіль. 1999. 292 с.

44. Шилович Т.Б. Утилізація упакувань: Навчальний посібник. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 51с.

45.Шубов Л.Я. Технологии отходов (Технологические процессы в сервисе): Учебник / Л.Я.Шубов, М.Е.Ставропский, Д.В. Шехирев. М.: ГОУВПО «МГУС», 2006. 235 с.

46.Tchobanoglous G., KreithF. (2002) Handbook of Solid Waste Management. Second Edition, McGRAW-HILL

47.William A. Worrell & P. Aarne Vesilind & Christian Ludwig (2017) Solid Waste Engineering, 3rd edition. CENGAGE Learning

Інформаційні ресурси

1. <http://www.menr.gov.ua/>
2. <https://ecolog-ua.com/>
3. <http://eco.com.ua/>
4. <https://promusor.com/>
5. <http://energy.esco.agency/>
6. <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>
7. <http://www.zelenysvit.org.ua/>
8. <http://eco-live.com.ua/>